

Ari Koukku

Jäähdytysjärjestelmän lämpötilamuutosten vaikutus sisäilmaolosuhteisiin sairaalaympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri YAMK

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

11.9.2018

<p>Tekijä(t) Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Ari Koukku Jäähdytysjärjestelmän lämpötilamuutosten vaikutus sisäilmaolosuhteisiin sairaalaympäristössä</p> <p>49 sivua + 2 liitettä 11.9.2018</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (YAMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Talotekniikan tutkinto-ohjelma</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>LVI-tekniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Yliopettaja Aki Valkeapää Tekniikan lisensiaatti Mika Vuolle</p>
<p>Kaukojäähdytys ratkaisut yleistyvät Suomessa ja jotkut kiinteistöt harkitsevat vaihtavansa nykyisen jäähdytysjärjestelmänsä kaukojäähdytykseen. Yleisesti Suomessa suunnitellaan kiinteistöjen jäähdytysratkaisuja vedenjäähdytyskoneilla, joiden käyttölämpötilat ovat alhaisempia kuin kaukojäähdytyksen. Opinnäytetyön tavoite oli tutkia, miten jäähdytysverkon lämpötilamuutos vaikuttaa huonetilojen lämpötilaan ja kosteuteen.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin, miten ilmanvaihtokoneen sekä huonejäähdytyksen jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan muutos vaikuttaa huonetilan lämpötilaan. Tutkimuskohteenä olivat sairaalarakennuksen erilaiset tilat.</p> <p>Opinnäytetyössä käytiin läpi jäähdytyksen teoriaa ja tutkittiin ilmanvaihtokoneen patterin sekä puhallinkonvektorin tehonmuutosta eri menoveden lämpötiloilla.</p> <p>Simulointi toteutettiin IDA-ICE-simulointiohjelmalla. Ohjelmalla tutkittiin pelkän tuloilmajäähdytyksen vaikutusta sisäilmaolosuhteisiin sekä tuloilmajäähdytyksen ja huonejäähdytyksen yhteisvaikutusta. Simulointi toteutettiin menoveden lämpötiloilla 7,8,9,10,11 ja 12 °C lämpötilaerolla 5 °C.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin, että jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan nosto laskee jäähdytyspatterin tehoa sekä kuivauskykyä, mutta sen vaikutus huonelämpötiloihin oli vähäinen. Yhden asteen muutos menovedenlämpötilassa vaikutti huoneissa keskimäärin 0,1 astetta.</p> <p>Opinnäytetyön tulosten perusteella voisi todeta, että jo olemassa olevan rakennuksen jäähdytysjärjestelmän lämpötason nostaminen 7–12 °C:n verkostosta esim. 10–15 °C:n verkostoon ei vaikuta huomattavasti huoneiden sisälämpötiloihin.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>kaukojäähdytys, sisäilma, IDA-ICE, simulointi, vedenjäähdytyskone, sairaala</p>

Author Title	Ari Koukku The Effects of Cooling Systems Temperatures on Indoor Conditions in Hospital Environment
Number of Pages Date	49 pages + 2 appendices 11 September 2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Mika Vuolle, Licentiate of Science
<p>The purpose of the Master's thesis was to establish how the temperature change in the cooling network affects the temperature and humidity of the spaces in a hospital real estate adopting district cooling instead of building specific cooling. A temperature change is inevitable, since the district cooling operates with a higher temperature than building-specific cooling systems with water cooled chillers.</p> <p>The thesis discussed the theory of cooling, and examined the changes in the cooling load at the cooling coil of an air handling unit and in the room air handling units at different supply water temperatures. A simulation with the supply temperatures from 7°C to 12°C, and a heat difference of 5°C, was carried out to study the effect of a rise in the supply water temperature on the indoor climate using the IDA-ICE simulation program.</p> <p>The study established that raising the temperature of supply water decreased the cooling and dehumidification power, but the effect on the room temperatures was minor. A one-degree change in the supply temperature affected the average room temperature by 0,1 degrees. Therefore, it can be concluded that an increase in the cooling system temperature of an already existing building from a network of 7-12°C to a network of 10-15°C does not significantly affect the internal temperatures of the rooms.</p>	
Keywords	district cooling, indoor climate, IDA-ICE, simulation, chiller, hospital

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Jäähdytystarve rakennuksissa	1
2.1	Lämpökuormat	2
2.1.1	Ihmiset	3
2.1.2	Valaistus	4
2.1.3	Laitteet	5
2.1.4	Aurinko	7
2.2	Kiinteistökohtainen jäähdytys	7
2.3	Kaukojäähdytys	8
2.4	Rakennuksen sisäilmaston tavoitearvot	9
2.5	Sisäilman tavoitetasot sairaalarakennuksessa	10
3	Ilman jäähdytys	11
3.1	Jäähdytys ilman kuivatusta	15
3.2	Jäähdytys kuivatuksen kanssa	16
3.3	Tilojen jäähdytys tuloilmalla	19
3.3.1	Huonekuormitussuora	20
3.3.2	Esimerkkilaskelma huonekuormitussuoran käytöstä	21
3.3.3	Menoveden lämpötila ja jäähdytyspatterin toiminta	25
3.3.4	Menoveden lämpötila ja puhallinkonvektorien toiminta	27
4	Olosuhdesimulointi IDA-ICE	28
4.1	Simuloitavat tyyppitilat	29
4.2	Mallin muoto, rakenteet, talotekniset järjestelmät ja sisäiset lämpökuormat	30
4.3	Pelkän ilmanvaihdon vaikutus	32
4.4	Ilmanvaihto ja huonejäähdytys	35
5	Simulointitulokset	39
5.1	Tuloilmajäähdytys	39
5.2	Tuloilma- ja huonejäähdytys	44
6	Johtopäätökset	47
	Lähteet	49

Liitteet

Liite 1. Puhallinkonvektori mitoitukset

Liite 2. Jäähdytyspatterin mitoitukset

1 Johdanto

Kaukokylmä yleistyy jäähdytysratkaisuna Suomessa, jossa on perinteisesti suunniteltu jäähdytys vedenjäähdytyskoneilla. Sairaalarakennuksissa, joissa on kriittisemmät sisäilman olosuhdevaatimukset vedenjäähdytyskoneet on yleensä mitoitettu 7–12 lämpötiloille. Lämpötilatasot ovat määrittäneet normaalisti ilmanvaihdon kuivatustarpeen mukaan. Useat jo valmiit kohteet suunnittelevat siirtyvänsä kaukokylmään kun nykyiset vedenjäähdytyskoneet tulevat elinkaarensa päähän. Kaukokylmä järjestelmän toisipuolen vastaavat lämpötilat ovat uusissa kohteissa +10/+18 astetta. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, mitä tapahtuu sisäilmaolosuhteille ja jäähdytystehoille, kun jäähdytysverkoston lämpötilatasoja lähdetään muuttamaan jo olemassa olevissa järjestelmissä.

Kriittisimmät sisäilmatavoitteet ovat yleensä sairaalarakennuksissa, joten simulointi tehdään sairaalarakennuksen mallitiloilla, kuormilla ja ilmavirtamitoituksilla. Tavoitteena on selvittää miten jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan muutos vaikuttaa tuloilman lämpötilaan ja kosteuteen sekä huonejäähdytyslaitteiden tehoihin ja olosuhteisiin.

Opinnäytetyössä ei käsitellä jäähdytyksen ensiöpuolta, kylmäprosessia eikä vakioilmastointikoneita. Opinnäytetyössä keskitytään IV-koneen vesikiertoiseen jäähdytyspatteriin ja jäähdytysverkostoon liitettyihin puhallinkonvektoreihin, joita ei ole ylimitoitettu. Huonesimuloinnit toteutetaan dynaamisella laskentatyökalulla (IDA-ICE).

2 Jäähdytystarve rakennuksissa

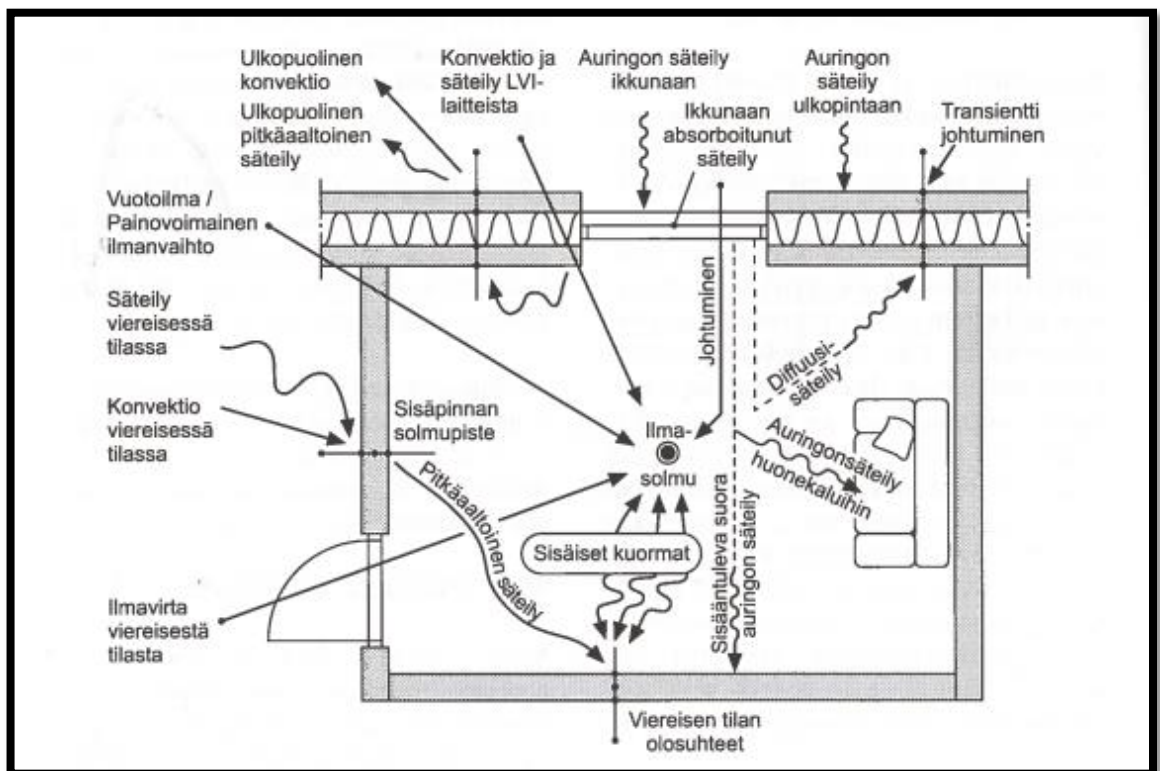
Koska rakennusten energiatehokkuus on parantunut, rakennusten lämpöhäviöt ovat pienentyneet. Sen vaikutuksesta on mahdollista, että sisäiset lämpökuormat ja aurinkokuorma nostavat sisälämpötiloja epämiellyttävän korkeiksi. Korkeat lämpökuormat laskevat työn tuottavuutta ja aiheuttavat epäviihtyvyyttä tilassa oleskeleville. Tämän takia jäähdytysratkaisuihin on alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota. (1, s. 419.)

Rakentamismääräyskokoelman osa D3 antaa raja-arvot rakennuksen kesänaikaisille sisälämpötiloille. Jos vaatimukset eivät täyty niin rakennuslupaa ei myönnetä. Suunnittelijoiden on hyvä pyrkiä estämään huoneiden yllilämpeneminen ensisijaisesti raken-

teellisilla, sekä passiivisilla ratkaisuilla. Jos passiiviset ja rakenteelliset ratkaisut eivät täytä raja-arvo asetuksia, niin rakennus on varustettava jäähdytysjärjestelmällä. (1, s. 419.)

2.1 Lämpökuormat

Jäähdytystarvelaskennassa rakennuksen jäähdytystehontarve muuttuu jatkuvasti, joten tilan jäähdytystarpeen laskenta on paljon monimutkaisempaa kuin lämmitystarpeen laskenta. Keskeisiä asioita jäähdytystarpeen laskennassa ovat rakenteisiin varastoitunut lämpö, auringon säteilyn vaikutus huonetilaan sekä säteilylämmönsiirto pintojen välillä. (1, s. 419.) Kuvassa 1 on havainnollistettu huoneen jäähdytykseen vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 1. Huonetilan jäähdytykseen vaikuttavia tekijöitä. (1, s. 420).

Koska todellisessa tilanteessa tilan lämpökuorma vaihtelee paljon tilan käyttötarkoituksen mukaan, on tärkeää selvittää tilan käyttöprofiili. Onko tilassa jatkuvasti ihmisiä ja minkälaista työtä he tekevät, onko valaistus tarpeenmukainen vai päällä koko ajan ja minkälaisia sähkölaitteita tilassa on. (1, s. 430.)

Rakentamismääräyskokoelman osa D3 antaa keskimääräisiä käyttöasteita, sekä sisäisiä kuormia eri rakennustyypeille. Taulukossa 1 on esitetty rakentamismääräyskokoelman osan D3 keskimääräisiä arvoja. Taulukon arvoja pitää käyttää energialaskennassa, mutta niitä voi käyttää myös jäähdytystarpeen mitoituksessa, jos tilaaja, arkkitehti tai muut suunnitteluosapuolet eivät pysty tarkempaa tietoa antamaan. (2, s. 19.)

Taulukko 1. Rakennusten standardikäyttö ja energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat nettoalaa kohti. (2, s. 19.)

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^a W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkoti	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6
b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1
c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.
d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

2.1.1 Ihmiset

Hypotalamus on aivojen osa, joka pyrkii pitämään huolta ihmiskehon lämmöntuotosta. Pieniä henkilökohtaisia eroja kehon sisälämpötiloissa on, mutta hypotalamus pyrkii pitämään ihmisen sisäosien ydinlämpötilan noin 37 asteessa. Pääasiallisesti lämmönsiirto ympäristöön tapahtuu ihon välityksellä. Muita keinoja ovat pintaverenkierron säätely, lihaskäyttö ja hikoilu. (3, s. 40.)

Ihmiskeho luovuttaa lämpöä konvektion, säteilyn ja vesihöyryn haihtumisen kautta. Suomessa käytetään normaalisti ihmisen lämpökuormana 125 W/hlö normaaleissa toimisto-olosuhteissa. Tästä tehosta on kuivan lämpökuorman osuus 85 W ja vesihöyryn osuus noin 40 W. (1, s. 430.)

2.1.2 Valaistus

Valaistuksen vaikutus huonetilan lämpökuormiin vaihtelee tilatyypin ja tilankäyttöprofiilin mukaan. Lähtökohtana ovat valaistuksen tavoitetasot. Hyvällä suunnittelulla kuormiin voidaan vaikuttaa merkittävästi. Käyttämällä tilassa hyväksi päivänvaloa, vakiovalo-ohjausta ja läsnäoloanturointia voidaan valaistuksen aiheuttamia kuormia pienentää. (1, s.430.)

Valaistustuotteiden energiatehokkuus on huomattavasti parantunut viime vuosina. Tämä johtuu teknologian kehitymisestä sekä lainsäädännöstä. Rakentamismääräskoelman osa D3 2012 taulukko on näiltä osin jo vanhentunutta tietoa. Taulukossa 2 on esitetty nyt luonnosvaiheessa olevan ympäristöministeriön asetuksen uusista valaistuskormista. Luonnos on lähempänä totuutta todellisista kuormista tällä hetkellä. (4.)

Taulukko 2. Rakennusten standardikäyttö ja energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat nettoalaa kohti. (5,s.7.)

Käyttötarkoituluokka	Kellon-aika	Käyttöaika		Käyttöaste	Sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti		
		Vuorokautinen h/24h	Viikoittainen d/7d		-	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²
Luokka 1)	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	6	3	2
Luokka 2	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	9	4	3
Luokka 3)	07:00-18:00	11	5	0,65	10	12	5
Luokka 4)	08:00-21:00	13	6	1	19	1	2
Luokka 5)	00:00-24:00	24	7	0,3	11	4	4
Luokka 6)	08:00-16:00	8	5	0,6	14	8	14
Luokka 7)	08:00-22:00	14	7	0,5	10	0	5
Luokka 8)	00:00-24:00	24	7	0,6	7	9	8

2.1.3 Laitteet

Tilan laitekuormat muodostuvat tilassa olevista sähkölaitteista. Toimistoympäristössä suurimmat kuormat tulevat tietokoneista, näytöistä ja tulostimista. Asuinhuoneistoissa pitää huomioida suuri viihde-elektroniikan määrä, sekä jääkaapit ja pakastimet. (1, s.430.) Erikoisissa kohteissa esim. sairaaloissa voi olla erilaisia lämpöhauteita, syväjääpakastimia, lääkejääkaappeja ja erilaisia kuvantamisenlaitteita, joissa lämpökuormat voivat olla useita kymmeniä kilowatteja.

Taulukossa 3 on esitetty jo valmistuneen Kuopion yliopistollisen sairaalan peruskorjauskohteen toteutuneita kiinteiden sairaalalaitteiden lämpökuormia. Lämpökuormat ovat suuntaa antavia ja tulee tarkistaa joka projektissa. (6.)

Taulukko 3. Kiinteiden sairaalalaitteiden esimerkkikuormia. (6.)

Laite	Lisätieto	lämpökuorma (kW)
Astianpesukone		0,4
CO2 Inkubaattori		0,4
Desinfioiva huuhtelulaite		0,8
Hydrokollaattori		1
Jäähilekone		0,2
Jääkaappi		0,1
Laboratoriojääkaappi		0,4
Laboratoriojääkaappi	Näytteenottotarvikkeille	0,2
Laboratoriojääkaappipakastin		0,5
Laboratoriopakastin	- 20 °C	0,5
Luokan II biologinen suojakaappi	tartuntavaarallisten potilasnäytteiden käsittely	0,5
Lämpökaappi	Näytteille	0,1
Lääkejääkaappi		0,2
Lääkepakastin	kudosliimojen säilytykseen, -25C	0,1
Näytejääkaappi	Virtsan- ja veripussien säilytykseen.	0,1
Näytejääkaappi	verinäytteille	0,2
Sairaalavälineiden kuivauskaappi		1
Sairaalavälineiden pesukone		1,5
Syväjääpakastin	Vaatus -85C	1,5
Syväjääpakastin	Vaatus -74 C, luiden pakastaminen	1,5
Veripakastin		0,3

Sairaalarakennukseen tulee myös paljon erilaisia kuvantamisen tiloja. Laittevalmistajat määrittelevät olosuhteet, joilla heidän laitteensa toimivat. Taulukossa 4 on esitetty eri valmistajien kuvantamislaitteiden olosuhdevaatimuksia. Riippuen laitteesta lämpökuorma lauhdutetaan joko veteen tai ilmaan. Kriittisimmät kuvantamisen laitteistot yleensä kytketään käyttöveden hätäjähdytykseen (7.) Kuvaustilassa on itsekuvauslaite, johon potilas käy makaamaan. Säätila on erillinen viereinen tila, jossa hoitohenkilökunta säätää ja valvoo kuvaustilannetta. Säätilan ja kuvaustilan välissä on iso ikkuna, mistä hoitohenkilökunta voi tarkkailla tilannetta. Tekninen tila on oma erillinen tila, mihin sijoitetaan kuvauslaitetta palvelevia sähkölaitteita.

Taulukko 4. Olosuhdevaatimuksia ja lämpökuormia kuvantamistiloille. (7.)

Sisäilmastotyyppi	Sisälämpötila, °C			Suht. kosteus, %		Kuvaus tila	Säätila	Tekninen tila
	Kuvaus	Säätila	tekninen	Min	Max			
	Min/max	Min/max	Min/max	Min	Max	kW	kW	kW
Sädehoito Laitetoimittaja 1	16/27	16/27	16/27	15	80	15	3,5	
Angio Laitetoimittaja 1	15/30	15/30	15/30	35	70	3	1	12
Angio Laitetoimittaja 2	10/32	10/35	20/25	30	75	4,3	3,7	28
Angio Laitetoimittaja 3	15/30	15/30	15/30	35	75	3	0,4	9,4
Röntgen Laitetoimittaja 1	18/28	18/28	18/28	20	75	2,5	0,6	
PET TT Laitetoimittaja 1	20/26	20/26	18/30	20	75	15	1,75	5,6
MRI Laitetoimittaja 1	15/21	15/32	15/32	30	60	9	1,4	6

Jäähdytyskuormat teletiloissa nousevat vuosi vuodelta. Tämä johtuu muun muassa, PoE-syöttöisten (Poweroverethernet) laitteiden lisääntymisestä. Monesti sairaalarakennuksen verkon aktiivilaitteet saatetaan kahdentaa kyberturvallisuussyistä. Jäähdytyskuormat voivat helposti olla kahden täyskorkean laiteräkin tilassa 4–5 kW. (8.)

Kaikki sähköverkostosta otettu teho muuttuu lopulta lämmöksi. Liitäntäteho, joka yleensä löytyy laitteen tyyppikilvestä, ei ole sama kuin laitteen ottoteho käyttötilanteessa. Laitteen teho käyttöhetkellä on huomattavasti pienempi kuin laitekilven ilmoittama liitäntäteho, mikä tulee huomioida suunnittelussa. (1, s.430.)

Yleensä suunnittelun alkuvaiheessa joudutaan tyytymään karkeaan arvioon sähkölaitteiden lämpökuormista. Sähkösuunnittelijat toimittavat pyydettyä arvioita kojeistojen lämpökuormista, mutta apuna voi käyttää myös ST 53.61, sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys standardin luvun 6 Lämpökuormien määrittelyohjetta. (9, s.8.)

2.1.4 Aurinko

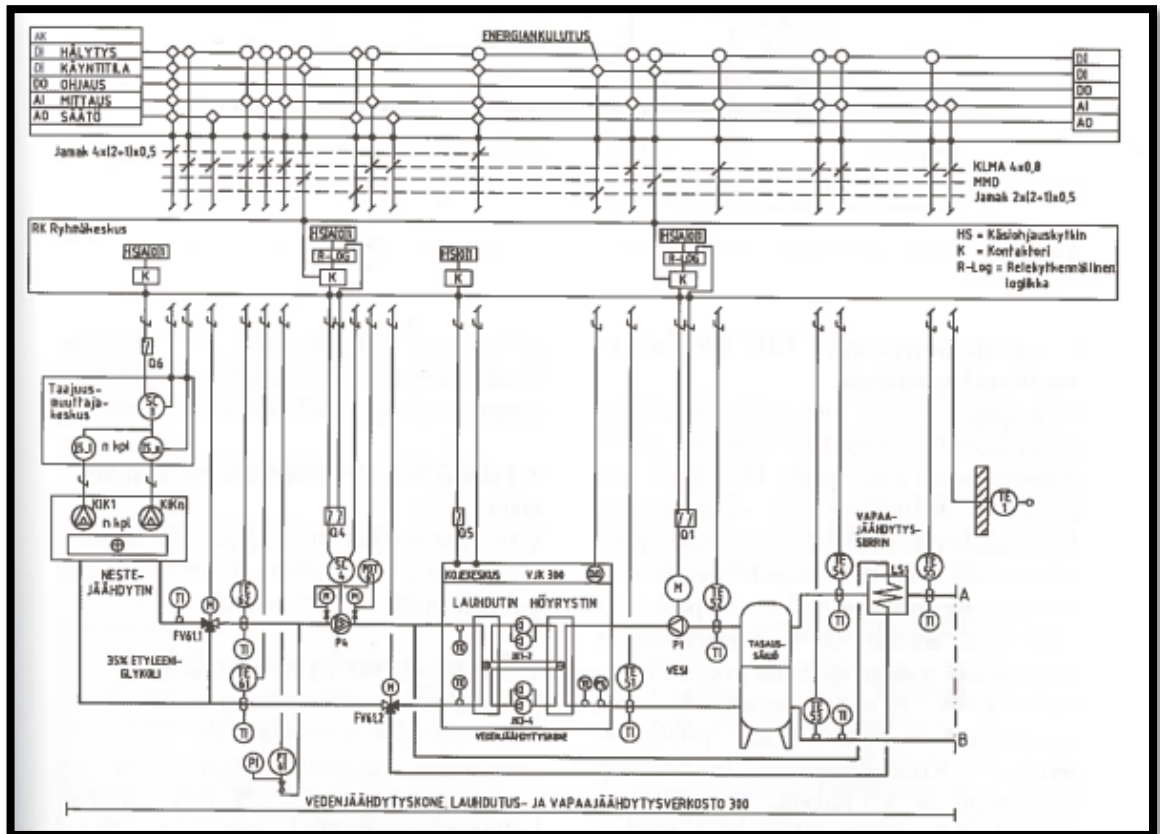
Useimmiten auringosta tuleva säteily aiheuttaa huonetiloihin suurimmat lämpökuormat. Kuormiin voidaan vaikuttaa ikkunoiden pinta-alalla, ikkunoiden ja huoneen suuntauksella, varjostuksella, sälekaihtimilla, lasiratkaisuilla ja muilla suojaustavoilla. Lämmityskaudella katsotaan ikkunan U-arvoa, joka kertoo ikkunan lämpöhäviön, kun taas jäähdytystilanteessa tärkeä arvo jäähdytystarpeen selvityksessä on ikkunan g-arvo.

Osa auringon säteilystä absorboituu ikkunalasiin ja nostaa sen lämpötilaa. Absorptiolämpö siirtyy konvektion ja säteilyn kautta huonetilaan. Ikkunan g-arvo ilmoittaa auringosta sisälle siirtyvän energian osuuden. (1, s.432.)

2.2 Kiinteistökohtainen jäähdytys

Isot kiinteistöt jäähdytetään yleensä liuoslauhdutteisilla vedenjäähdytyskoneilla tai kylmävesiasemilla. Jäähdytyspiiri palvelee perinteisesti IV-Jäähdytystä, puhallinkonvektoreita ja jäähdytyspalkkeja. Vedenjäähdytyskoneen lauhdutus tapahtuu normaalisti ulkona olevaan nestejäähdyttimeen. Talviaikaan voidaan nestejäähdytintä hyödyntää vapaajäähdytyksessä, jos kiinteistössä on ympärivuotista jäähdytystä tarvitsevia tiloja. (1, s. 315.)

Vedenjäähdytyskoneen mitoituslämpötilaksi jäähdytysverkoston puolella ovat vakiintuneet +7/+12 °C. Tämä ei ole sääntö vaan lämpötilat voivat olla myös tätä korkeammat. Jos huonetilan lisjäähdytys toteutetaan puhallinkonvektoreilla tai palkkijäähdytyksellä, tuloilman kuivatuksella on suuri merkitys. Yleensä suurin osa huonetilaan tulevasta kosteuskuormasta tulee ilmanvaihdon mukana. Tuloilmaa pystytään kuivaamaan +7/+12 °C:n verkostolla vaikeimmissakin olosuhteissa. Jos kuivatustarvetta ei ole verkoston käyttölämpötilat voivat olla myös tätä korkeammat. Verkoston lämpötilojen noustessa on huomioitava, että ilmanvaihdon tuloilman jäähdytyksen patterikoko kasvaa, mutta samalla vedenjäähdytyskoneen hyötysuhde paranee. (1, s. 316.) Kuvassa 2 on esitetty periaatekaavio vedenjäähdytyskoneesta.



Kuva 2. Vedenjäähdytyskoneen periaatekaavio. (1, s.317.)

2.3 Kaukojäähdytys

Kaukokylmä on tuotantotalvaltaan verrattavissa kaukolämpöjärjestelmään. Kylmä vesi tuotetaan keskitetysti ja toimitetaan kiinteistöihin kaukojäähdytysverkoston kautta. Suomessa kaukojäähdytystä tuotetaan tällä hetkellä absorptiotekniikalla, jäähdytyskompressori koneikoilla, lämpöpumpuilla hyväksikäyttäen esimerkiksi jätevesien lämpöä sekä vapaajäähdytyksellä. (1, s.319.)

Vapaa jäähdytys on Suomen ilmaston ja suurien vesistöjen takia toimiva ratkaisu. Kannattavinta se on luonnollisesti talviaikana, kun vesistöjen lämpötilat ovat alhaisimmillaan, mutta syvänteissä veden lämpötila pysyy kohtuullisena myös kesätilanteessa. Vapaa jäähdytysjärjestelmän rinnalle yleensä suunnitellaan myös koneellinen jäähdytysratkaisu, jolla lisäjäähdytetään ensiöpiiriin vettä, jos tarvittavaa tehoa ei saada aikeksi pelkästään vapaa jäähdytyksellä. (1, s. 320.)

Suomessa kaukojäähdytyksen suunnittelua ohjaa Rakennusten kaukojäähdytys, Yhteinäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet J1. Ohje on energiayhtiöiden tekemä opas- ja se ohjaa suunnitteluratkaisuja. (10, s. 1.) Lämpötilamitoitukset on hyväksyttyä kylmäntuottajalla. Helsingin Energian paikallisissa lisäohjeissa on määritelty ensiöpuolen lämpötiloiksi 8 °C–16 °C ja lämmönsiirtimen asteisuudeksi vähintään 2 °C. Tämä tarkoittaa, että toisiopuolen lämpötila on alimmillaan 10 °C.

2.4 Rakennuksen sisäilmaston tavoitearvot

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2 määrittelee rakennuksen vaatimukset sisäilmaolosuhteisiin kaikissa uusissa rakennuksissa. (11.) D2 koostuu määräyksistä ja ohjeista ja ne ottavat kantaa rakennuksen lämpöolosuhteisiin, ilmanlaatuun, ääniolosuhteisiin, valaistukseen ja ilmanvaihtoon.

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. (11, s. 4.)

Suunnittelun, rakentamisen ja tilaajan avuksi on tehty sisäilmastoluokitus 2008, jonka tavoitteena on luoda terveellisimpiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. (12, s.3.) Sisäilmaluokitus ei ole viranomaismääräys, eikä se kumoa viranomaismääräyksiä tai niistä tehtyjä tulkintoja. Tavoitteena on määrittää sisäilmastavoitteet rakennuksen lämpöolosuhteille, ilman laadulle, ääniolosuhteille ja valaistukselle ja valvoa niitä läpi rakennusvaiheen. Sisäilmaluokat on jaettu kolmeen tasoon; S1, S2 ja S3, joista S1 on paras. Kuvassa 3 on esitetty sisäilmaluokituksen tavoitetasoja.

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	±0,5	±1,0	±1,0
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjistä]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–
* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.			

Kuva 3. Sisäilmaluokituksen tavoitetasoja huonelämpötilalle. (12,s.5.)

2.5 Sisäilman tavoitetasot sairaalarakennuksessa

Sairaalarakennukset suunnitellaan yleensä vähintään tasoon S2, mutta sairaaloissa on paljon tiloja, joissa on myös tätä tiukempia vaatimuksia.

Suomessa ei ole tällä hetkellä määräystä, joka ohjaisi sairaalatilojen kostutusta. Kaikki leikkaussalit suunnitellaan kostutuksella, mutta sairaalat päättävät itse ottavatko ne kostutuksen käyttöön. Puhdastiloihin suunnitellaan ja otetaan käyttöön kostutus suurten ilmavirtojen takia. Ilman kostutusta suhteellinen kosteus laskisi alle 10 %:iin talvella. Tarkemmat olosuhdevaatimukset ilmankosteuden suhteen tulee yleensä tilaajalta tai laitetoimittajilta. (13.)

Koska tuntemus lämpimästä ja kylmästä on yksilöllinen haasteena jäähdytyksen ja lämmityksen suunnittelussa on, että huonetila yleensä mitoitetaan yhteen toimintapisteeseen. Jos tiloissa on paljon ihmisiä niin toisella voi olla kylmä ja toisella kuuma. Yksi ratkaisu, joka näyttää yleistyvän sairaalakohteissa on säteilyjäähdytys-lämmitys.

Säteilypaneelit ovat joko kaksi- tai neliputkijärjestelmiä, jossa tilanteen mukaan kiertää joko kylmä tai lämmin vesi. Lämmityksessä energia muuttuu lämmön tunteeksi, kun se kohtaa pinnan. Tunne on vastaava, kun auringon lämpö iholla. Jäähdytystilanteessa ihmiset ja esineet säteilevät lämpöä ja ilma lämpenee. Lämmennyt ilma nousee ylös säteilyjäähdytyspaneelille, jossa ilma luovuttaa lämpönsä paneelin ja virtaa takaisin huoneilmaan hitaalla liikenopeudella aiheuttamatta vedon tunnetta.

Kuvassa 4 on esitetty Pohjola Sairaalan heräämö. Jokaisen potilaspaikan päälle on asennettu säteilylämmitys/jäähdytyspaneeli. Jokaisen potilaspaikan olosuhteita voidaan poikkeuttaa noin 2 °C huonetilan lämpötilasta. (14.)



Kuva 4. Pohjola Sairaalan heräämö, Helsinki. (14.)

Kuopion keskussairaala on mukana Humantool-tutkimuksessa, jossa tutkitaan, miten operatiivisen henkilötiedon avulla muutetaan yksittäisen tilan lämpöolosuhteita. Tutkimuksesta vastaa Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Henkilöiltä kerätään ikä-, sukupuoli-, pituus-, paino- ja lihaksikuustieto. Tietojen perusteella ihmiselle lasketaan optimilämpötila/kosteusolosuhde. Tutkimuksessa kartoitetaan, miten huonetilassa olevat lämmitys–jäähdytysjärjestelmä reagoisi automaattisesti tilaan tulevaan ihmiseen ja loisi tätä varten optimaaliset olosuhteet. Tutkimus on vielä kenttätestausvaiheessa, mutta sairaalat selkeästi ovat siirtymässä järjestelmiin, kuten säteily–jäähdytyspaneelit, joilla kyseinen optimointi olisi mahdollista. (15.)

3 Ilman jäähdytys

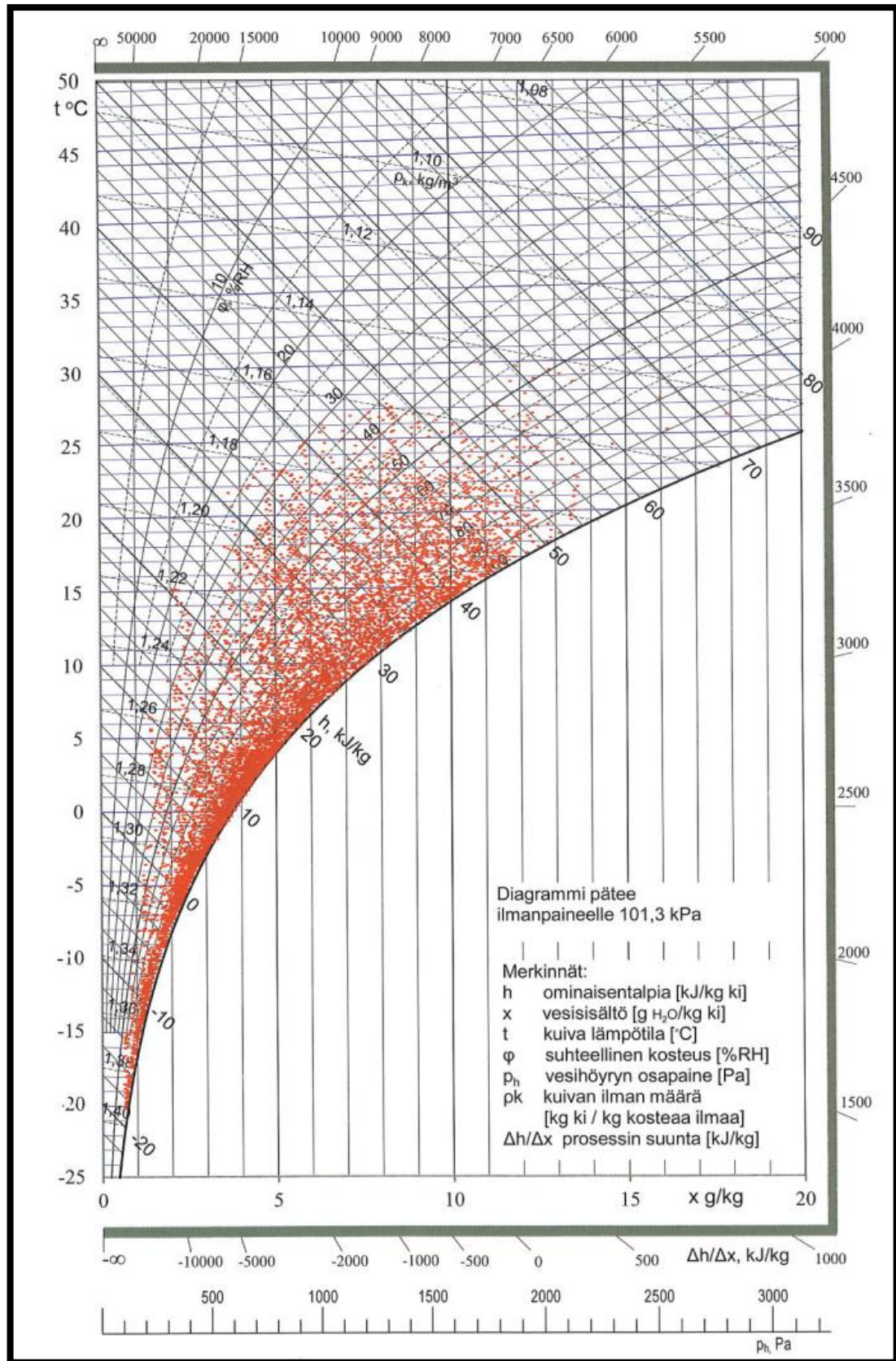
Kesällä ulkoilman mitoittava lämpötila on 25 °C ja entalpia 55 kJ/kg. Jäähdytyspatterin tehtävä on jäähdyttää lämmin ulkoilma ennen huonetilaan puhallusta. Normaalisti haluttu tuloilman lämpötila kesällä on noin 15–20 °C, mutta tarkempi mitoitus tehdään aina tapauskohtaisesti. Tätä alemmaksi tuloilma yleensä jäähdytetään vain siinä tapauksessa, että ilmasta halutaan poistaa kosteutta. (1, s. 187.)

Vaikka Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrittelee Lapin läänissä ulkoilman mitoitusolosuhteeksi 25 °C ja 50 kJ/kg ja muualla Suomessa 55 kJ/kg, ulkoilman entalpia voi olla myös tätä korkeampi.

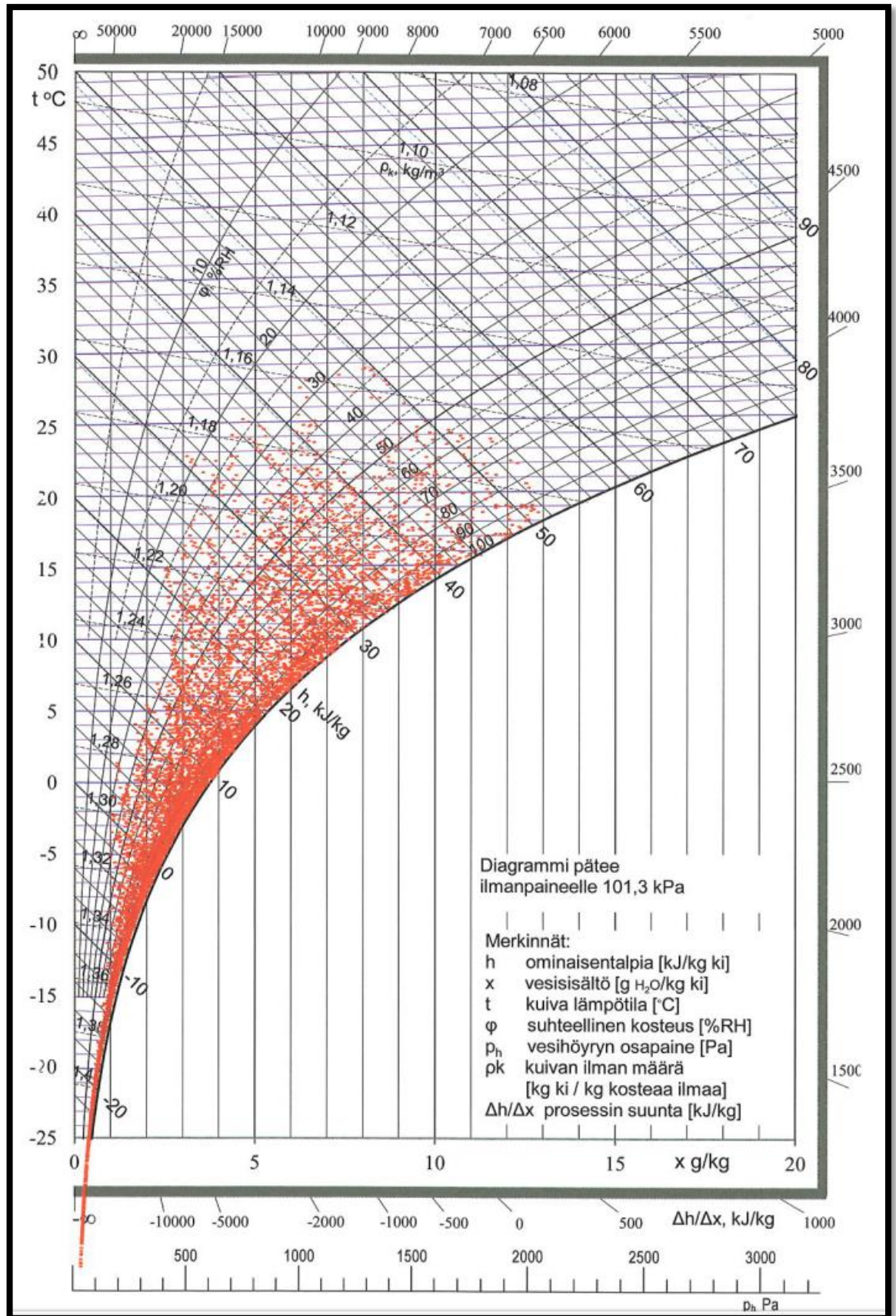
Suunnittelijat voivat helposti havainnoida ilman ominaisuuksia kostean ilman Mollier-diagrammin eli h-x-diagrammin avulla. Mollier-diagrammin avulla pystyy nopeasti ja helposti ilmaisemaan, mitä tapahtuu ilmankäsittelyn eri vaiheissa ja miten ilman tila muuttuu, kun ilmaa lämmitetään, jäähdytetään, kostutetaan tai kuivataan.

Kuvassa 5 on esitetty vuosisäädata Vantaalta ja kuvassa 6 vuosisäädata Sodankylästä. Kuvissa on esitetty ulkoilman olosuhteet koko vuodenajalta. Jokaisessa kuvassa on 8760 merkkiä, joista yksi merkki ilmentää yhden tunnin olosuhdetta. Säädata perustuu TRY 2012 sää tietoihin, joita käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3 energialaskennan perustana. (3, s.91.)

Kuvia vertailemalla huomaa, että olosuhteet Suomen eri osissa voivat muuttua paljon. Olosuhdesimulointeja tehdessä tulee käyttää aina alueen todellista vuosisäädataa.



Kuva 5. Vuosisäädata Vantaalla TRY 2012:n mukaan. (3, s. 92.)

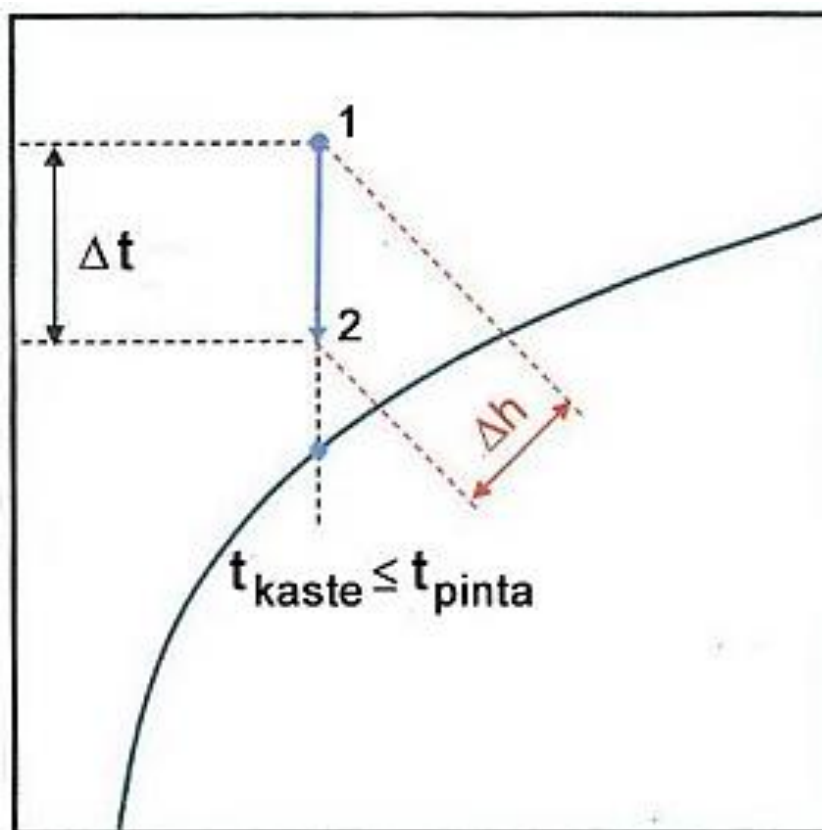


Kuva 6. Vuosisäädata Sodankylässä TRY 2012:n mukaan. (3, s. 94.)

3.1 Jäähdytys ilman kuivatusta

Kun ulkoilmavirtaa jäähdytetään ulkoilman lämpötilasta haluttuun tuloilman lämpötilaan, siten että jäähdytyspatterin pintalämpötila on korkeampi kuin tuloilman kastepistelämpötila, niin patteriin ei kondensoidu vesihöyryä. Näin ollen absoluuttinen kosteus ei muutu, eikä kuivausta tapahdu. (1, s, 132.)

Jos ilmaa ei haluta kuivata niin jäähdytysteho voidaan laskea kaavalla 1. Kuvassa 7 on esitetty ilman olosuhteen muutos jäähdytysprosessissa, jossa ilmasta ei kondensoidu vesihöyryä patterinpintaan.



Kuva 7. Jäähdytysprosessi, jossa ilmaa ei kuivata.

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{ilma}} &= qm_i * Cp_i * \Delta T_i = \rho_i * qv_i * Cp_i * \Delta T_i \\ &= \rho_i * qv_i * Cp_i (T_{\text{tulo}} - T_{\text{ulko}}) \end{aligned} \quad (1)$$

Φ_{ilma} on lämmitysteho [kW]

qv_i on Ilman tilavuusvirta [m³/s]

q_{m_i} on ilman massavirta [kg/s] $q_{m_i} = \rho_i \cdot q_{v_i}$

C_{p_i} on ilman ominaislämpö [kJ/kgK]

ρ_i on ilman tiheys [kg/m³]

T_i on ilman lämpötila [°C tai K].

3.2 Jäähdytys kuivatuksen kanssa

Jos jäähdytyspatterin pintalämpötila on alhaisempi kuin ilman kastepistelämpötila, osa ilman kosteudesta kondensoituu jäähdytyspatterin pintaan. Prosessi voidaan piirtää suorana, jos oletetaan patterin pintalämpötilan olevan vakio. Käytännössä jäähdytyspatterin pintalämpötila muuttuu, kun jäähdytyspatterissa kiertävä neste lämpenee ilmanvaikutuksesta.

Kuvassa 8 on esitetty jäähdytysprosessi, jossa on oletettu patterin pintalämpötila vakioksi. Kuvassa 9 ja 10 on esitetty jäähdytysprosessi, jossa patterin pintalämpötila muuttuu (1, s.132). Kaavaa 1 ei saa käyttää prosesseissa, jossa ilman kosteussisältö muuttuu, vaan lämpötilamuutoksen sijasta on käytettävä ilman entalpian muutosta. Kaavaa 2 voi käyttää myös kuivan jäähdytyksen laskemiseen.

$$\dot{Q}_{ilma} = q_{m_i} \cdot \Delta h_i = \rho_i \cdot q_{v_i} \cdot \Delta h_i = \rho_i \cdot q_{v_i} \cdot (h_{ulko} - h_{tulo}) \quad (2)$$

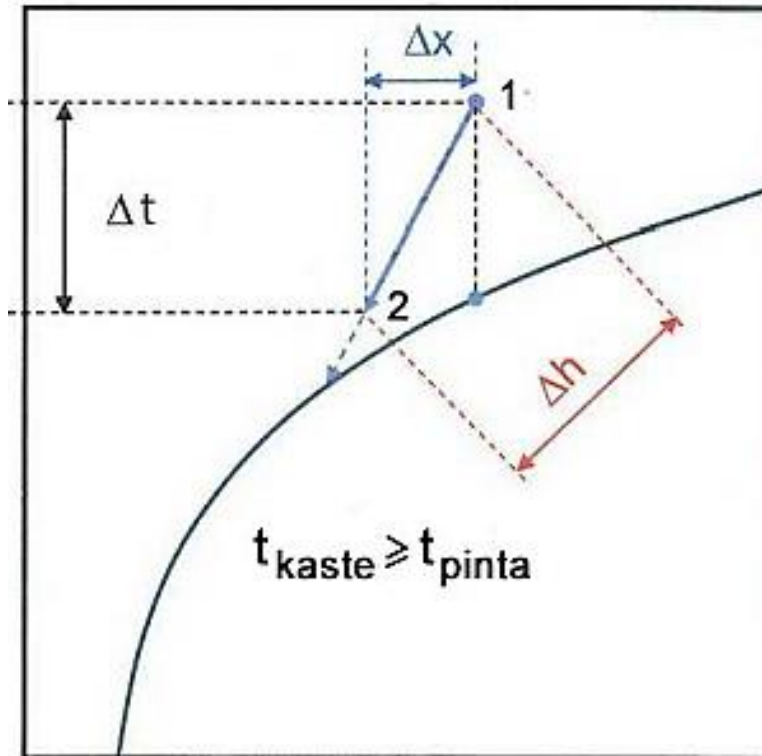
\dot{Q}_{ilma} on lämmitysteho [kW]

h_i on Ilman entalpia [kJ/kg]

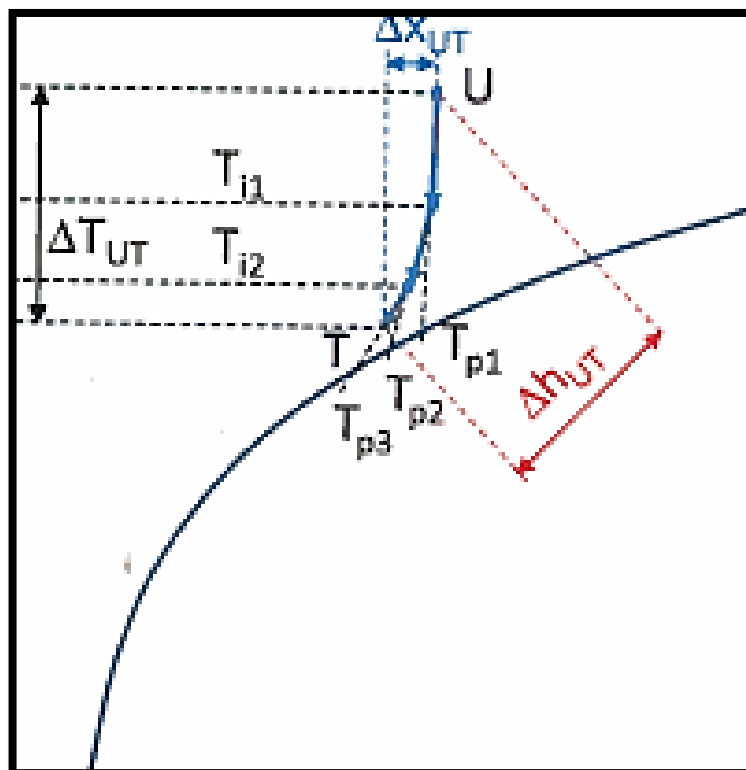
q_{m_i} on ilman massavirta [kg/s] $q_{m_i} = \rho_i \cdot q_{v_i}$

ρ_i on ilman tiheys [kg/m³]

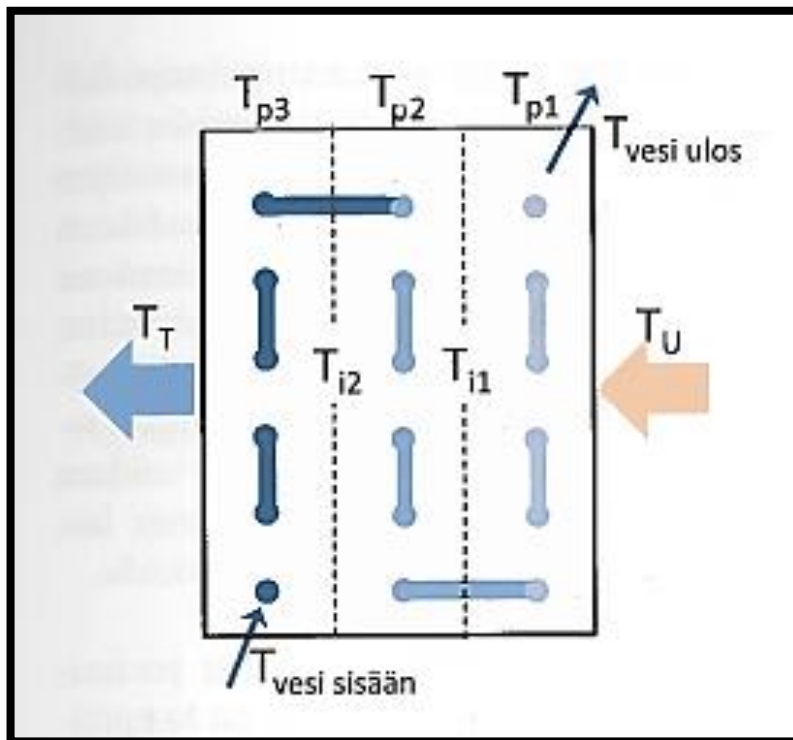
q_{v_i} on Ilman tilavuusvirta [m³/s].



Kuva 8. Jäähdytysprosessi, jossa vettä ei kondensoidu.

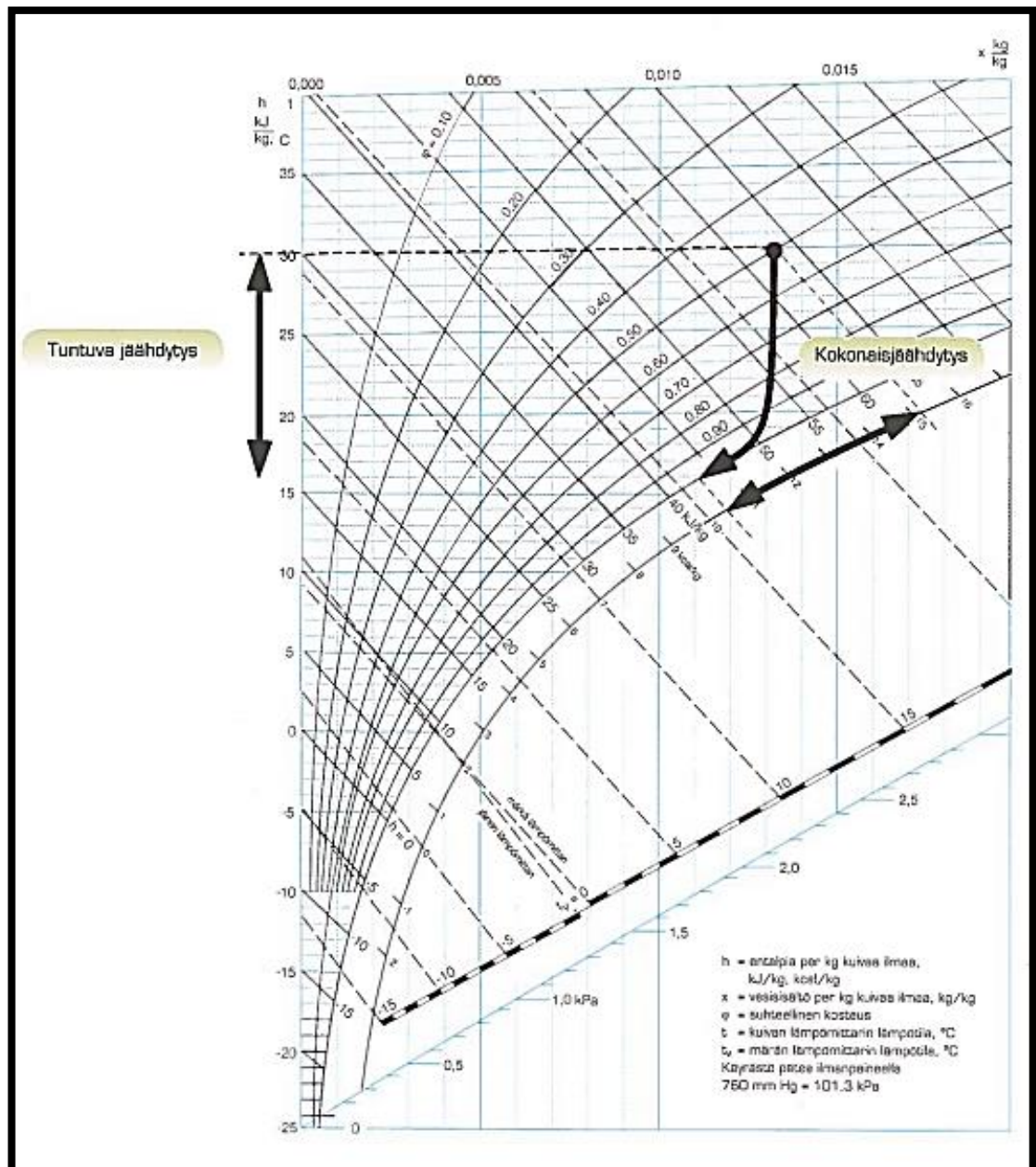


Kuva 9. Jäähdytysprosessi, jossa kondensoituu vettä.



Kuva 10. Periaatteellinen kuva jäähdytyspatterin lämpötilan muutoksesta.

Puhallinkonvektoreita mitoittaessa laitetoimittajat ilmoittavat kokonaisjäähdytystehon ja tuntuvan jäähdytystehon. Kun ilmasta kondensoituu vettä jäähdytysprosessissa osa tehosta menee ilman kuivaamiseen. Kokonaisteho lasketaan entalpien muutoksesta kaavalla 2 ja tuntuva teho lämpötilamuutoksesta kaavalla 1. Kuvassa 11 on esitetty mollier-diagrammilla tuntuvan tehon ja kokonaistehon erot. (16, s,17.)



Kuva 11. Tuntuva teho ja kokonaisjäähdysteho esitettynä mollier-diagrammilla. (16, s.17.)

3.3 Tilojen jäähditys tuloilmalla

Usein isot rakennuskohteet suunnitellaan koneellisella ilmanvaihdolla, jossa on jäähditys- ja lämmityspatteri. Tuloilman olosuhteita pystytään pitämään vakioina, vaikka ulkoilman kosteus tai lämpötila muuttuu. Jos huonetilassa ei ole sisäisiä kosteuskuormia, niin voidaan olettaa, että huonetilan kosteus on sama kuin tuloilman kosteus.

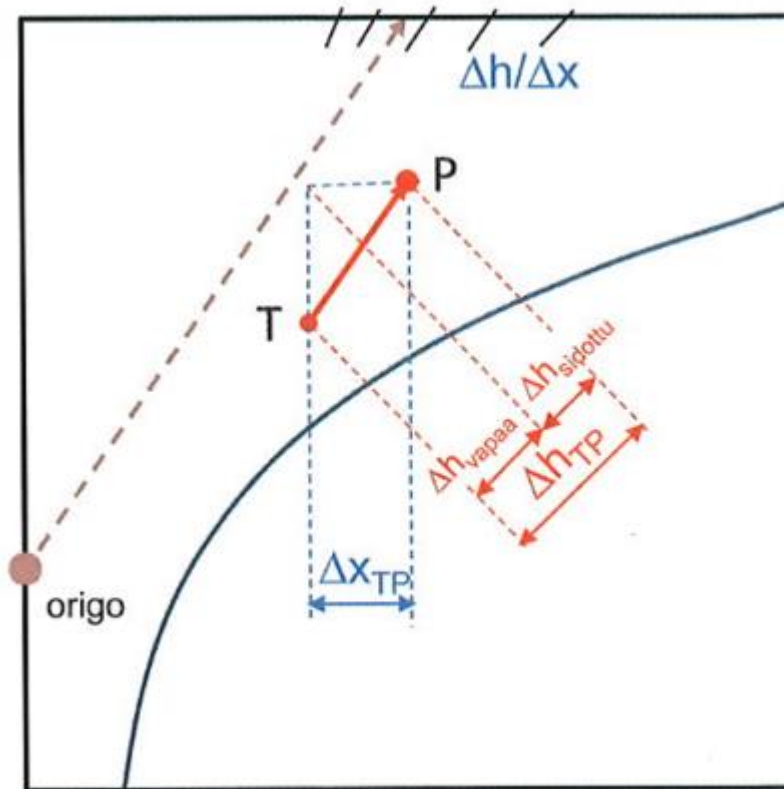
Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin vedenlämpötilat ovat yleensä 7/12 °C. Menoveden lämpötila on vielä sen verran korkea, että kylmäainepiirin höyrystymislämpötila on vielä yli 0 °C:een jolloin höyrystimen jäätymisriski on hallittavissa, ilmaa pystytään vielä tarvittaessa kuivaamaan ja patterikoot ovat pieniä. Vedenjäähdytyskoneen hyötysuhdetta voidaan parantaa nostamalla jäähdytysverkon vedenlämpötiloja esimerkiksi 10/15 °C. Jotta sama jäähdytysteho saadaan aikaan korkeammilla vedenlämpötiloilla niin patterin pinta-alaa pitää kasvattaa. Samalla patterin ilmankuivausvaikutus eli kondensoituminen vähenee. (3, s.281.)

3.3.1 Huonekuormitussuora

Huonetilan olosuhteita voidaan tarkastella samalla tavalla kuin ilman käsittelyä ilmastointikoneessa. Huoneen kuormitussuora kuvaa huonetilassa tapahtuvia muutoksia lämpötilan ja kosteuden suhteen, siten että hx-diagrammiin piirretään suora, jossa prosessin lähtöpiste on tuloilman olosuhde ja päätepiste on poistoilman olosuhde.

Kuvassa 12 on hx-diagrammin avulla esitetty huoneen kuormitussuora. Huoneenkuormitussuora esittää ominaisentalpian muutokset ($\Delta h_{tp} = \Delta h_{kok}$) suhteessa absoluuttisen kosteuden muutokseen ($\Delta X_{TP} = \Delta x$) ja siten myös kokonaislämpökuorman ($\phi_{kok} = q_{milma} \Delta h_{kok}$) suhdetta kosteuskuormaan ($q_h = q_{milma} \Delta x$). Laskemalla kaikki lämpökuormat ja kosteuskuormat tilassa yhteen voidaan huoneen kuormitussuora määrittää. Kuormitussuora HK piirretään yhdensuuntaissiirrolla origon kautta kulkevalla suoralla. Asiaa voidaan tarkastella kaavalla 3 (1, s.141).

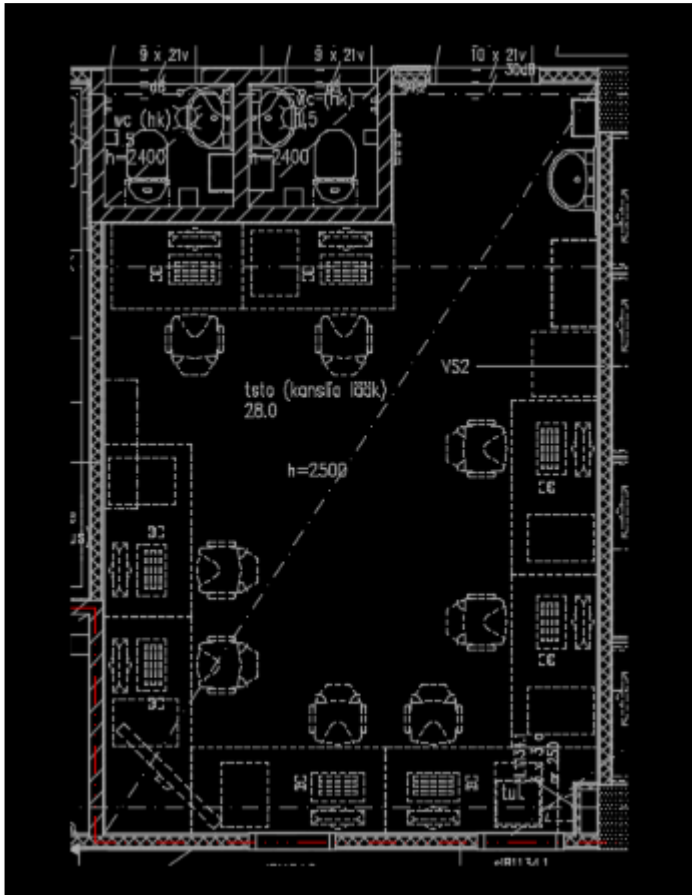
$$HK = \frac{\Delta h_{TP}}{\Delta X_{TP}} = \frac{\Delta h_{kok}}{\Delta x} = \frac{\phi_{kok}}{q_h} = \frac{\phi_{vapaa} + \phi_{sidottu}}{q_h} \quad (3)$$



Kuva 12. Huoneen kuormitussuora esitettyinä hx-diagrammilla.

3.3.2 Esimerkkilaskelma huonekuormitussuoran käytöstä

Kuvassa 13 on sairaalarakennuksen lääkärin kanslia. Toimistojen ilmavirta sairaalossa on $2,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$, eli kyseisen tilan ilmavirta on 70 l/s . Tuloilman lämpötila jäähdytyspatterin jälkeen on $19 \text{ }^\circ\text{C}$ ja suhteellinen kosteus 77% . Tilassa on kahdeksan henkilöä ja sähkölaitteita, joista syntyy yhteensä 1 kW :n lämpökuorma. Ilmanjako huonetilassa on sekoittava ja ilman tiheys $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$. Toimisto sijaitsee rakennuksen sisäalueella ja näin ollen tilaan ei tule aurinkokuormia.



Kuva 13. Sairaalarakennuksen kanslia.

Ihmistä muodostuu tilaan lämpöä ja kosteutta, joista 80 W on vapaata kuormaa/henkilö ja 45 W sidottua kuormaa/henkilö, joka vastaa 65 g/h vesihöyryä. Lasetaan ensin tilassa olevat lämpökuormat ja vesihöyryn määrä.

$$\phi_{vapaa} = 8 \text{ hlö} * 80 \frac{\text{W}}{\text{hlö}} + 1 \text{ kW} = 1,64 \text{ kW}$$

$$\phi_{sidottu} = 8 \text{ hlö} * 45 \frac{\text{W}}{\text{hlö}} = 0,36 \text{ kW}$$

$$\phi_{kok} = 1,64 \text{ kW} + 0,36 \text{ kW} = 2 \text{ kW}$$

Haihtuva vesihöyryvirta

$$q_h = 8 \text{ hlö} * 65 \frac{\text{g}}{\text{h,hlö}} = 520 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 0,144 \text{ g/s}$$

Käytetään kaavaa 3 huoneen kuormitussuoran laskemiseksi.

$$HK = \frac{\phi_{kok}}{q_h} = \frac{2 \text{ kW}}{0,144 \frac{\text{g}}{\text{s}}} = \frac{2000 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{0,144 \frac{\text{g}}{\text{s}}} = 13846 \frac{\text{J}}{\text{g}} = 13846 \text{ kJ/kg}$$

Poistoilmanpiste voidaan ratkaista kokonaisentalpian muutoksesta.

$$\Delta h_{kok} = \frac{\phi_{kok}}{\rho_i \cdot qv_i} = \frac{2 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,07 \text{ m}^3/\text{s}} = 23,8 \text{ kJ/kg}$$

Tuloilman lämpötila on 19 °C ja suhteellinen kosteus 77 %, joten tuloilman entalpia on 45,9 kJ/kg. Näin ollen poistoilman entalpia on 69,7 kJ/kg. Vastaavasti voidaan myös laskea poistoilman absoluuttinen kosteus, absoluuttisen kosteuden muutoksesta.

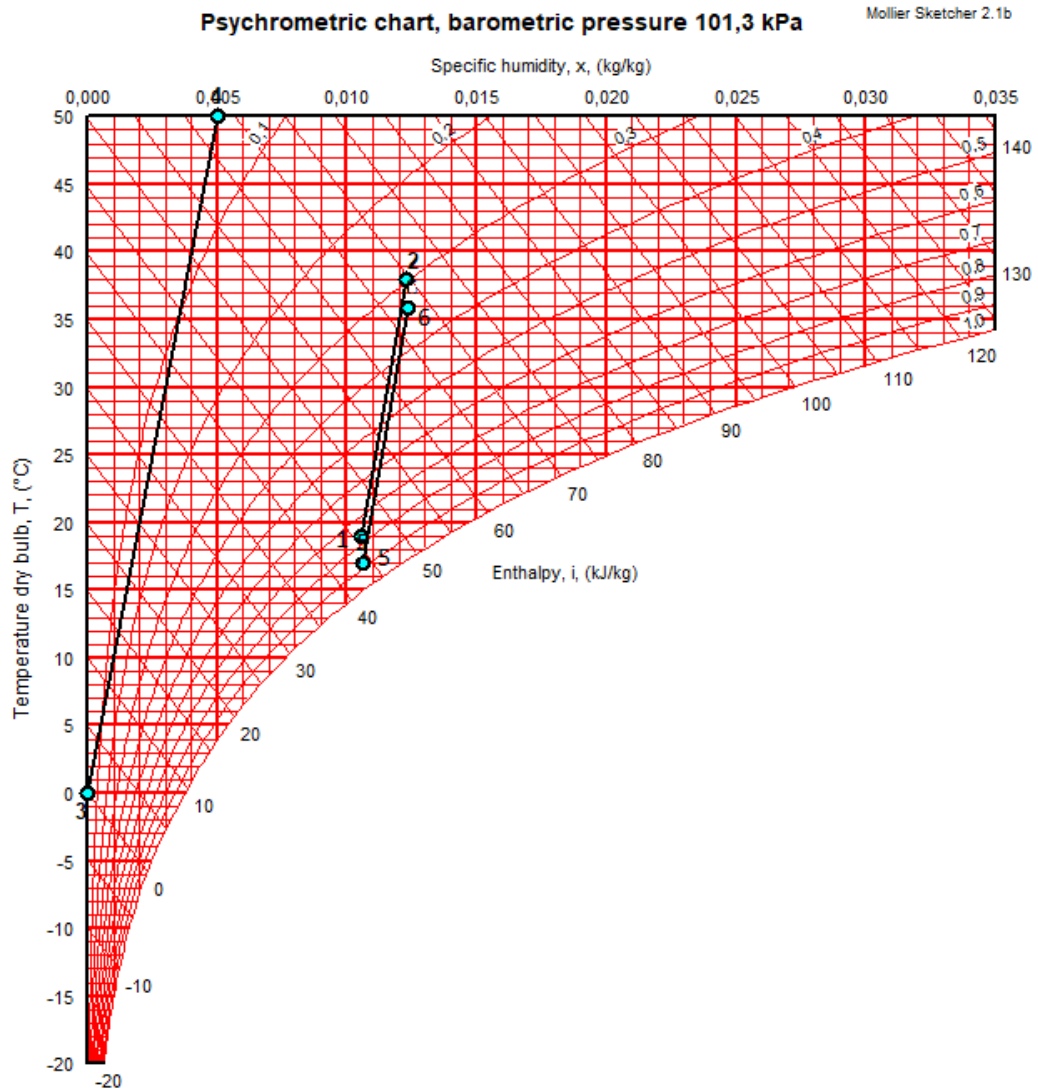
$$\Delta x = \frac{qh}{\rho_i \cdot qv_i} = \frac{0,144 \text{ g/s}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,07 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,71 \text{ g/kg}$$

Tuloilman absoluuttinen kosteus on 10,56 g/kg, joten poistoilman absoluuttinen kosteus on 12,27 g/kg. Voidaan myös määrittää erikseen vapaan ja sidotun lämpökuorman osuudet kokonaisentalpian muutoksesta.

$$\Delta h_{vapaa} = \frac{\phi_{vapaa}}{\rho_i \cdot qv_i} = \frac{1,64 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,07 \text{ m}^3/\text{s}} = 19,52 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h_{sidottu} = \frac{\phi_{sidottu}}{\rho_i \cdot qv_i} = \frac{0,36 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,07 \text{ m}^3/\text{s}} = 4,28 \text{ kJ/kg}$$

Kuvassa 14 on esitetty huoneen kuormitus-suora hx-diagrammin avulla, jossa piste 1 kuvaa tuloilman tilaa, piste 2 poistoilman tilaa, piste 3 origoa ja piste neljä huoneen-kuormitus-suoraa $\Delta h/\Delta X$ eli 13846 kJ/kg. Kuvasta näkee, että tilan lämpötila nousee 38 °C ilman lisäjähdytystä, jos tuloilman lämpötila on 19 °C ja suhteellinen kosteus 77 %.



Kuva 14. Huoneen kuormitussuora.

Voidaan myös tarkastella, mikä ilmavirran tulisi olla, jotta tilaan ei tarvitsisi laittaa lisää jäähdytystä. Tuloilman lämpötila jäähdytyspatterin jälkeen on 19 °C ja suhteellinen kosteus 77 %, mikä vastaa entalpiaa 45,6 kJ/kg. Päätetään, että poistolämpötila ei saa ylittää 25 °C:ta. Huoneen kuormitussuora on ratkaistu, joten kuormitussuoralta voidaan katsoa 25 °C:een kohdalta entalpian olevan noin 53,5 kJ/kg.

$$qv_i = \frac{\dot{\Phi}_{kok}}{\rho_i \cdot \Delta h_{kok}} = \frac{2 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (53 - 45,6) \text{ kJ/kg}} = 225 \text{ l/s}$$

Tilaan suunniteltu ilmavirta on 70 l/s. Ilmavirtaa pitäisi kasvattaa 225 l/s (8 l/s,m²), jos tilan lämpökuormat haluttaisiin kompensoida kokonaan ilmanvaihdolla. On myös mahdollista muuttaa tuloilman lämpötilaa alhaisemmaksi.

Tarkastellaan ilmavirran tarvetta, jos tuloilman lämpötila olisi 17 °C ja suhteellinen kosteus 88 % (kuva 14 piste 5). Lämpökuormat tilassa ovat edelleen samat, joten huoneen kuormitussuora, kokonaisentalpian muutos ja absoluuttisen kosteuden muutos on sama. Tuloilman olosuhde 17 °C ja suhteellinen kosteus 88 % vastaa entalpiaalta 44 kJ/kg ja absoluuttiselta kosteudelta 10,65 g/kg, eli poistoilman entalpia on 67,8 kJ/kg ja absoluuttinen kosteus on 12,36 g/kg (kuva 14 piste 6). Poistoilma lämpenee 35,9 °C.

Päätetään, että poistolämpötila ei saa ylittää 25 °C:ta. Huoneenkuormitussuora on ratkaistu, joten kuormitussuoralta voidaan katsoa 25 °C:en kohdalta entalpian olevan ~54 kJ/kg. Tarvittava ilmavirta on 167 l/s (6 l/s, m²).

$$qv_i = \frac{\phi_{kok}}{\rho_i \cdot \Delta h_{kok}} = \frac{2 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (54 - 44) \text{ kJ/kg}} = 167 \text{ l/s}$$

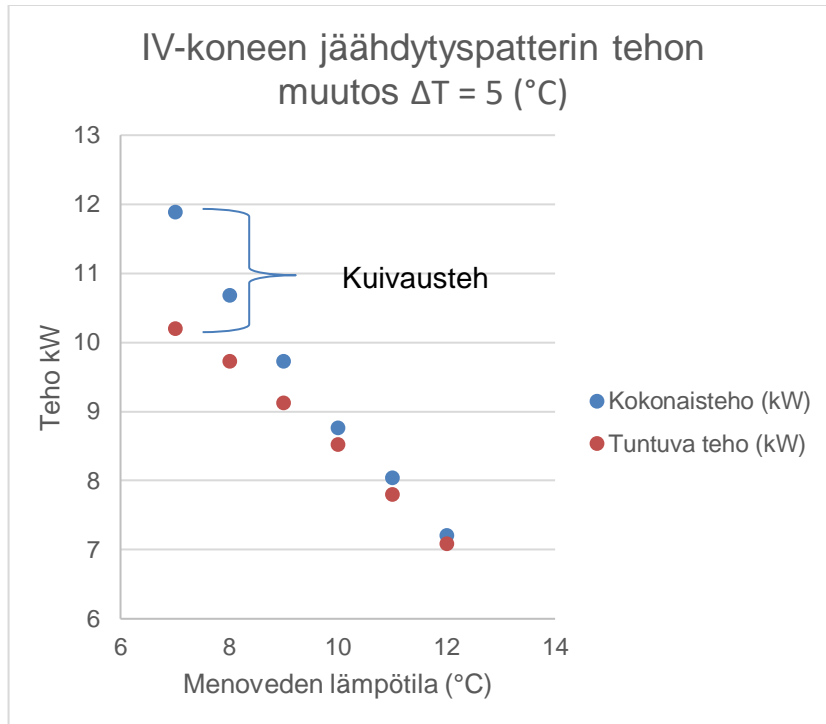
Ensimmäisessä laskentatapauksessa tuloilman lämpötila oli 19 °C ja suhteellinen kosteus 77 %. Tuloilmavirralla 70 l/s ja ilman lisäjähdytystä huoneen lämpötila nousi sisäisten kuormien takia 38 °C, jonka kastepistelämpötila on 17,2 °C. Jos tilaan ei haluta lisätä huonejäähdytystä tai laskea tuloilman lämpötilaa niin tuloilmavirran pitäisi olla 225 l/s, jotta asetusarvo 25 °C toteutuisi. Kastepistelämpötila olisi siinä tapauksessa 15,7 °C.

Lämpökuormia voidaan myös kompensoida tiputtamalla tuloilman lämpötilaa. Toisessa laskentatapauksessa tuloilman lämpötila oli 17 °C ja suhteellinen kosteus 88 %. Tuloilmavirralla 70 l/s ja ilman lisäjähdytystä huoneen lämpötila nousi sisäisten kuormien takia 35,9 °C, kyseisen ilman olosuhteissa kastepistelämpötila on 17,3 °C. Tässä laskentatapauksessa haluttu 25 °C huonelämpötila saavutettiin tuloilmavirralla 167 l/s. Toisen laskentatapauksen kastepistelämpötila on 16 °C.

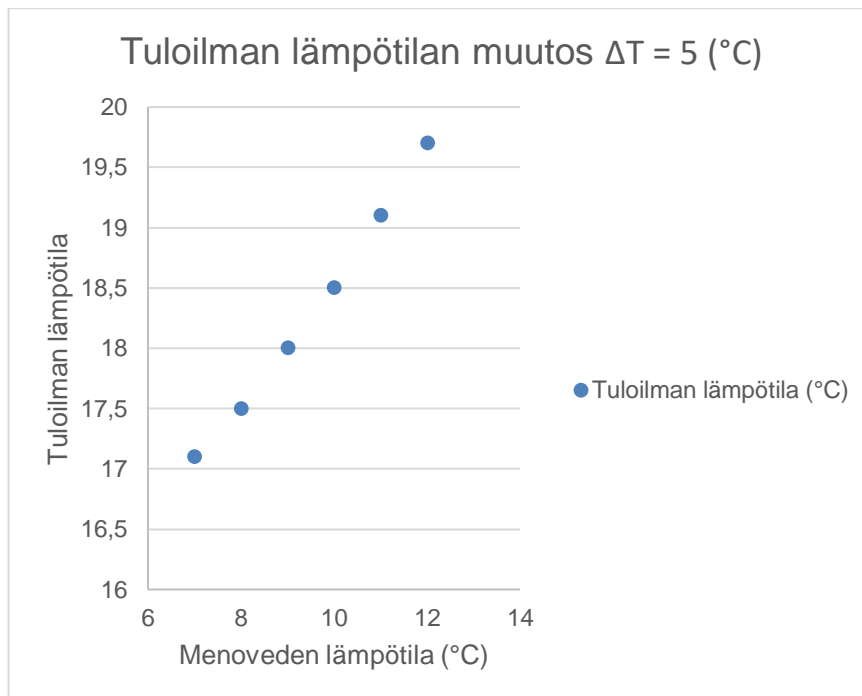
3.3.3 Menoveden lämpötila ja jäähdytyspatterin toiminta

Kuvassa 15 on esitetty, miten jäähdytysverkoston lämpötilatason muuttaminen vaikuttaa ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteriin tehoon. Lämpötila ennen puhallinta on 25 °C ja suhteellinen kosteus 55 %. Puhaltimessa ilma lämpenee 0,6 °C, joten ilman olosuhde ennen jäähdytyspatteria on 25,6 °C ja suhteellinen kosteus 53,1 %. Simuloinnit on tehty Fläktwoods-Acon ohjelmalla ja ilmavirta mitoituksissa on ollut 1 m³/s. Patterityyppi on EQNN-011-02-1-1-06-01-0-1-1-3. Kuvassa 16 on esitetty, miten lämpötilatasojen

muutos vaikuttaa tuloilman puhalluslämpötilaan. Tarkemmat mitoitustiedot löytyvät liitteestä 2.



Kuva 15. Menoveden lämpötilan muutoksen vaikutus jäähdytyspatterin tehoihin.



Kuva 16. Menoveden lämpötilan muutoksen vaikutus tuloilman lämpötilaan.

Nostamalla jäähdytysverkoston lämpötilatasoa simuloidulla patterilla ilmanvaihtokoneen tuntuva teho ja kokonaisteho laskevat. Kuvasta 15 näemme, että menoveden lämpötilalla 12 °C ilmanvaihtokoneen patteri ei kykene juurikaan kuivattamaan ilmaa. Jäähdytystehon laskiessa myös tuloilman lämpötila kasvaa.

3.3.4 Menoveden lämpötila ja puhallinkonvektorien toiminta

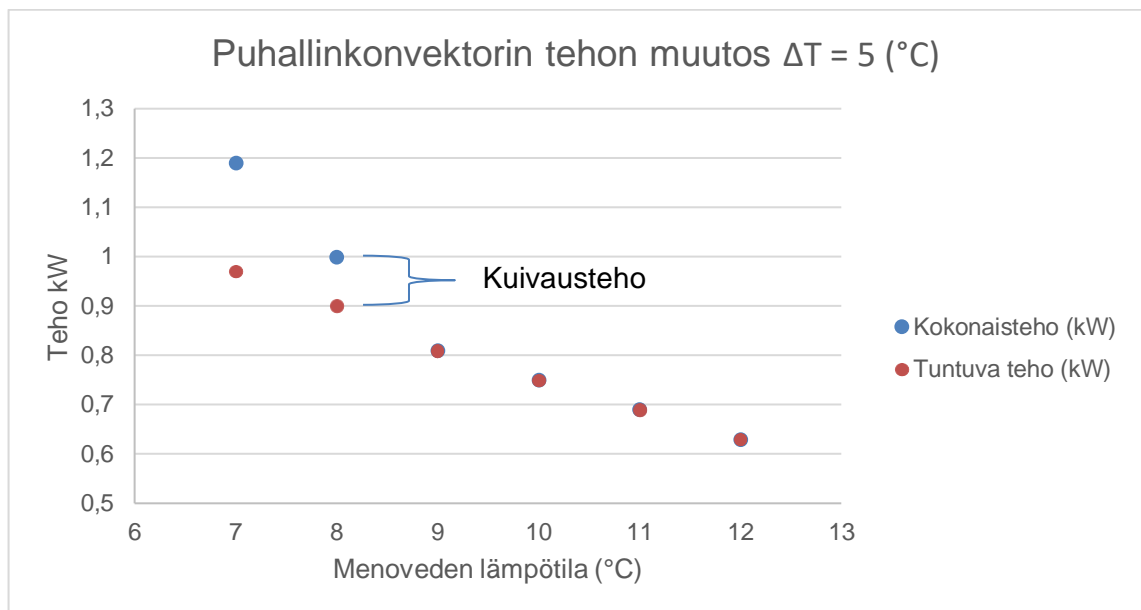
Jäähdytetyllä tuloilmalla pystytään hoitamaan osa kesä- tai talviaikaisista lämpökuormista, mutta yleensä ilmanvaihto ei ole itsessään riittävä. Ensisijaisesti lämpökuormia yritetään hallita passiivisilla ratkaisuilla, kuten sälekaihtimilla, hyvillä aurinkosuojauksilla ja ikkunoilla. Jos passiiviset ratkaisut eivät ole riittäviä, lisjäähdytys voidaan hoitaa esimerkiksi erillisellä kasettimallisella puhallinkonvektorilla. Kuvassa 17 on kasettimallinen puhallinkonvektori.

Opinnäytetyössä tutkitaan jäähdytysverkoston lämpötilatason muuttamisen vaikutuksia sisäilmastoon. Kuvassa 18 on esitetty, miten lämpötilatason muuttaminen vaikuttaa puhallinkonvektorin jäähdytystehoon. Sisälämpötila simuloinneissa on 25 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Simuloinnit on tehty Chiller Oy:n Option valintaohjelmalla- ja laite on BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC10-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0.

Kuvassa 18 käytetyt puhallinkonvektori laitemitoituksesta löytyy liitteestä 1.



Kuva 17. Chiller Box Vari-puhallinkonvektori. (17.)



Kuva 18. Menoveden lämpötilan muutoksen vaikutus puhallinkonvektorin tehoihin.

Nostamalla simuloitun puhallinkonvektorin menoveden lämpötilaa puhallinkonvektorin jäähdystysteho ja kuivauskyky laskevat. Kyseisen puhallinkonvektorin kuivausteho loppuu kokonaan menoveden ollessa 9 °C.

4 Olosuhdesimulointi IDA-ICE

Rakennuksen kesäajan yllämpenemiseen vaikuttavat auringon säteilyenergia ja sisäiset lämpökuormat. Auringon lämpökuormaa voidaan pienentää passiivisilla ratkaisulla, kuten lipoilla, aurinkosuojauksilla, ikkunan g-arvolla, ikkunan suunnalla ja aukotuksella. Sisäisiin kuormituksiin vaikuttaa käyttäjät, valaistus ja tilan käyttöprofiili. Koska todelliset sisäiset kuormitukset ja käyttöaikataulut voivat poiketa standardiarvoista, niin loppukäyttäjältä tulee pyytää mahdollisimman tarkat lähtötiedot.

5.2.3 Kesäajan huonelämpötilan laskenta pitää suorittaa dynaamisella laskentatyökalulla. (2, s.27.)

Jotta asetetut ehdot täyttyvät tulee laskelmat suorittaa dynaamisella laskentatyökalulla. Kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää arvoa enemmän kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisellä ajanjaksolla. (2.)

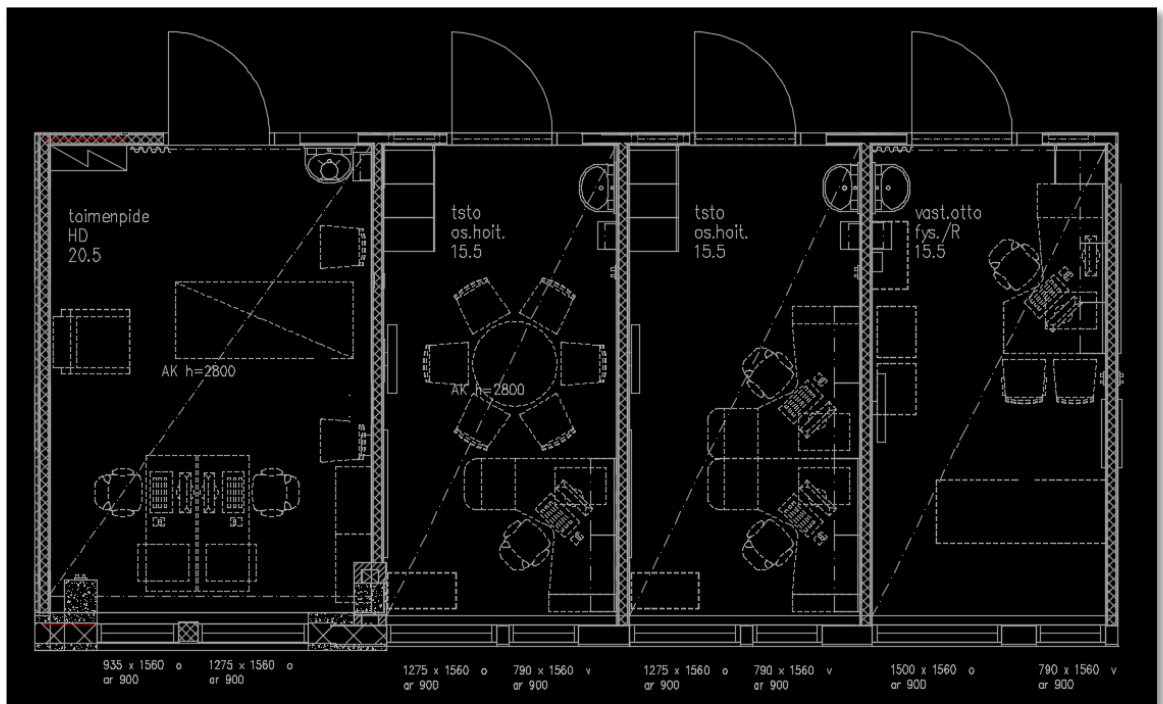
Opinnäytetyössä tarkastellaan olemassa olevan rakennuksen huonelämpötilaolosuhteita ja jäähdytysverkoston lämpötilan muutoksen vaikutusta niihin. Rakennuksen rakenteet, sisäiset kuormat ja ilmavirrat on saatu rakennuksen suunnitteluarvoista.

4.1 Simuloitavat tyyppitilat

Simuloitaviksi tyyppitiloiksi valittiin toimisto, vastaanotto- ja toimenpidehuone. Valitut tilat edustavat isoa osaa sairaalarakennuksenhuoneista ja niissä on kaikissa erilainen tuloilmavirtavaatimus. Taulukossa 5 on esitetty tilojen olosuhdevaatimukset ja kuvassa 19 on huoneiden lattiapinta-ala ja ulkoikkunoiden koko. Simuloinnin sisäilmatavoitteet vastaavat olemassa olevan sairaalarakennuksen sisäilmatavoitearvoja.

Taulukko 5. Valittujen tyyppitilojen sisäilmatavoitteet.

Sisäilmastotyyppi	Sisälämpötila, °C		Suht. kosteus, %		Ilman nopeus, m/s		Ulkoilmavirta min. (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso dB(A)	Suodatinluokka EU
	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi			
Toimisto/Kanslia	24	22	xx	xx	0,30	0,20	2,5	33	7
Toimenpidehuone	24	22	xx	xx	0,30	0,20	8,0	33	7
Vastaanotto	24	22	xx	xx	0,30	0,20	4,0	33	7



Kuva 19. Tyyppitilojen arkkitehtipohjat.

4.2 Mallin muoto, rakenteet, talotekniset järjestelmät ja sisäiset lämpökuormat

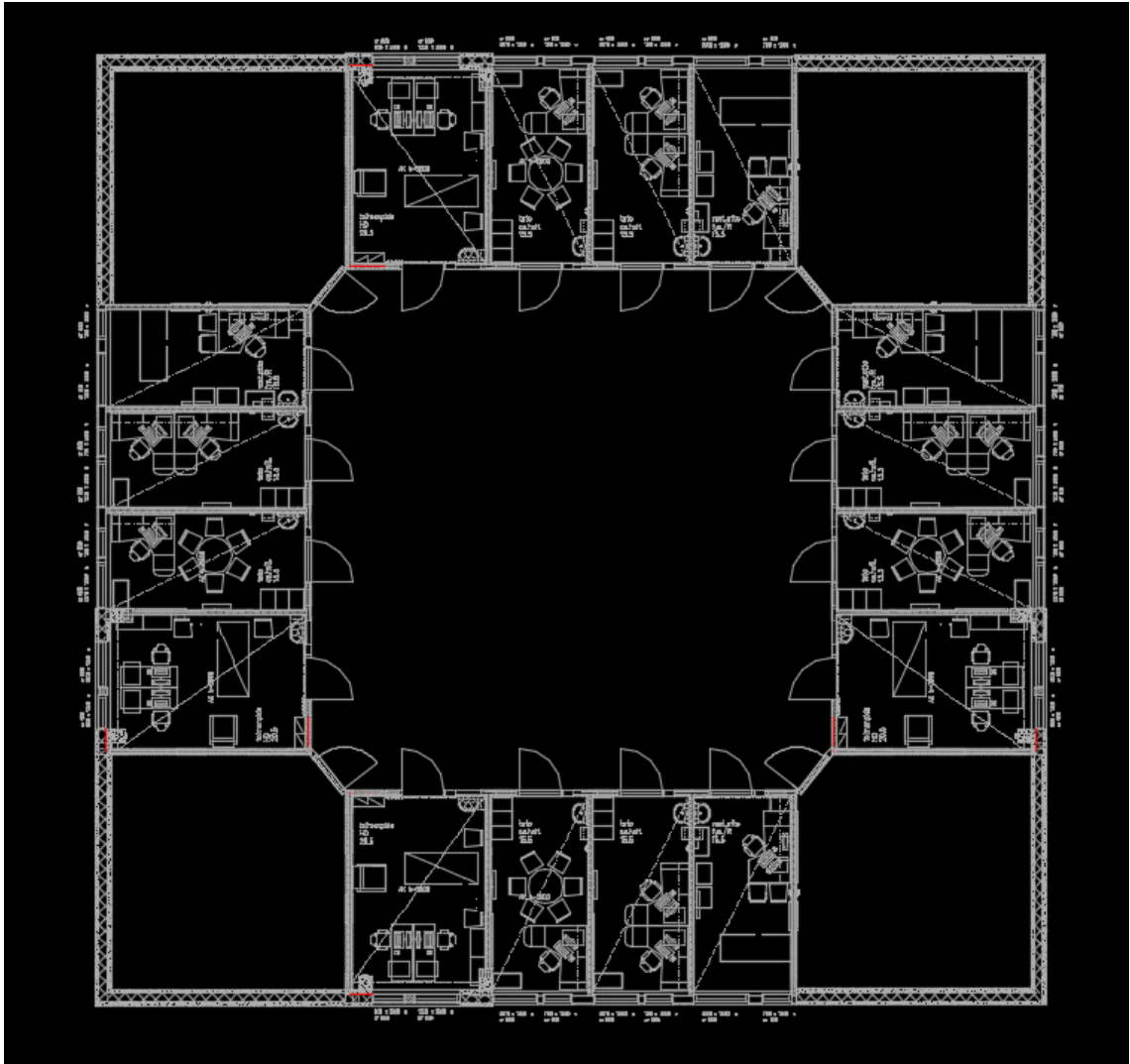
Simulointimallin rakennus (building body) on tehty neliön malliseksi ja auringon vaikutukset simuloidaan vain pääilmansuuntiin. Nurkkahuoneet sekä keskellä rakennusta oleva aula tila ovat tyhjiä puskurivyöhykeitä, joissa on vain perusilmanvaihto (1l/s, m²), eikä sisäisiä kuormia. Ulkopuolisia varjostuksia ei ole, ikkunoissa on sälekaihtimet, mutta ne ovat aina auki. Kuvassa 20 on esitetty mallin arkkitehtipohja ja taulukossa 6 on esitetty simulointimallin perustietoja ja taulukossa 7 rakenteiden perustietoja. IV-koneen puhalluslämpötilan ei anneta laskea alle 17 asteen missään tilanteessa vaan lämmityspatteri on päällä ulkolämpötilan ollessa alle 17 astetta. Isoon aulatilaa laiteetaan lämmityslaite, joka huolehtii siitä, että aulan lämpötila on 22 astetta eikä näin ollen jäähdytä muita tiloja.

Taulukko 6. Mallin lähtötietoja.

PERUSTIEDOT	
Sijaintipaikkakunta	Jyväskylä
Käyttötarkoitusluokka	Sairaala
Kerrosten lukumäärä	1
Simulointiaika (Pelkkä ilmanvaihto)	Elokuu
Simulointiaika huonejäähdytyksen mitoitus	Toukokuu-Syyskuu
Simulointiaika Ilmanvaihto+PKN	Elokuu
Säädata	Jyväskylä TRY 2012
Lämmitysjärjestelmä	Ei huomioida
Käyttövesijärjestelmä	Ei huomioida
ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ	
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto
Ilmanvaihtokoneiden lukumäärä	1
Jäähdytyspatteri	kyllä
Tuloilman lämpötila jäähdytyspatterin jälkeen (alkutilanne)	17 °C
Tuloilman lämpötila puhaltimen jälkeen (alkutilanne)	18 °C
Lämmityspatterin asetusarvo	17 °C
Huonetilojen maksimilämpötila	24 °C
Ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde h/(24 h)	1
Ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde vrk/(7 vrk)	1
LTO simuloinnissa	ei käytössä

Taulukko 7. Mallin rakenne.

RAKENNUSOSAT	Rakenne	U W/(m ² °C)	g
Ulkoseinä ulkoilmaan	D3 Default	0,17	
Välipohja	D3 Default	0,09	
Ikkunat	D3 Default	1	0,5
Väliseinät	D3 Default		
Väliovet	D3 Default		
Vuotoilma m ³ /(h.m ² .ext.surf)	0.13333		
Kylmäsilat	D3 Default		



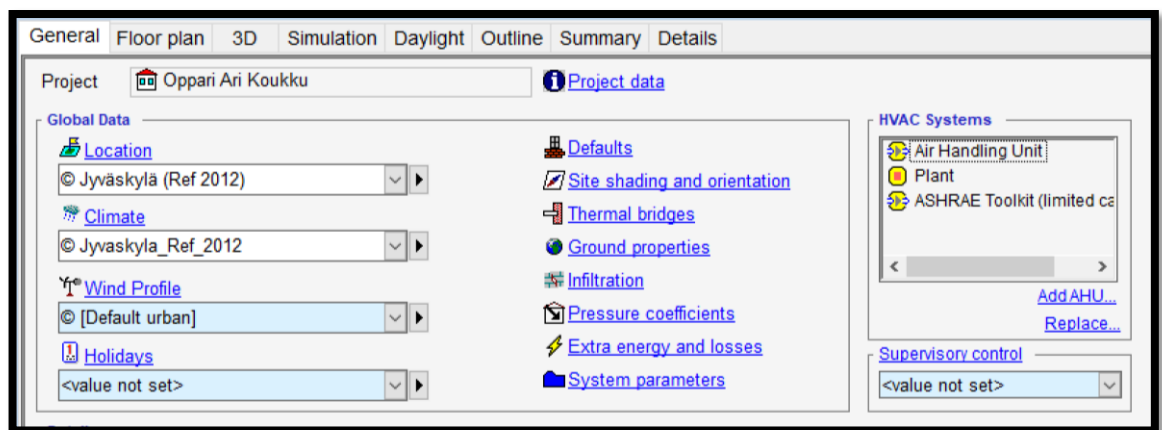
Kuva 20. Mallin arkkitehtipohja.

Tilojen käyttöaika vaihtelee suuresti sairaalarakennuksen eri osastojen välillä, joten simuloinnissa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3 taulukon 3 lämpökuorma-arvoja valaistuksen ja laitteiden osalta. Ihmisten lukumäärä toimenpidehuoneissa on kolme, toimistoja on yhden ja kahden hengen toimistoja ja vastaanotto laske-

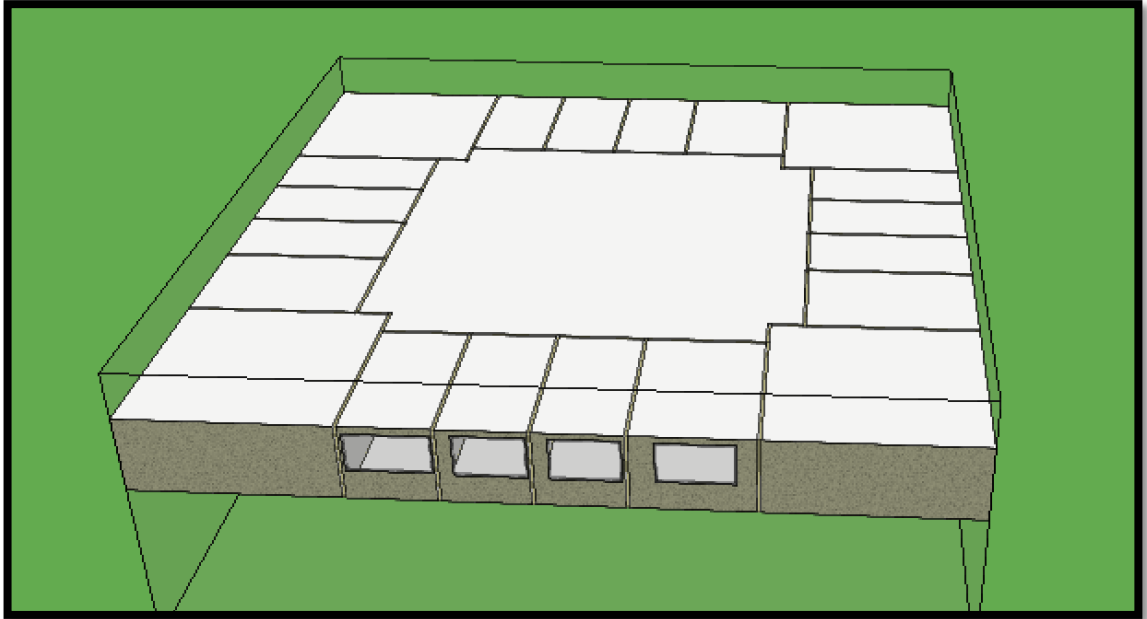
taan kahden hengen kuormilla. Ihmisestä tuleva lämpökuorma laskelmassa on 125 W/hlö. Käyttöaste tilalla on 1, eli tilassa on laitteet ja päällä, sekä ihmiset läsnä 24h/7vrk.

4.3 Pelkän ilmanvaihdon vaikutus

Simulointimallin pinta-ala on 695,3 m². Tarkastellaan ensin pelkän ilmanvaihdon osuutta siten, että huoneissa ei ole lisäjäähdystä. Tuloilman puhalluslämpötila jäähdytyspatterin jälkeen on 17 °C ja puhaltimen jälkeen 18 °C. Nostetaan jäähdytysverkoston lämpötiloja aste kerrallaan ja katsotaan, miten sisälämpötila kasvaa tiloissa. Simulointi suoritetaan vuoden kuumimmalle kuukaudelle, joka on Jyväskylän TRY 2012:n mukaisesti elokuu. Kuvassa 22 on esitetty 3D-kuva simulointimallista ja kuvassa 21 on simuloinnissa käytetyt järjestelmät.



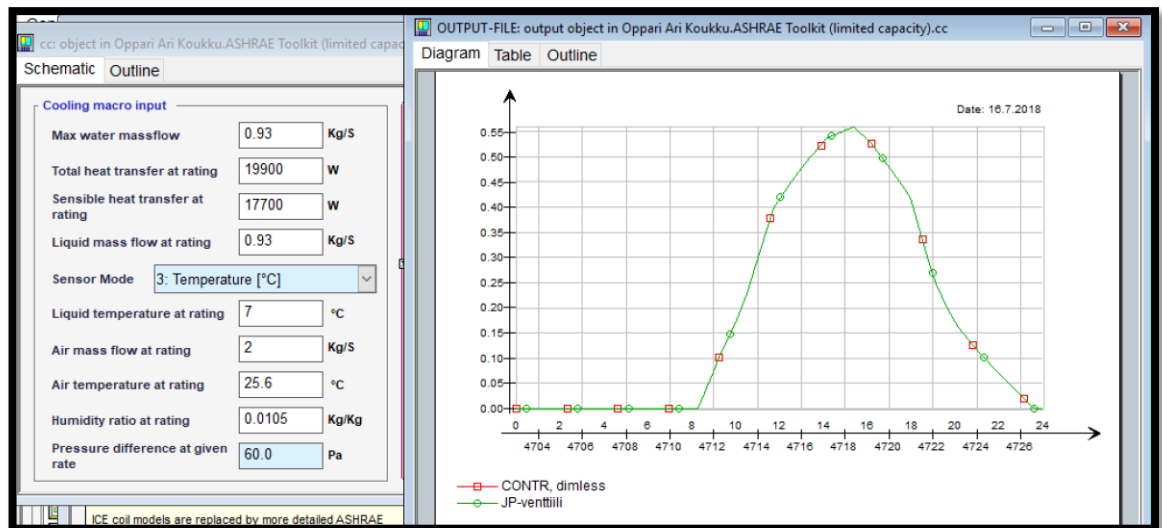
Kuva 21. General-välilehti IDA-ICE-ohjelmasta.



Kuva 22. 3d-kuva simulointimallista.

Koska simuloinnissa halutaan tutkia jäähdytysverkoston lämpötilatason muutosten vaikutusta, jäähdytyspatterin teho ei saa olla simuloinnissa ylimitoitettu suhteessa käytettyyn säädäntään. Simulointia varten jäähdytyspatterin teho mitoitettiin alkuun Fläktwoods Acon-mitoitusohjelmalla. Ilmavirralla $1,66 \text{ m}^3/\text{s}$ jäähdytyspatterin tehoksi saatiin $19,6 \text{ kW}$ ja tuntuvaksi tehoksi $17,6 \text{ kW}$.

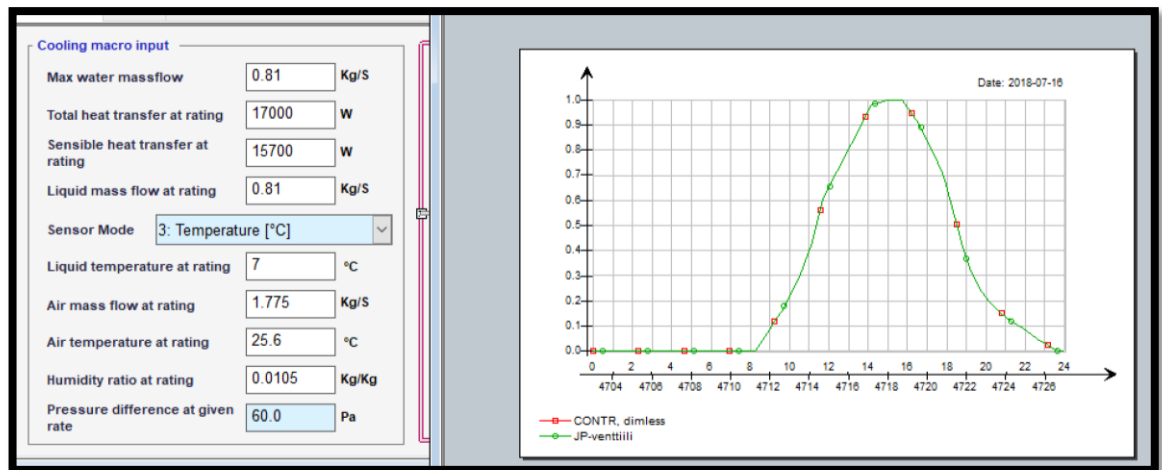
Jäähdytystehoa simuloitaessa huomattiin, että ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri oli ylimitoitettu. Jyväskylän testivuosisään lämpötiloilla elokuussa ja simulointiin asetetuilla sisäisillä lämpökuormilla ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin venttiili aukesi vain puoli menoveden lämpötilan ollessa $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Kuvassa 23 on esitetty ensimmäisen simuloinnin jäähdytyspatterin tehot ja venttiilin aukeaminen.



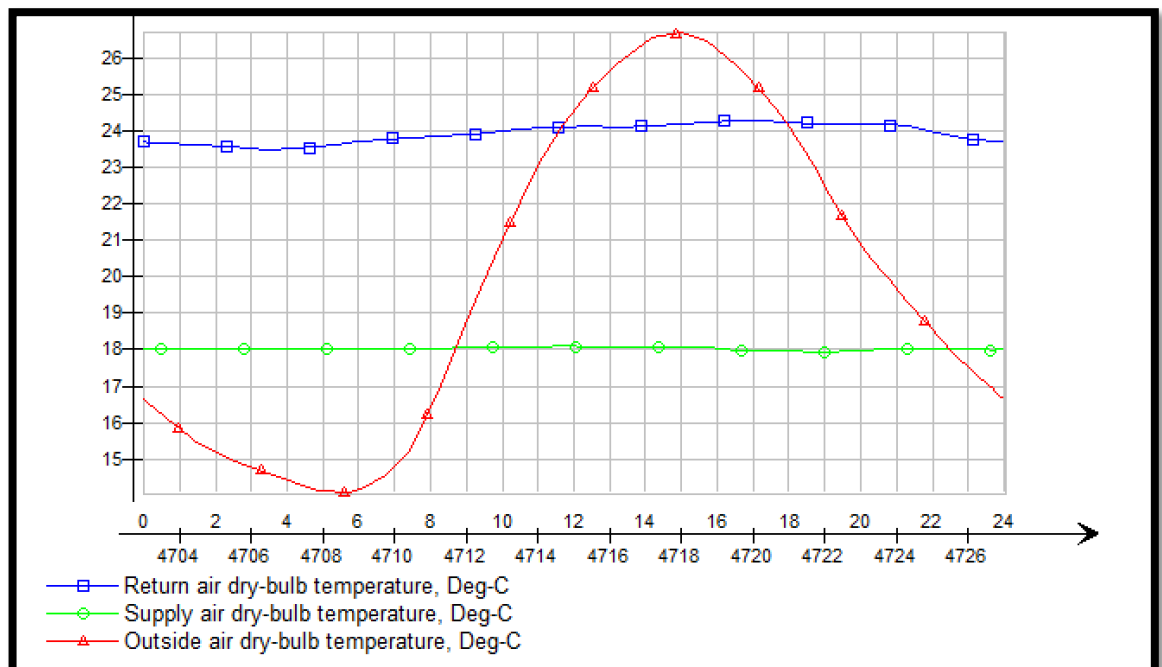
Kuva 23. Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri ja venttiilin toiminta.

Simuloinnissa on tarkoitus tutkia, mitä tapahtuu ilmanolosuhteilla, kun jäähdytyspatteri ei ole ylimitoitettu. IDA-ICE-ohjelmalla iteroidaan haluttu teho tiputtamalla patterin tehoa siten, että jäähdytysmenoveden lämpötilalla 7 °C saadaan tuloilman lämpötila 18 °C jäähdytyspatterin venttiilin ollessa täysin auki. Kuvassa 24 on esitetty simuloinnissa käytetyt IV-jäähdytyspatterin arvot ja se, miten venttiili aukeaa täysin. Kuvassa 25 on esitetty, miten aloitustilanteessa jäähdytyspatterin lämpötila pysyy vakiona venttiilin ollessa täysin auki.

Kun lähtötilanne oli saavutettu, jäähdytysjärjestelmän menoveden lämpötilaa nostettiin aste kerrallaan. Simuloinnit tehtiin jäähdytysverkoston menoveden lämpötiloille 7, 8, 9, 10, 11 ja 12 astetta.



Kuva 24. Jäähdytyspatterin mitoitusarvot simuloinnissa.



Kuva 25. Tuloilman lämpötila jäähdytyspatterin venttiilin ollessa täysin auki.

4.4 Ilmanvaihto ja huonejäähdytys

Tämän jälkeen mitoitetaan lisjäähdytystehontarve. Jokaiseen tyyppitilaan lisätään simulointi ohjelman ideal cooler ja mitoitetaan jäähdytystehontarve jokaiselle tilalle eri ilmansuuntiin. Simulointi tehdään toukokuusta–syyskuuhun, jotta eri ilmansuuntiin saadaan oikea maksimitehontarpeella varustettu puhallinkonvektori. Ilmanvaihdon jäähdy-

tyspatterin menoveden lämpötila ja huonejäähdytysverkoston menoveden lämpötila on molemmissa 7 °C. Simuloinnin pohjalta saatu huoneiden lisjäähdytyksen tehontarve ja SHR (sensible heat ratio) on esitetty taulukossa 8. SHR on ratkaistu käyttämällä apuna kaavaa 4.

$$SHR = \frac{\phi_{Tuntuva}}{\phi_{Kok}} = \frac{C_{pi} \times \Delta t}{\Delta h} \quad (4)$$

SHR on Sensible Heat Ratio

C_{pi} on ilman ilman ominaislämpö [kJ/kgK]

Δt on ilman lämpötilaero [K]

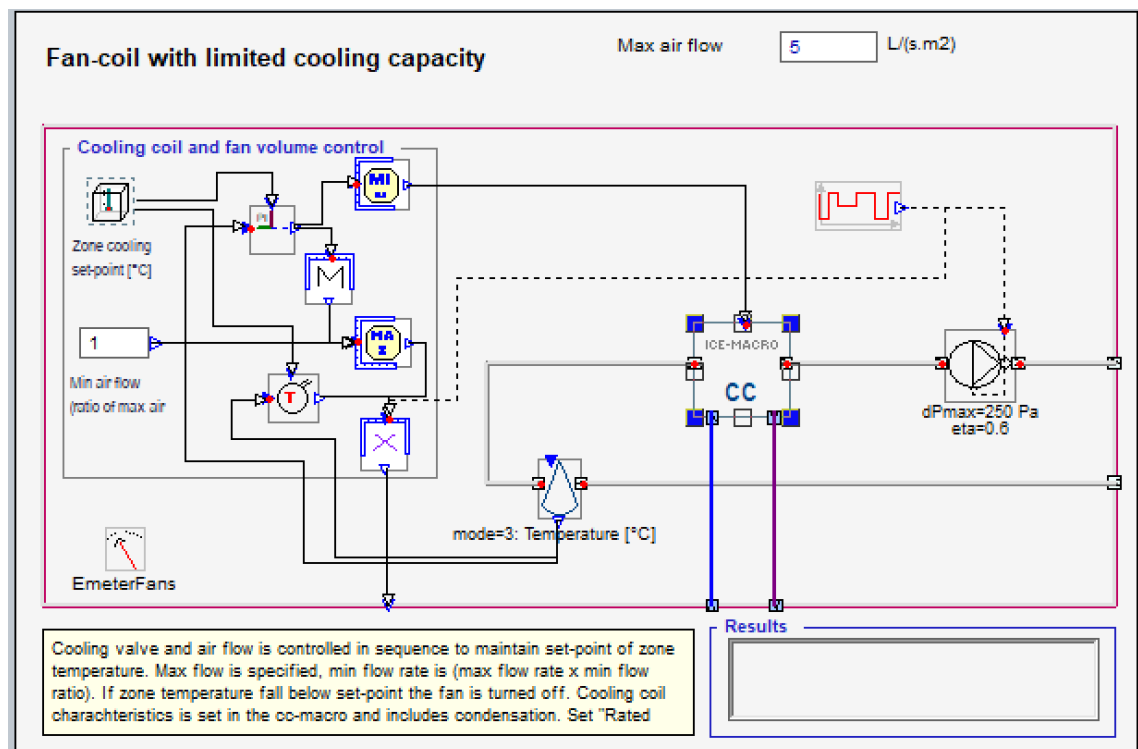
Δh on ilman entalpiaero [kJ/kg]

Simuloinnissa ei lisätty lisjäähdytystä pohjoisen vastaanottotilaan, eikä 1 hengen toimistohuoneeseen liian pienen lisjäähdytystehon takia (IDA-Ice Runtime-error; Bypass factor negative).

Taulukko 8. Lisjäähdytyksen tehontarpeet.

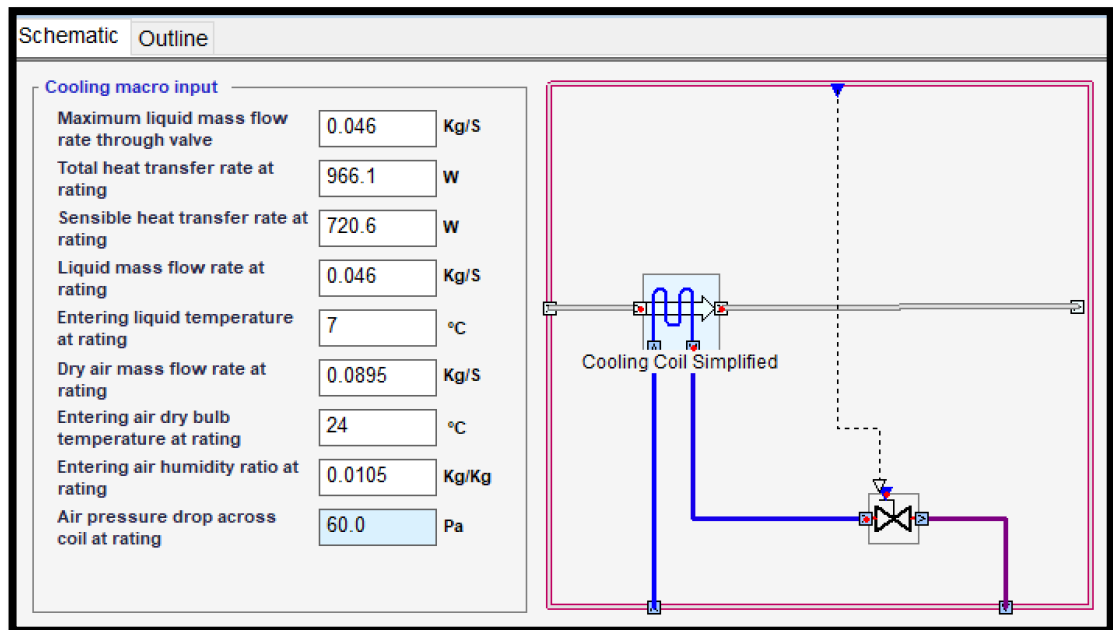
TILA	Pohjoinen	Länsi	Itä	Etelä
	Kokonaisteho(W)	Kokonaisteho(W)	Kokonaisteho(W)	Kokonaisteho(W)
Vastaanotto	14	966	879	988
TSTO 2 hlö	329	1109	788	1129
TSTO 1 hlö	153	944	887	959
toimenpide	0	0	0	0
	Tuntuvateho(W)	Tuntuvateho(W)	Tuntuvateho(W)	Tuntuvateho(W)
Vastaanotto	14	721	651	740
TSTO 2 hlö	230	870	594	888
TSTO 1 hlö	152	742	692	759
toimenpide	0	0	0	0
	SHR	SHR	SHR	SHR
Vastaanotto	0,98	0,75	0,74	0,75
TSTO 2 hlö	0,70	0,78	0,75	0,79
TSTO 1 hlö	0,99	0,79	0,78	0,79
toimenpide	0,00	0,00	0,00	0,00

Lisjäähdytystehon mitoituksen jälkeen tiloista poistetaan ideal cooler ja niihin lisätään simulointi-ohjelman VAV FAN coil, johon asetetaan simuloitu maksimijäähdytystehon tarve. VAV Fan coil min air flow -kohdan asetusarvo on 1. Kuvassa 26 on kuvakaappaus simulointiohjelman VAV FAN COIL-järjestelmästä.



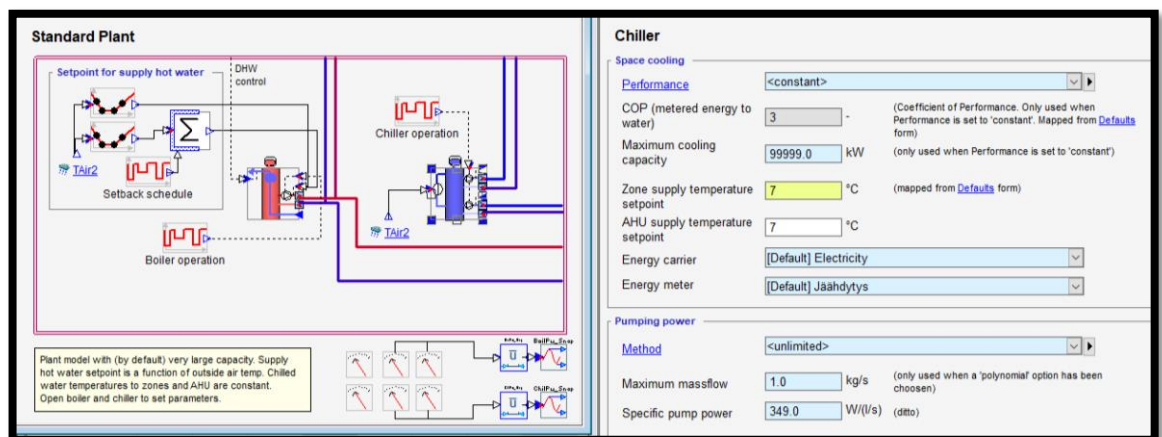
Kuva 26. Kuvakaappaus simulointiohjelman VAV FAN COIL -järjestelmästä.

Jokaiseen VAV FAN COIL:iin pitää lisätä todelliset mitoitus tiedot puhallinkonvektorista. Kokonaistehon tarve sekä tuntuva teho saadaan IDA-ICE-ohjelmasta. Jäähdytysverkon virtaama on laskettu kokonaistehosta lämpötiloilla meno 7 °C ja paluu 12 °C. Ilmavirta on laskettu kokonaistehosta lämpötiloilla tulo 24 °C ja poisto 15 °C. Ilman todellinen kosteus on sama kuin ilmanvaihtokoneeseen on syötetty. Kuvassa 27 on esimerkkipatteri länsipuolella olevasta vastaanottohuoneesta.



Kuva 27. Länsiseinällä olevan vastaanottohuoneen puhallinkonvektori.

Tämän jälkeen aletaan nostamaan jäähdytysverkoston lämpötiloja yhtä aikaa aste kerrallaan IV- ja puhallinkonvektoriverkostossa. Lisäjäähdytystehon tarve lasketaan 24 asteeseen. Kuvassa 28 on esitetty IDA-ICE-ohjelman jäähdytysjärjestelmä.

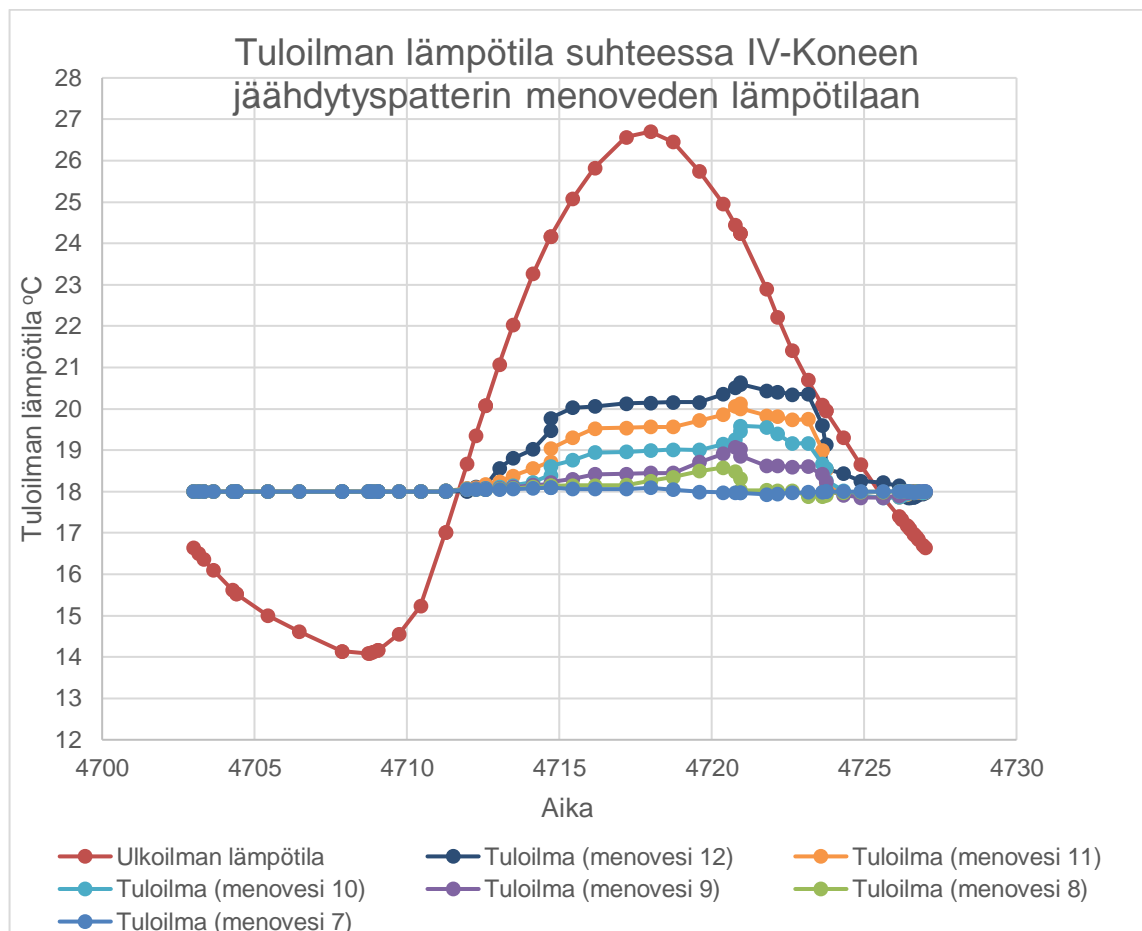


Kuva 28. IDA-ICE-ohjelman jäähdytysjärjestelmä.

5 Simulointitulokset

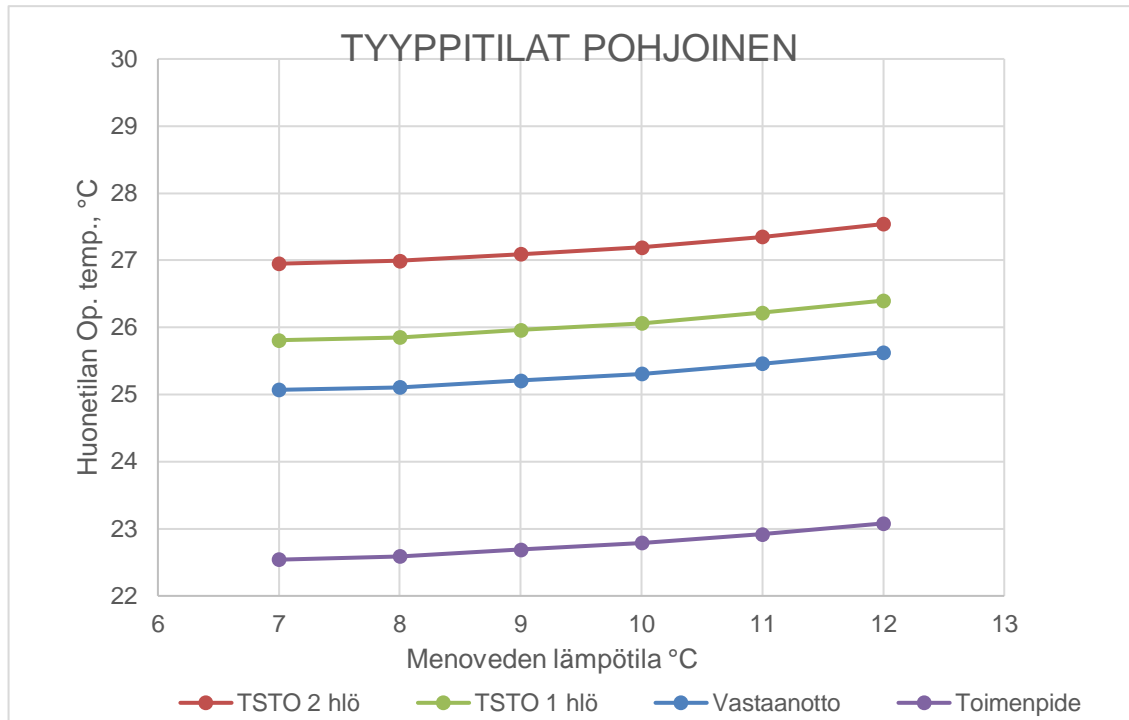
5.1 Tuloilmajäähdytys

Yhden asteen muutos IV-koneen jäähdytyspatterin menoveden lämpötilaan vaikutti tuloilman lämpötilaan enimmillään noin +0,5 °C simuloinnissa käytettyyn testivuoden kuumimman kuukauden lämpimimpänä päivänä. Kuvassa 29 on esitetty tuloilman lämpötilan muutokset. Vuodessa on 8760 h. Vaaka-akselilla on esitetty simulointitunnit elokuun 16. päivästä, joka on vuosisäädatan kuumin päivä.

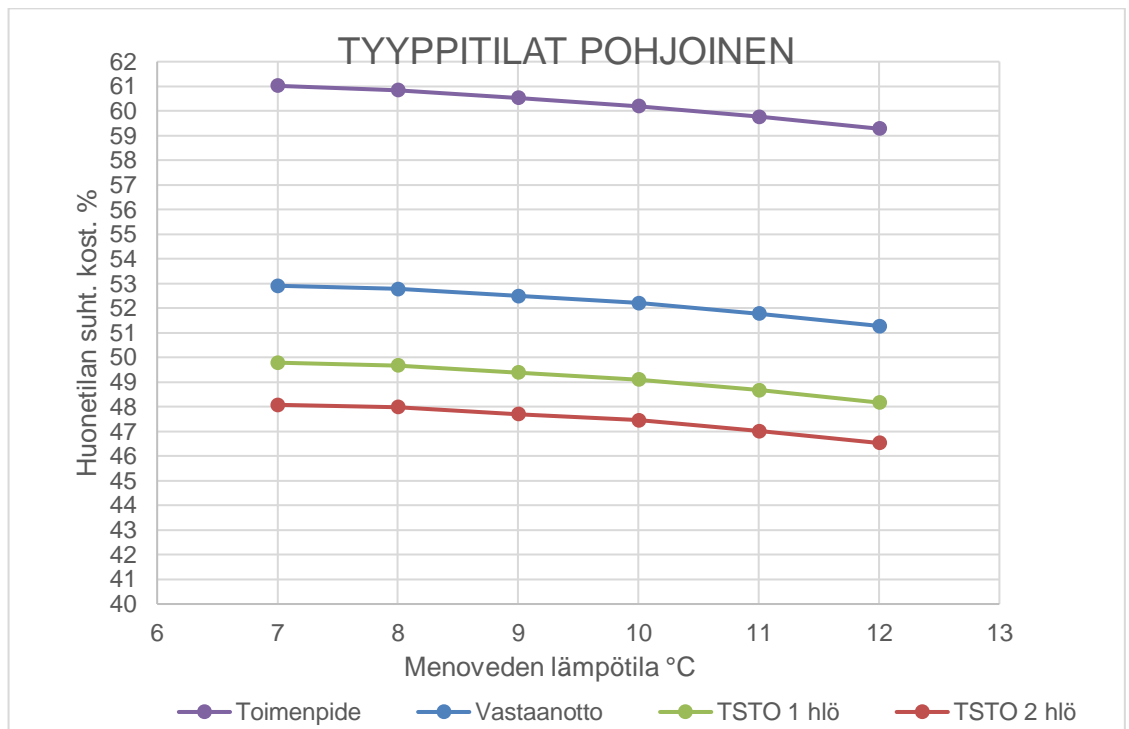


Kuva 29. Tuloilman lämpötilat suhteessa jäähdytyspatterin menoveden lämpötilaan.

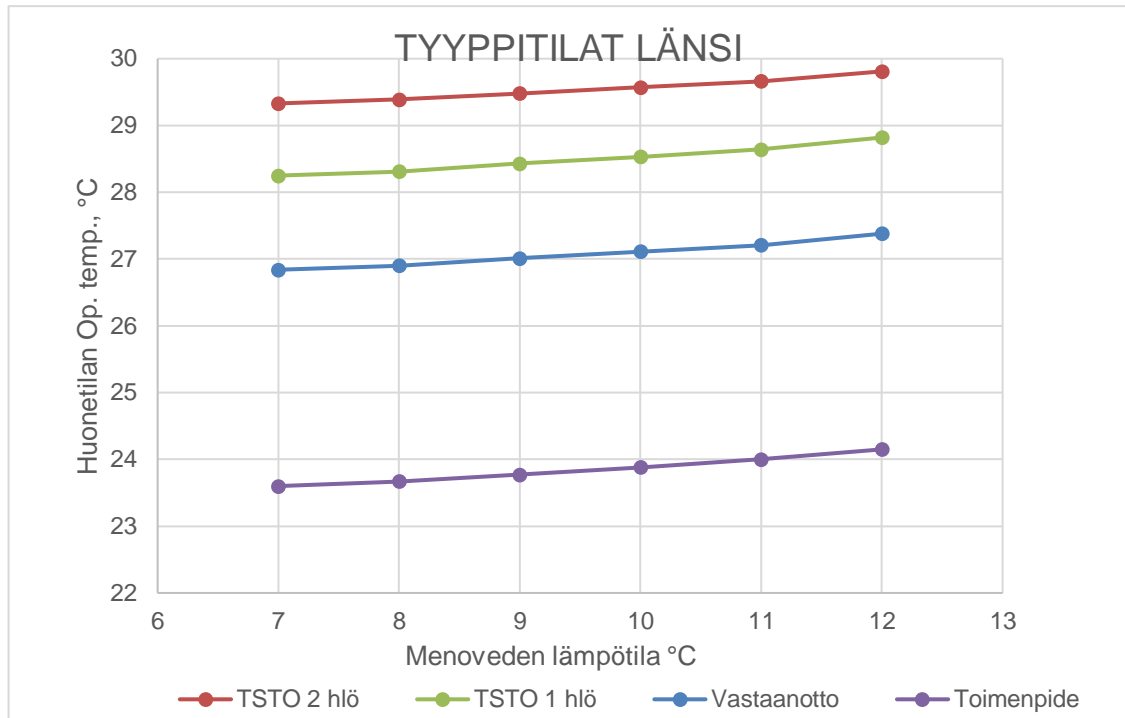
Tuloilmajäähdytyksen vaikutus huonetilan operatiiviseen lämpötilaan sekä suhteelliseen kosteuteen on esitetty kuvissa 30–37.



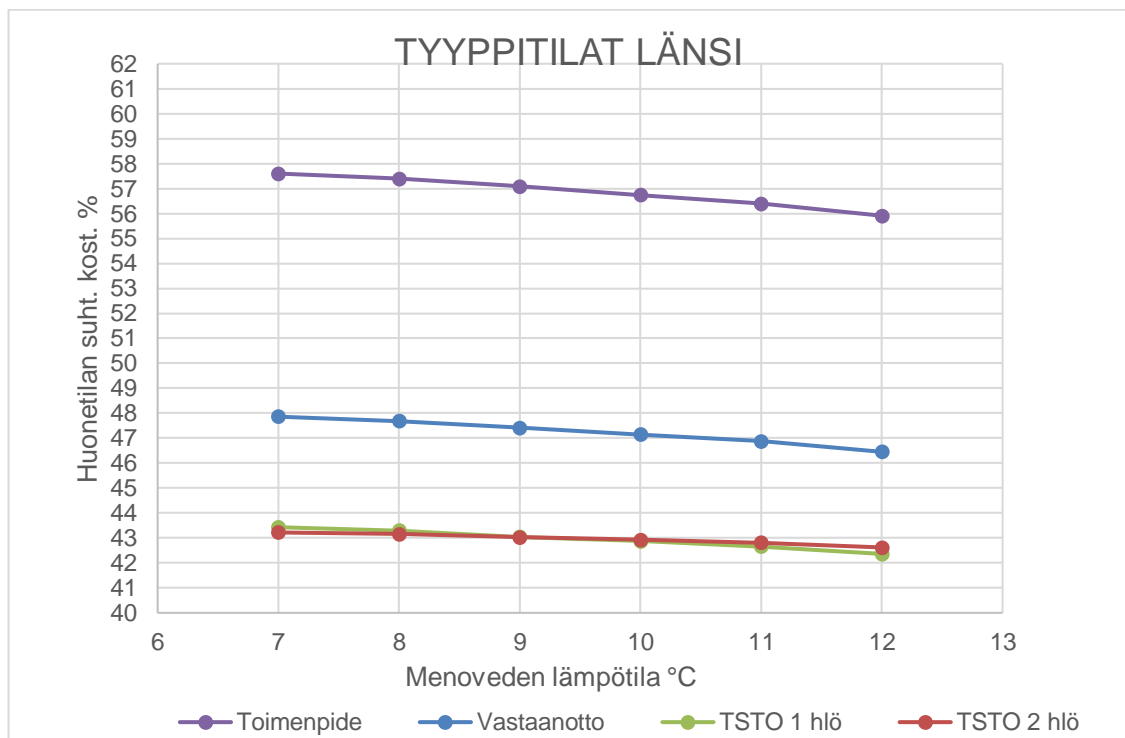
Kuva 30. Lämpötilan muutos tyypitiloissa.



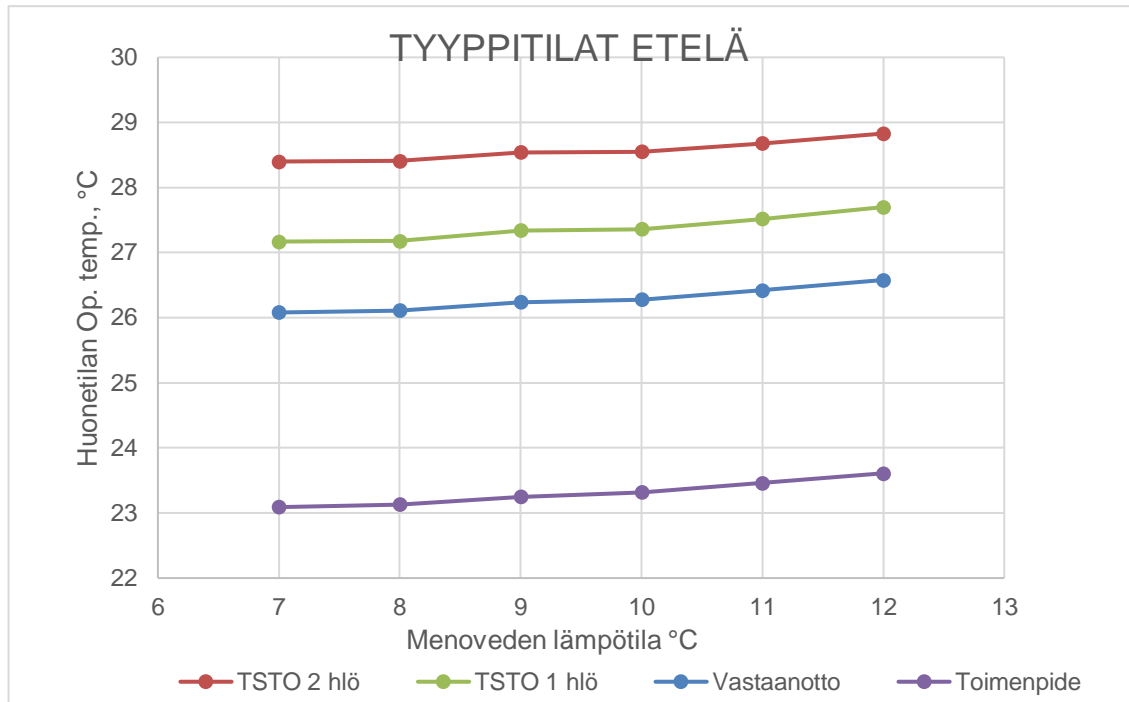
Kuva 31. Kosteuden muutos tyypitiloissa.



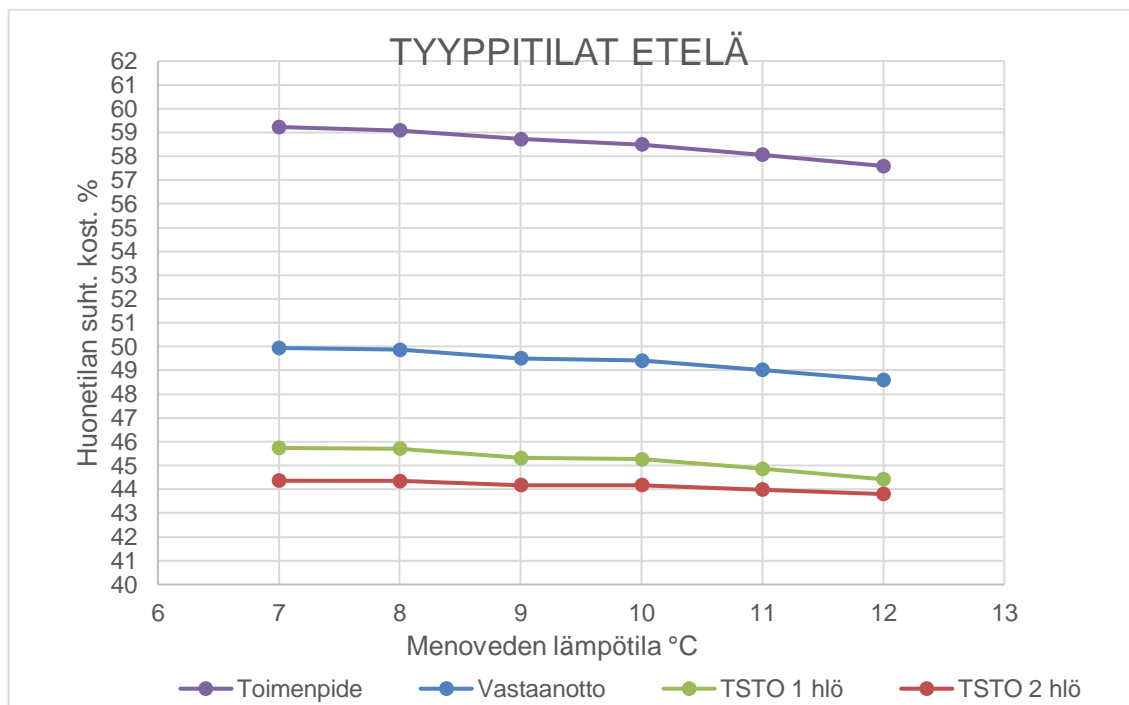
Kuva 32. Lämpötilan muutos tyypitiloissa.



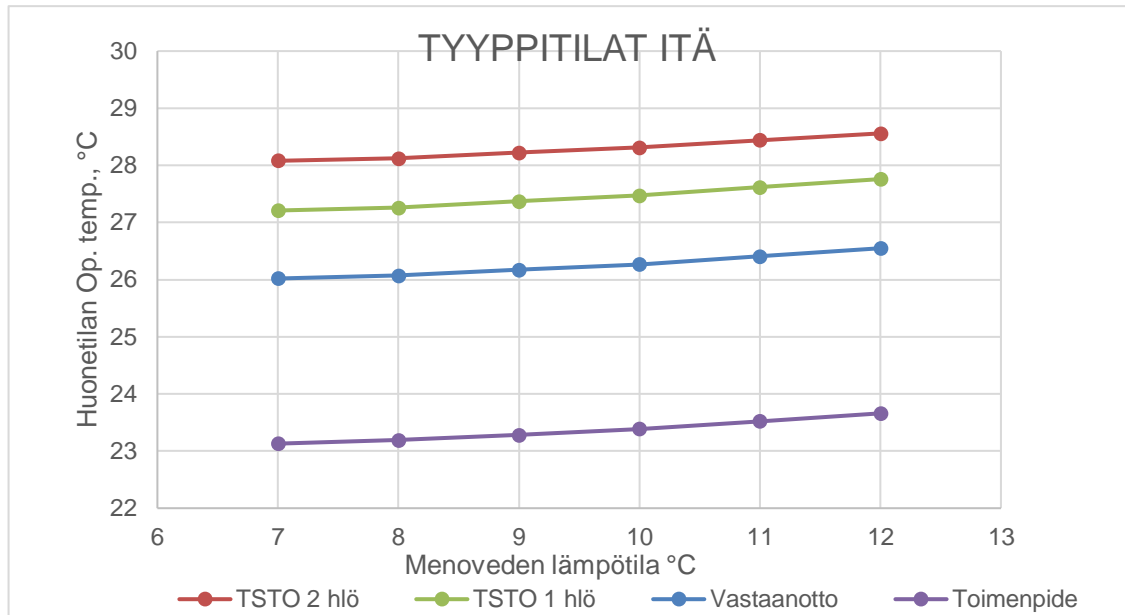
Kuva 33. Kosteuden muutos tyypitiloissa.



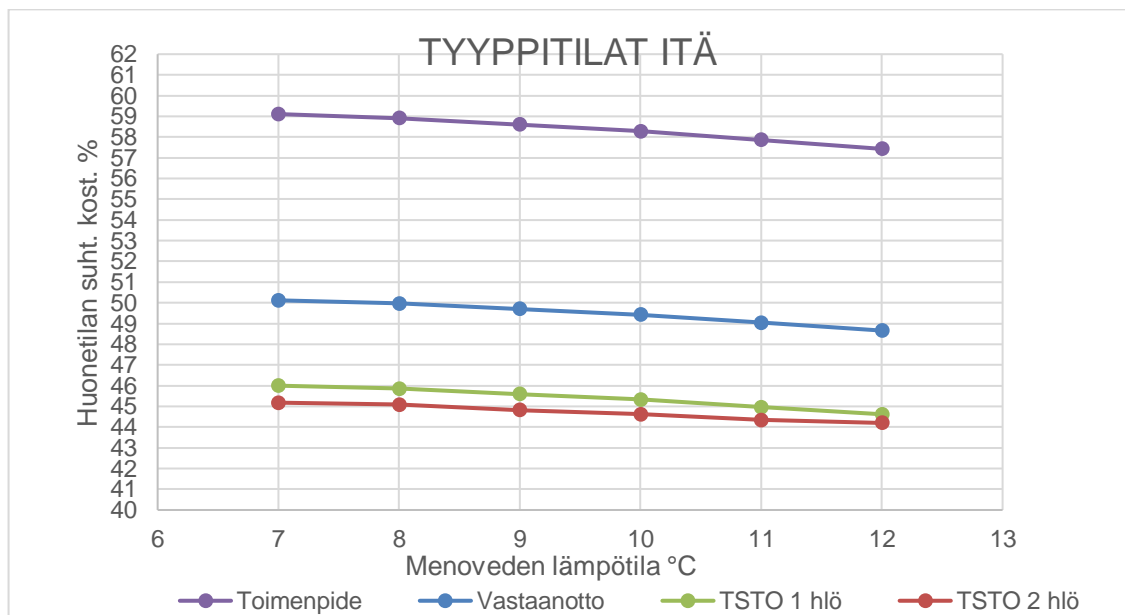
Kuva 34. Lämpötilan muutos tyyppitiloissa.



Kuva 35. Kosteuden muutos tyyppitiloissa.



Kuva 36. Lämpötilan muutos tyyppitiloissa.



Kuva 37. Kosteuden muutos tyyppitiloissa.

Taulukossa 9 on esitetty huonetilan keskimääräinen lämpötilan nousu suhteessa 1 asteen menoveden lämpötilan muutokseen sekä suhteellisen kosteuden muutos. Keskimäärin yhden asteen lämpötilan nosto jäähdytysverkostossa muutti huonetilan operatiivista lämpötilaa 0,1 astetta korkeammaksi. Keskiarvot on simuloitu menoveden lämpötiloilla 7, 8, 9, 10, 11 ja 12 °C.

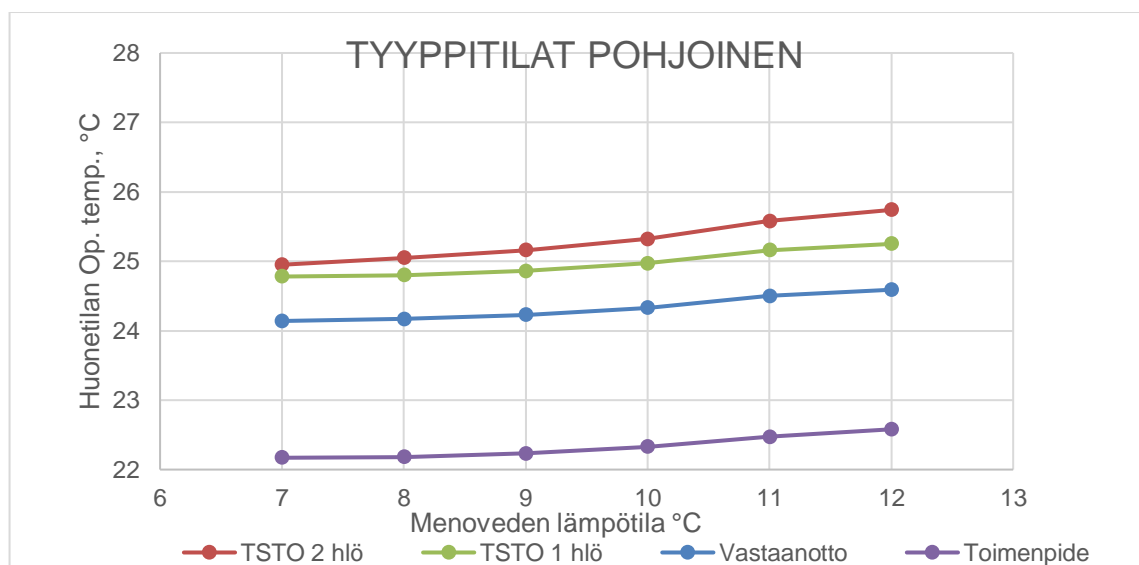
Taulukko 9. Menoveden lämpötilan vaikutus huonelämpötiloihin sekä kosteuteen.

	Pohjoinen °C	Länsi °C	Itä °C	Etelä °C
Vastaanotto	0,11	0,11	0,11	0,10
TSTO 2 hlö	0,12	0,10	0,10	0,09
TSTO 1 hlö	0,12	0,10	0,11	0,11
Toimenpide	0,11	0,11	0,11	0,10
Keskiarvo/ilmansuunta	0,11	0,10	0,10	0,10
	Pohjoinen RH %	Länsi RH %	Itä RH %	Etelä RH %
Vastaanotto	-0,33	-0,28	-0,29	-0,27
TSTO 2 hlö	-0,31	-0,12	-0,20	-0,11
TSTO 1 hlö	-0,32	-0,12	-0,28	-0,26
Toimenpide	-0,35	-0,34	-0,34	-0,33
Keskiarvo/ilmansuunta	-0,33	-0,22	-0,28	-0,24

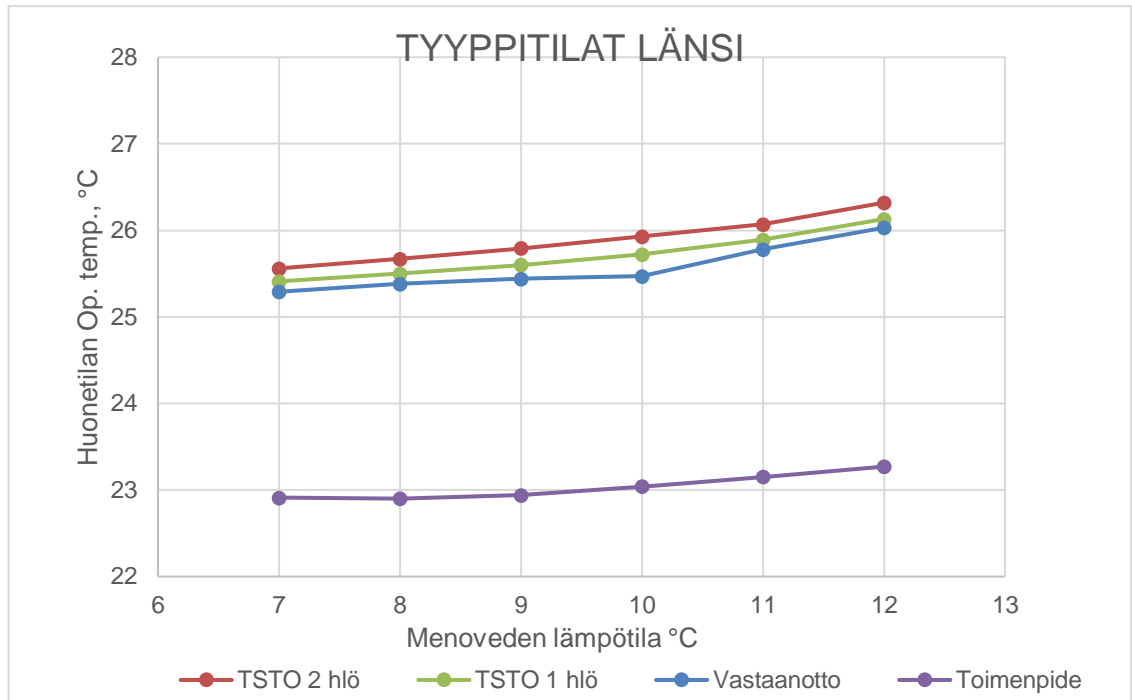
5.2 Tuloilma- ja huonejäähdytys

Yhden asteen muutos IV-koneen jäähdytyspatterin ja huonelaitteen menovedenlämpötilaan vaikutti huonetilan lämpötilaan enimmillään noin +0,23 °C simuloinnissa käytettyyn testivuoden kuumimman kuukauden lämpimimpänä päivänä.

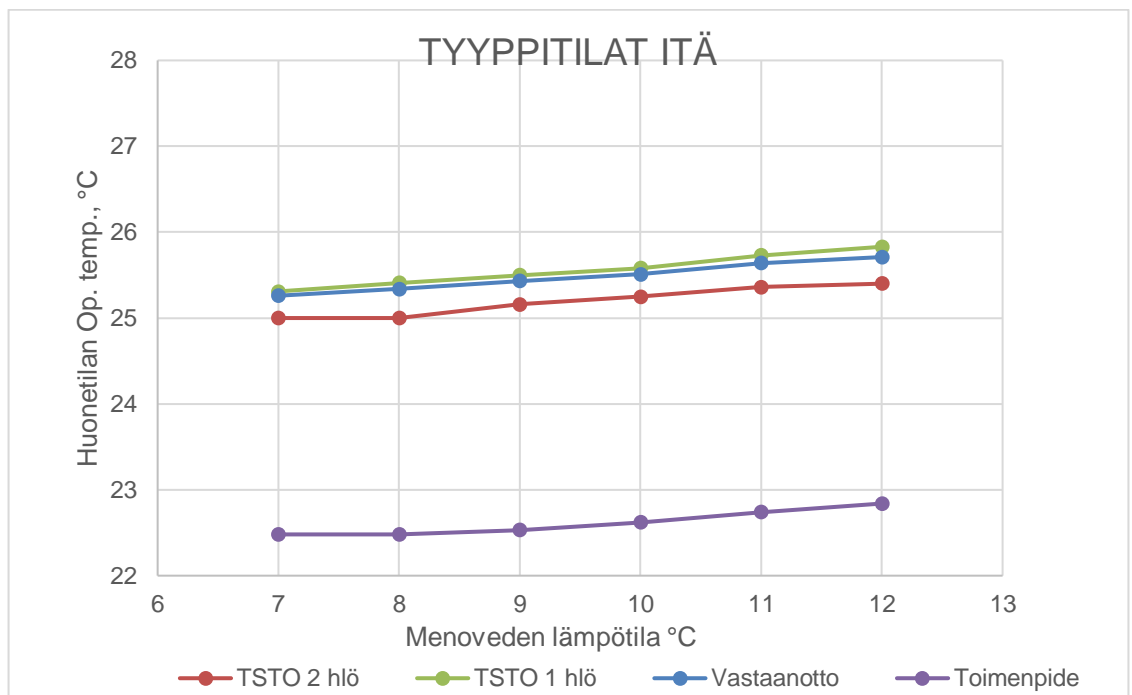
Kuvissa 38–41 on esitetty jäähdytysverkoston lämpötilojen muutosten vaikutus huone-tilojen lämpötilaan tuloilman- ja huonejäähdytyksen kanssa. Tuloilman- ja jäähdytyksen kosteuskuormat jätettiin tuloksista pois, koska niitä ei pidetty luotettavina.



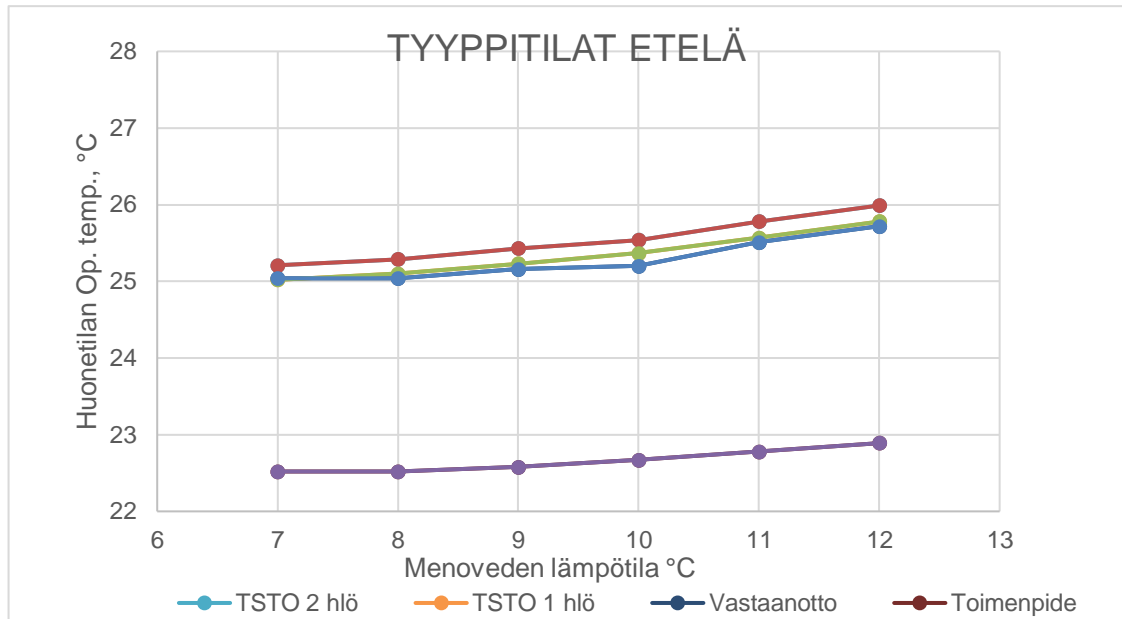
Kuva 38. Lämpötilan muutos tyyppitiloissa.



Kuva 39. Lämpötilan muutos tyypitiloissa.



Kuva 40. Lämpötilan muutos tyypitiloissa.



Kuva 41. Lämpötilan muutos tyyppitiloissa.

Taulukossa 10 on esitetty huonetilan keskimääräinen lämpötilan nousu suhteessa 1 °C menoveden lämpötilan muutokseen. Keskimäärin yhden asteen lämpötila nosto jäähdytysverkostoissa muutti huonetilan operatiivista lämpötilaa 0,1 °C korkeammaksi. Keskiarvot on simuloitu menoveden lämpötiloilla 7, 8, 9, 10, 11 ja 12 °C

Taulukko 10. Menoveden lämpötilan vaikutus huonelämpötiloihin.

	Pohjoinen °C	Länsi °C	Itä °C	Etelä °C
Vastaanotto	0,09	0,15	0,09	0,14
TSTO 2 hlö	0,16	0,15	0,08	0,16
TSTO 1 hlö	0,09	0,15	0,10	0,15
Toimenpide	0,08	0,07	0,07	0,07
Keskiarvo/ilmansuunta	0,11	0,13	0,09	0,13

6 Johtopäätökset

Työn tavoite oli tutkia, miten jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan nostaminen ilmanvaihdon jäähdytyspatterissa ja huonelaitteissa vaikuttaa huonetilan lämpötilaan, sekä kosteuteen. Tyyppitilat on otettu jo valmistuneista sairaalarakennuksista.

Simuloinnin haasteellisuus on luoda mahdollisimman totuudenmukainen tilanne simuloitavasta kohteesta. Sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat ovat asioita, joihin käyttäjät voivat aktiivisesti vaikuttaa. Auringon aiheuttamat ulkoiset lämpökuormat pystytään hallitsemaan esimerkiksi kaihtimilla. Ihmisten fysiologia vaikuttaa ihmisen omaan lämmöntuottoon ja se miten paljon ihmisiä tilassa on. Onko valaistus päällä samaan aikaan, kun on valoisaa?

Iso merkitys simuloinnin tuloksilla on tilan käyttöprofiililla. Jos tilaa käyttävät ihmiset poistuvat tilasta säännöllisesti, se antaa ilmanvaihdolle ja huonejäähdytykselle mahdollisuuden "huuhdella" tilan lämpökuormia.

Opinnäytetyössä haluttiin tutkia jäähdytysverkon menoveden noston aiheuttamaa muutosta huonelämpötiloihin eikä simuloida tilojen jäähdytystehontarvetta. Näin ollen oletettiin, että verhot ovat aina auki, ihmiset aina paikalla, valot ja laitteet aina päällä.

Jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan noston vaikutukset olivat vähäiset. Pelkällä tuloilmajäähdytyksellä yhden asteen nosto menoveden lämpötilassa nosti tuloilman lämpötilaa 0,5 °C ja huonelämpötilaa 0,1 °C riippumatta sisäisistä kuormista tai tyyppitilan ilmansuunnasta. Suhteellinen kosteusprosentti tiloissa nousi 0,22–0,35 prosenttiyksikköä riippuen ilmansuunnasta.

Pelkkä ilmanvaihto oli riittävä jäähdyttämään ainoastaan toimenpidehuoneen simuloinnin jäähdytyksen mitoitushetkellä. Sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat ovat liian isoja kaikkiin ilmansuuntiin, jotta 24 °C:n sisälämpötila saavutettaisiin. Vain toimenpidehuoneen lämpötila pysyi pelkällä tuloilmajäähdytyksellä alle 24 °C:een (22,5–24 °C). Sisälämpötilat pelkällä tuloilmajäähdytyksellä nousivat muissa tiloissa 25–30 °C väliin. Simuloinnit tehtiin lämpötiloilla 7, 8, 9, 10, 11 ja 12 °C.

Tyyppitiloihin, joissa lämpötila nousi yli 24 °C:n asetusarvon, lisättiin huonejäähdytys. Yhden asteen menoveden lämpötilan nosto ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterissa,

sekä huonejäähdytysverkostossa nosti tyyppitilojen sisälämpötilaa keskimäärin 0,1 astetta. Ilmanvaihdon ja huonejäähdytyksen kosteuden tuloksia ei pidetty luotettavina, joten ne jätettiin pois tuloksista.

Vaikka IV-koneen jäähdytyspatterin ja huonejäähdytyslaitteen teho ja kuivauskyky laskee jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan noston myötä, vaikutukset huonelämpötiloihin olivat vähäiset. Yhden asteen nosto jäähdytysverkon menovedenlämpötilassa nosti keskimäärin huonelämpötilaa 0,1 °C. Simuloinnissa huonelaitteita ja ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteria ei ollut ylimitoitettu. Todellisuudessa ilmanvaihtokoneissa ja huonelaitteissa on tehovarausta mikä kompensoi jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan nostoa.

Opinnäytetyön tulosten perusteella voisi todeta, että jo olemassa olevan rakennuksen jäähdytysjärjestelmän lämpötason nostaminen 7–12 °C:n verkostosta esim. 10–15 °C:n verkostoon ei vaikuta huomattavasti huoneiden sisälämpötiloihin.

Harvemmin suunniteltua verkostoa tarvitsee muuttaa, mutta jos rakennus on suunniteltu 7–12 °C:n vedenjäähdytyskoneilla ja se halutaan muuttaa myöhemmin esim. kaukojäähdytykseen, missä on korkeammat jäähdytysnesteen lämpötilat, on hyvä tietää miten lämpötilatason muuttaminen vaikuttaa huonetiloihin.

Lähteet

- 1 Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointitekniikka osa 2. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 2 D3 suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. 2011. Ympäristöministeriö.
- 3 Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointitekniikka osa 1. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 4 Kallasjoki, Tapio. Suomen valoteknillisenseuran puheenjohtaja, Haastattelu 15.12.2017.
- 5 Ympäristöministeriö. 2017. Suomen säädöskokoelma, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Ympäristöministeriö.
- 6 Repo, Esko. KSL Ryhmä päällikkö, Granlund Kuopio, Haastattelu 5.12.2017.
- 7 Sutinen, Raimo. Suunnittelujohtaja, Granlund Kuopio, Haastattelu 3.1.2018.
- 8 Kolehmainen, Jukka. ryhmäpäällikkö, Granlund Kuopio, haastattelu 2.11.2017.
- 9 Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys. 2017. Sähkötieto Ry.
- 10 Rakennusten kaukojäähdytys, Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. 2014. Energiateollisuus.
- 11 D2 suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. Ympäristöministeriö.
- 12 Sisäilmaluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2008. Rakennustietosäätiö.
- 13 Vasara, Jukka. Toimitusjohtaja, Granlund Kuopio, Haastattelu 6.11.2017.
- 14 Janhunen, Hannu. Vientijohtaja, Itula Oy, Haastattelu 8.12.2018.
- 15 Reijula, Jori. Tekniikan Tohtori, Granlund Consulting Oy, Haastattelu 4.12.2017.
- 16 Fläktwoods, Tekninen käsikirja, Ilmankäsittelykoneet.
- 17 Chiller BOX vari, verkkodokumentti, Chiller Oy. <www.chiller.fi/boxvari> Luettu 6.4.2018.

Puhallinkonvektori mitoitukset

Liitteenä mitoitussajat, joilla kuvan 18 arvot määriteltä.



14/11/2017

Asiakas:
Kohde: Oppari 7-12
Tunnus: 20-M

Valinnan laskija: Ari Koukku
Valinta no: 33004

Kasettipatteri BOX-VariPro

Valinta: BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC15-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,076	0,100	0,107	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	1,02	1,19	1,23	kW
Tuntuva teho	0,84	0,97	1,01	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,057		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		7,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	11,3	12,0	12,2	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		18,8		kPa
Sähkö tiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,0	8,6	9,5	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	32,0	39,0	41,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	28,0	35,0	37,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	23,0	30,0	32,0	dB(A)

Lisävarusteet

CVP Painerippumaton 2-tieventtiili, jäähdytys
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KP Kondenssipumppu 0.5 m 10 W 0,08 A
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä
R0 Ei raitisilmaliitäntää
EX0 Ei ulkopuolista suojakuorta
T8C VariPro säädin 10 m kaapelilla ja pikaliittimellä

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jälkikaiunta-aika



14/11/2017

Asiakas:
Kohde: Oppari 8-13
Tunnus: 20-M

Valinnan laskija: Ari Koukku
Valinta no: 33005

Kasettipatteri BOX-VariPro

Valinta: BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC15-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,076	0,100	0,107	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	0,86	1,00	1,03	kW
Tuntuva teho	0,77	0,90	0,93	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,048		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		8,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	12,3	13,0	13,2	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		13,8		kPa
Sähkö tiedot (puhallin)				
Litaintä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,0	8,6	9,5	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	32,0	39,0	41,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	28,0	35,0	37,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	23,0	30,0	32,0	dB(A)

Lisävarusteet

CVP Paineriippumaton 2-tieventiili, jäähdytys
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KP Kondenssipumppu 0.5 m 10 W 0,08 A
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä
R0 Ei raitisilmaliitäntää
EX0 Ei ulkopuolista suojakuorta
T8C VariPro säädin 10 m kaapelilla ja pikaliittimellä

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jälkkaiunta-aika

► Innovative cooling, heating and energy solutions

www.chiller.fi



14/11/2017

Asiakas:
Kohde: Oppari 9-14
Tunnus: 20-M

Valinnan laskija: Ari Koukku
Valinta no: 33006

Kasettipatteri BOX-VariPro

Valinta: BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC15-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,076	0,100	0,107	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	0,71	0,81	0,84	kW
Tuntuva teho	0,71	0,81	0,84	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,039		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		9,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	13,3	14,0	14,2	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		9,7		kPa
Sähkötiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,0	8,6	9,5	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	32,0	39,0	41,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	28,0	35,0	37,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	23,0	30,0	32,0	dB(A)

Lisävarusteet

CVP Painerippumaton 2-tieventtiili, jäähdytys
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KP Kondenssipumppu 0.5 m 10 W 0,08 A
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä
R0 Ei raitisilmaliitäntää
EX0 Ei ulkopuolista suojakuorta
T8C VariPro säädin 10 m kaapelilla ja pikaliittimellä

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jääkaiunta-aika

Innovative cooling, heating and energy solutions

CPB HPB

www.chiller.fi

TEKNINEN VALINTA



14/11/2017

Asiakas:
Kohde: Oppari 10-15
Tunnus: 20-M

Valinnan laskija: Ari Koukku
Valinta no: 33009

Kasettipatteri BOX-VariPro

Valinta: BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC15-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,076	0,100	0,107	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	0,65	0,75	0,78	kW
Tuntuva teho	0,65	0,75	0,78	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,036		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		10,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	14,3	15,0	15,2	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		8,4		kPa
Sähkö tiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,0	8,6	9,5	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	32,0	39,0	41,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	28,0	35,0	37,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	23,0	30,0	32,0	dB(A)

Lisävarusteet

CVP Painerippumaton 2-tieventtiili, jäähdytys
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KP Kondenssipumppu 0.5 m 10 W 0,08 A
P0 Ei kytkentäkaapella tai turvakytintä
R0 Ei raitisilmaliitäntää
EX0 Ei ulkopuolista suoja kuorta
T8C VariPro säädin 10 m kaapelilla ja pikaliittimellä

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jääkaikunta-aika

Innovative cooling, heating and energy solutions

TPH HPH

www.chiller.fi

TEKNINEN VALINTA



14/11/2017

Asiakas:
Kohde: Oppari 11-16
Tunnus: 20-M

Valinnan laskija: Ari Koukku
Valinta no: 33011

Kasettipatteri BOX-VariPro

Valinta: BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC10-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamaara	0,076	0,100	0,107	m ³ /s
Jäähditys				
Teho	0,60	0,69	0,71	kW
Tuntuva teho	0,60	0,69	0,71	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,033		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		11,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	15,4	16,0	16,2	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		7,1		kPa
Sähkötiedot (puhallin)				
Litainta		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,0	8,6	9,5	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	32,0	39,0	41,0	dB(A)
Painetaso 10 m ³ Sabine L _{p(A)}	28,0	35,0	37,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	23,0	30,0	32,0	dB(A)

Lisävarusteet

CVP Painerippumaton 2-tieventtiili, jäähditys
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KP Kondenssipumppu 0.5 m 10 W 0,08 A
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä
R0 Ei raitisilmaliitäntää
EX0 Ei ulkopuolista suojausta
T8C VariPro säädin 10 m kaapelilla ja pikaliittimellä

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jälkikäynta-aika

Innovative cooling, heating and energy solutions

HPB

www.chiller.fi

TEKNINEN VALINTA



14/11/2017

Asiakas:
Kohde: Oppari 12-17
Tunnus: 20-M

Valinnan laskija: Ari Koukku
Valinta no: 33015

Kasettipatteri BOX-VariPro

Valinta: BOX VariPro-20-M-1-CVP-DNC10-AC10-AH0-KP-P0-R0-T8C-EX0

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamäärä	0,076	0,100	0,107	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	0,55	0,63	0,65	kW
Tuntuva teho	0,55	0,63	0,65	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,030		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		12,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	16,4	17,0	17,2	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		6,0		kPa
Sähkö tiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	6,0	8,6	9,5	W
Maksimiteho		37,0		W
Maksimivirta		0,33		A
Mittatiedot				
Paino		25,5		kg
Pituus x leveys x korkeus		573 x 573 x 300		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	32,0	39,0	41,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	28,0	35,0	37,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	23,0	30,0	32,0	dB(A)

Lisävarusteet

CVP Paineriippumaton 2-tieventiili, jäähdytys
AC10 0 - 10 V toimilaitteella
KP Kondenssipumppu 0.5 m 10 W 0,08 A
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä
R0 Ei raitisilmaliitäntää
EX0 Ei ulkopuolista suojakuorta
T8C VariPro säädin 10 m kaapelilla ja pikaliittimellä

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jälkikaiunta-aika

Jäähdytyspatterin mitoitus

Liitteenä mitoitusajot, joita on käytetty kuvissa 15 ja 16.

 ILMANKÄSITTELYKONE eQ			
Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3	
ACON-tunnus	ACON-02190711		
Kone	1 () / 7/12	2017-12-03	
Konekoko	011	Sivu 2/5	
Asiakas			
Asiakkaan viite			
Oma viite	Ari Koukku		
Tuloilmavirta	1.00 m ³ /s	Poistoilmavirta	0.00 m ³ /s
Ulkoinen painehäviö	250 Pa	Ulkoinen painehäviö	0 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz	Paino	263 kg
Ominais sähköteho SFP	0.62 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan	
Ilman tiheys	1.2 kg/m ³	Korkeus mpy	0 m



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190711	
Kone	1 () / 7/12	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 4/5

Moottoritarvikkeet
Centriflow 3D puhallin + PM-moottori

Ilmanjäähdytin, vesi

Käyttötapa: Jäähdytyspatteri	
Konekoko: 011	
Tehovaihtoehto: 2	
Rakenne: Vakio otsapinta	
Lamellijako: 2 mm	
Vesireitit: 6	
Lamellirunko: Cu/Al	
Kehyosien materiaali: Sinkitty teräs	
Liitäntäpuoli: Oikea	
Putkiliitäntä DN	25
Vesitulavuus	4.2 l
Mitoittava painehäviö	33 Pa
Painehäviö	33 Pa
Painehäviö, kuiva patteri	25 Pa
Teho	11.8 kW
Ilman lämpötila	25.6 / 17.1 °C
Suhteellinen kosteus	53.1 / 86.1 %
Otsapintanopeus	2.2 m/s
Veden lämpötila	7 / 12 °C
Vesivirta	0.56 l/s
Veden nopeus	1.0 m/s
Vesipuolen painehäviö	10.1 kPa



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190717	
Kone	2 () / 8/13	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 2/4
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Ari Koukku	
Tuloilmavirta	1,00 m ³ /s	Poistoilmavirta 0,00 m ³ /s
Ulkoisen painehäviö	250 Pa	Ulkoisen painehäviö 0 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz	Paino 263 kg
Ominais sähköteho SFP	0,62 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³	Korkeus mpy 0 m



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190717	
Kone	2 () / 8/13	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 4/4

Moottoritarvikkeet

Centriflow 3D puhallin + PM-moottori

Ilmanjäähdytin, vesi

Käyttötapa: Jäähdytyspatteri	
Konekoko: 011	
Tehovaihtoehto: 2	
Rakenne: Vakio otsapinta	
Lamellijako: 2 mm	
Vesireitit: 6	
Lamellirunko: Cu/Al	
Kehyosien materiaali: Sinkitty teräs	
Liitäntäpuoli: Oikea	
Putkiliitäntä DN	25
Vesitulavuus	4,2 l
Mitoittava painehäviö	32 Pa
Painehäviö	32 Pa
Painehäviö, kuiva patteri	25 Pa
Teho	10,7 kW
Ilman lämpötila	25,6 / 17,5 °C
Suhteellinen kosteus	53,1 / 85,3 %
Otsapintanopeus	2,2 m/s
Veden lämpötila	8 / 13 °C
Vesivirta	0,51 l/s
Veden nopeus	0,9 m/s
Vesipuolen painehäviö	8,3 kPa



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190718	
Kone	3 () / 9/14	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 2/4
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Ari Koukku	
Tuloilmavirta	1,00 m ³ /s	Poistoilmavirta 0,00 m ³ /s
Ulkoinen painehäviö	250 Pa	Ulkoinen painehäviö 0 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz	Paino 263 kg
Ominais sähköteho SFP	0,62 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³	Korkeus mpy 0 m



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190718	
Kone	3 () / 9/14	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 4/4

Moottoritarvikkeet

Centriflow 3D puhallin + PM-moottori

Ilmanjäähdytin, vesi

Käyttötapa: Jäähdytyspatteri

Konekoko: 011

Tehovaihtoehto: 2

Rakenne: Vakio otsapinta

Lamellijako: 2 mm

Vesireitit: 6

Lamellirunko: Cu/Al

Kehysosien materiaali: Sinkitty teräs

Liitännäpuoli: Oikea

Putkiliitäntä DN

25

Vesitilavuus

4,2 l

Mitoitettava painehäviö

31 Pa

Painehäviö

31 Pa

Painehäviö, kuiva patteri

25 Pa

Teho

9,66 kW

Ilman lämpötila

25,6 / 18 °C

Suhteellinen kosteus

53,1 / 84,1 %

Otsapintanopeus

2,2 m/s

Veden lämpötila

9 / 14 °C

Vesivirta

0,46 l/s

Veden nopeus

0,8 m/s

Vesipuolen painehäviö

6,9 kPa



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190719	
Kone	4 () / 10/15	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 2/4
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Ari Koukku	
Tuloilmavirta	1,00 m ³ /s	Poistoilmavirta 0,00 m ³ /s
Ulkoisen painehäviö	250 Pa	Ulkoisen painehäviö 0 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz	Paino 263 kg
Ominais sähköteho SFP	0,62 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³	Korkeus mpy 0 m



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190719	
Kone	4 () / 10/15	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 4/4

Moottoritarvikkeet

Centriflow 3D puhallin + PM-moottori

Ilmanjäähdytin, vesi

Käyttötapa: Jäähdytyspatteri

Konekoko: 011

Tehovaihtoehto: 2

Rakenne: Vakio otsapinta

Lamellijako: 2 mm

Vesireitit: 6

Lamellirunko: Cu/Al

Kehyosien materiaali: Sinkitty teräs

Liitäntäpuoli: Oikea

Putkiliitäntä DN

Vesitulavuus

Mitoittava painehäviö

Painehäviö

Painehäviö, kuiva patteri

Teho

Ilman lämpötila

Suhteellinen kosteus

Otsapintanopeus

Veden lämpötila

Vesivirta

Veden nopeus

Vesipuolen painehäviö

25

4,2 l

31 Pa

31 Pa

25 Pa

8,75 kW

25,6 / 18,5 °C

53,1 / 81,9 %

2,2 m/s

10 / 15 °C

0,42 l/s

0,7 m/s

5,7 kPa



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190720	
Kone	5 () / 11/16	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 2/4
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Ari Koukku	
Tuloilmavirta	1,00 m ³ /s	Poistoilmavirta 0,00 m ³ /s
Ulkoinen painehäviö	250 Pa	Ulkoinen painehäviö 0 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz	Paino 263 kg
Ominaissähköteho SFP	0,62 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³	Korkeus mpy 0 m



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190720	
Kone	5 () / 11/16	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 4/4

Moottoritarvikkeet

Centriflow 3D puhallin + PM-moottori

Ilmanjäähdytin, vesi

Käyttötapa: Jäähdytyspatteri

Konekoko: 011

Tehovaihtoehto: 2

Rakenne: Vakio otsapinta

Lamellijako: 2 mm

Vesireitit: 6

Lamellirunko: Cu/Al

Kehysosien materiaali: Sinkitty teräs

Liitäntäpuoli: Oikea

Putkiliitäntä DN

Vesitilavuus

Mitoittava painehäviö

Painehäviö

Painehäviö, kuiva patteri

Teho

Ilman lämpötila

Suhteellinen kosteus

Otsapintanopeus

Veden lämpötila

Vesivirta

Veden nopeus

Vesipuolen painehäviö

25

4,2 l

31 Pa

31 Pa

25 Pa

8,04 kW

25,6 / 19,1 °C

53,1 / 79 %

2,2 m/s

11 / 16 °C

0,38 l/s

0,7 m/s

5,0 kPa



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	441 () / Oppari YAMK	Acon 2.28.171129.3
ACON-tunnus	ACON-02190721	
Kone	6 () / 12/17	2017-12-03
Konekoko	011	Sivu 2/4
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	Ari Koukku	
Tuloilmavirta	1,00 m ³ /s	Poistoilmavirta 0,00 m ³ /s
Ulkoinen painehäviö	250 Pa	Ulkoinen painehäviö 0 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz	Paino 263 kg
Ominais sähköteho SFP	0,62 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³	Korkeus mpy 0 m

Ilmanjäähdytin, vesi

Käyttötapa: Jäähdytyspatteri	
Konekoko: 011	
Tehovaihtoehto: 2	
Rakenne: Vakio otsapinta	
Lamellijako: 2 mm	
Vesireitit: 6	
Lamellirunko: Cu/Al	
Kehyosien materiaali: Sinkitty teräs	
Liitäntäpuoli: Oikea	
Putkiliitäntä DN	25
Vesitilavuus	4,2 l
Mitoittava painehäviö	31 Pa
Painehäviö	31 Pa
Painehäviö, kuiva patteri	25 Pa
Teho	7,25 kW
Ilman lämpötila	25,6 / 19,7 °C
Suhteellinen kosteus	53,1 / 75,9 %
Otsapintanopeus	2,2 m/s
Veden lämpötila	12 / 17 °C
Vesivirta	0,35 l/s
Veden nopeus	0,6 m/s
Vesipuolen painehäviö	4,1 kPa