

Wille Nurmi

Villa-huoneiston jäähdytystehontarpeen määrittely Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

2.10.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Wille Nurmi Villa-huoneiston jäähdytystehontarpeen määrittely Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä 57 sivua + 4 liitettä 2.10.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	yliopettaja Piia Sormunen toimitusjohtaja Heikki Lahdenperä, Chiller Oy
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin tapaa, jolla Villa-huoneiston tilakohtainen sekä rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarvelaskenta tulisi toteuttaa Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä. Lähtötietojen perusteella kävi ilmi, että ainakin Abu Dhabissa rakennusten jäähdytysjärjestelmät ovat hyvin usein ylimitoitettuja.</p> <p>Työn tavoitteena oli oppia ymmärtämään Lähi-idässä vallitsevia ilmasto-olosuhteita sekä niiden vaikutuksista rakennuksen todelliseen jäähdytystehontarpeeseen. Työssä haluttiin selvittää jäähdytysjärjestelmien oikeat mitoitusolosuhteet sekä eroavuudet tilakohtaisen ja rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarpeen laskentamenetelmissä.</p> <p>Työn toteuttamiseen käytettiin Arabiemiirikunnissa vasta hiljattain käyttöönotettuja täysin uusia rakennusmääräyksiä, ASHRAEn määrittelemiä standardeja sekä Abu Dhabissa työskentelevän LVI-suunnittelijan ohjeistuksia. Työssä käytetty esimerkki Villa-huoneisto simuloitiin myös RIUSKA-ohjelmalla, joka on dynaaminen olosuhdelaskentaohjelma.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kattava näkemys Lähi-idässä vallitsevista ilmasto-olosuhteista ja sen vaikutuksista rakennuksen jäähdytystehontarpeeseen. Työssä saatiin selvitettyä, miten tilakohtainen ja rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarpeen laskentaprosessi eroaa toisistaan, sekä miten mitoitus saadaan tehtyä ylimitoittamatta järjestelmää.</p> <p>Villa-huoneistojen valmistuessa on tarkoitus vertailla tämän työn lopputuloksia jäähdytysjärjestelmän todelliseen toimintaan.</p>	
Avainsanat	jäähdytys, ilmastointi, Lähi-itä, Abu Dhabi, ASHRAE

Author Title	Wille Nurmi Determining cooling capacity for “Villa” apartments in the Middle East climate zone
Number of Pages Date	57 pages + 4 appendices 2 October 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production orientation
Instructors	Piia Sormunen, Senior Lecturer Heikki Lahdenperä, CEO
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to examine how to calculate the need for cooling capacity in a “Villa” apartment located in the Middle Eastern climate zone. According to initial data, the total cooling capacities of local buildings were often oversized.</p> <p>The main aim was to understand the climate conditions and their effect on the need of cooling capacity in the Arab Emirates. Another aim was to establish the correct design conditions of cooling systems, and the differences between the methods for calculating the total cooling capacity for individual spaces and for whole buildings.</p> <p>In the thesis, the recently introduced building codes, standards determined by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), and the guidelines provided by a local HVAC engineer were used. Furthermore, a dynamic energy application software was used to simulate the sample apartment.</p> <p>As a result, a comprehensive view of the climatic conditions in the Middle East was acquired. Moreover, the impact of the climate on cooling capacity requirement was unveiled. In addition, the differences between the calculation process for individual rooms and whole buildings, respectively, were found. Thus, the method for designing a system without oversizing it was generated.</p> <p>Once the “Villa” apartments are completed, the outcome of this research will be compared to reality.</p>	
Keywords	cooling, air ventilation, middle east, Abu Dhabi, ASHRAE

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmastoinnin suunnittelun perusteet	3
2.1	Rakennuksen sisäilmasto	3
2.1.1	Lämpö- ja kosteusolosuhteet	4
2.1.2	Ilman liike (veto)	5
2.1.3	Ilmanlaatu	6
2.2	Ilmastoinnin suunnittelu	6
2.3	Ilmastoinnin suunnittelu Suomessa	7
2.4	Jäähdytys	7
3	Yhdistyneet Arabiemiirikunnat, United Arab Emirates (UAE)	11
3.1	Perustietoutta	11
3.2	Ilmasto-olosuhteet	13
3.3	Ilmastoinninsuunnittelu Arabiemiirikunnissa	13
3.3.1	Yksikkömuunnokset	14
3.3.2	Säävyöhykkeen määrittely	15
3.3.3	Rakenteille määritetyt vaatimukset	15
3.3.4	Lämpö- ja kosteusolosuhteet	16
3.3.5	Ilmanvaihto	18
3.3.6	Ilmavirrat	18
4	Jäähdytystehontarpeen määrittely (Abu Dhabi)	19
4.1	Standardien mukaiset ohjeet	19
4.2	Jäähdytystehontarpeen laskenta	20
4.3	Tilakohtainen jäähdytystehontarve, staattinen laskenta	22
4.3.1	Rakenteiden kautta aiheutuvat johtumislämpökuormat	24
4.3.2	Vuotoilman aiheuttama lämpö- ja kosteuskuorma	25
4.3.3	Sisäiset lämpökuormat	26
4.3.4	Auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma (ikkunat)	27
4.4	Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve, dynaaminen laskenta	29

4.4.1	Dynaaminen laskenta	30
4.4.2	RIUSKA- olosuhde- ja energialaskentaohjelma	31
5	Villa-huoneisto (Abu Dhabi)	33
5.1	Rakennuksen lähtötiedot	33
5.2	Rakennuksen tilat	35
5.3	Rakenteiden U-arvot	36
6	Villa-huoneiston jäähdytystehontarvelaskennan tulokset	37
6.1	Huonekohtainen jäähdytystehontarve, staattinen laskenta	37
6.1.1	Mitoitusolosuhde 1 (ASHRAE)	37
6.1.2	Mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)	39
6.2	Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve, dynaaminen laskenta	40
6.2.1	RIUSKA-ohjelmaan syötetyt lähtöarvot ja asetukset	41
6.2.2	Mitoitusolosuhde 1 (ASHRAE)	42
6.2.3	Mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)	45
7	Tulosten vertailu	49
7.1	Huonekohtainen jäähdytystehontarve, staattinen laskenta	49
7.2	Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve, staattinen vs. dynaaminen	51
8	Yhteenveto	52
9	Päätelmät	54
	Lähteet	55

Liitteet

Liite 1. Säädata Abu Dhabi (12 vuoden aikajakso)

Liite 2. Ix-diagrammi, ASHRAEn määrittelemä ulkoilmanmitoitusolosuhde, jäähdytys Abu Dhabi (mitoitusolosuhde 1)

Liite 3. Ix-diagrammi, paikallisen LVI-suunnittelijan määrittelemät sisä- ja ulkoilmanmitoitusolosuhde, jäähdytys Abu Dhabi (mitoitusolosuhde 2)

Liite 4. Villa-huoneiston pohjapiirros, 1 & 2 kerros

Lyhenteet, määritelmät ja symbolit

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineering. Yli 100 vuotta vanha USA:ssa toimiva LVIK- (lämpö, vesi, ilma, kylmä) standardien/määräyksien kehittäjä- ja asiantuntijajärjestö.
ACCA	Air-Conditioning Contractors of America. Yli 40 vuotta sitten perustettu USA:ssa toimiva voittoa tavoittelematon energia-, terveys- ja sisäilmastoasiantuntijajärjestö.
ICC	International Code Council, USA:ssa toimiva kansainvälisten rakentamismääräyksien kehittäjä.
IECC	International Energy Code Conservation, ICC-standardin osio, joka sisältää muun muassa energiatehokkuuteen liittyviä määräyksiä
IMC	International Mechanical Code, ICC-standardin osio, joka sisältää muun muassa ilmanvaihtoon liittyviä määräyksiä
SRMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma
<i>ilmastointi</i>	katsotaan koostuvan ilmanvaihdon ja jäähdytyksen yhteisprosessista.
<i>ilman entalpia</i>	ilman lämpösisältö
<i>ix-diagrammi</i>	taulukko, jolla voidaan esittää ilman olotila, (i) lämpösisältö (x) vesisisältö.
<i>MagiCad</i>	suomalainen CAD-suunnitteluohjelmisto talotekniseen LVI- ja sähkösuunnitteluun. Ohjelmisto on Progman Oy:n kehittämä.
<i>Meteonorm</i>	maailmanlaajuinen säädatakeskus, joka hallinnoi yli 8 300:aa säämittauspistettä maailmalla
<i>Mollier Sketcher 21 b</i>	tietokonepohjainen ix-diagrammi.
<i>suhteellinen kosteus</i>	ilman kosteus tai kuivuus tietyssä lämpötilassa. Suhteellinen ilmankosteus kuvaa ilman sisältämän vesihöyryn määrää

suhteessa siihen, kuinka paljon se voi sisältää vesihöyryä tietyssä lämpötilassa.

BTU/h	British Thermal Unit per hour. Tehon yksikkö brittiläisessä mailijärjestelmässä.
BTU/h/ft ²	lämmönjohtavuus, British Thermal Unit per hour per feet
°C	lämpötila, celsiusaste.
cfm	cubic feet per minute (kuutiojalkaa tunnissa), tilavuusvirran määritelmä brittiläisessä mailijärjestelmässä
DB	Dry Bulb, kuivalämpötila
°F	lämpötila, fahrenheitaste.
ft ²	square foot (neliöjalka), pinta-alan määritelmä brittiläisessä mailijärjestelmässä.
h	aika, tunti
s	aika, sekunti
WB	Wet Bulb, märkälämpötila
W/m ²	lämmönjohtavuus, Wattia/neliömetri
U	U-arvo, rakenteen lämmönläpäisykerroin ($\frac{W}{m^2 K}$)
Δh	delta T, kuvastaa lämpötilaeroa laskentakaavoissa
$\frac{1}{h}$	kertaa tunnissa, yksikköä käytetään usein rakennuksen ilmanvaihtuvuutta tarkasteltaessa (rakennuksen tilavuuden vaihtuvuus tunnissa)

1 Johdanto

Tämä insinöörityö toteutettiin Chiller Oy:n toimeksiannosta, koska yritys on nykyään mukana Lähi-idän projekteissa ja yritys pyrkii myös tulevaisuudessa laajentamaan tuotesegmenttiään kyseisille markkinoille. Työn idea lähti siitä, että rakennuksen jäähdytysjärjestelmän suunnitteluun käytetyt mitoitusolosuhteet Abu Dhabissa ovat olleet hieman ristiriitaisia projekteissa, joissa Chiller Oy on ollut mukana. Paikalliset rakentamismääräykset ohjeistavat yhdellä tietyllä tavalla, kun taas yhteistyö Abu Dhabissa toimivien suunnittelijoiden kanssa on osoittanut, että jäähdytysjärjestelmiä kuitenkin mitoitetaan hieman määräyksistä poikkeavilla mitoitusarvoilla. Työn lopussa vertailtiin tuloksia, jossa esimerkkirakennuksen, eli Villa-huoneiston jäähdytysjärjestelmä, mitoitettiin sekä rakentamismääräysten että paikallisen suunnittelijan ohjeistuksen mukaisesti.

Suomen kielellä ei tällä hetkellä ole olemassa dokumentaatiota, josta voisi saada tukea suunnitteluun, kun kyseessä on ns. korkean lämpötilan ilmastovyöhyke. Tässä työssä käytettiin apuna englanninkielisiä ASHRAE- (American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineering) sekä Lähi-idässä vasta hiljattain käyttöön otettuja ICC (International Code Council) -standardeja. Juuri Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä on erityisen haastavat olosuhteet toimivalle ilmastoinnin toteutukselle, koska siellä vallitsee niin sanottu ”aavikkoilmasto”, joka tarkoittaa hyvin nopeasti vaihtelevaa ilman lämpötilaa ja kosteutta päivä- sekä yöaikaan.

Tässä työssä esitellään Lähi-idän ilmasto-olosuhteita, Abu Dhabissa käytettyjä jäähdytystehontarvelaskentaohjeita sekä niiden soveltamista Villa-huoneiston jäähdytysratkaisun toteutukseen juuri kyseiselle ilmastovyöhykkeelle. Villa-huoneiston ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistoilmalla, ja sen jäähdytys on toteutettu tilakohtaisilla kasettipuhallinpattereilla, joita jäähdyttää vedenjäähdytin.

Työn pääasiallisina tavoitteina oli oppia ymmärtämään Abu Dhabissa vallitsevia ilmasto-olosuhteita, saada selville, mitä suunnitteluolosuhteita jäähdytysjärjestelmän mitoitukseen yleisesti tulisi käyttää, sekä selvittää tilakohtaisen ja rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarpeen määrittelyn eroavaisuudet. Tavoitteena oli löytää tapa, jolla saa-

daan määriteltyä rakennukseen vaikuttava suurin niin sanottu ”samanaikaisuuslämpökuorma”. Työssä haluttiin selvittää, miten jäähdytysjärjestelmä tulisi mitoittaa niin, että se olisi mahdollisimman energiatehokas rakennuksen kaikissa käyttötilanteissa ja olosuhteissa. Toisin sanoen haettiin mitoitus tapaa, jolla rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarvetta ei ylimitoitettaisi, mikä on todellisuudessa hyvin yleistä myös Suomessa.

Tulevaisuudessa kun kyseiset Villa-huoneistot valmistuvat, on tarkoitus vertailla tämän työn lopputuloksia rakennuksen jäähdytysjärjestelmän toimintaan käytännössä.

2 Ilmastoinnin suunnittelun perusteet

2.1 Rakennuksen sisäilmasto

Sisäilmastolla tarkoitetaan sisätilojen fysikaalista ja kemiallista kokonaisuutta. Ilmastoinnin tarkoitus on pitää sisätiloissa parasta mahdollista tarkoituksenmukaista ilmastoaa. Asuintalon sisäilmaston pääosat katsotaan koostuvan lämpöolosuhteista, kosteudesta, ilman laadusta, säteilyolosuhteista, sähköisistä ominaisuuksista, valaistuksesta ja melusta.

Lämpöolosuhteet katsotaan koostuvan seuraavista muuttujista:

- ilman lämpötilasta
- pintojen lämpötiloista ja säteilyominaisuuksista
- lämpötilaeroista ja -vaihteluista
- ilman liikkeestä (keskinopeus, suunta, vaihtelut)
- ilman kosteudesta.

Nämä vaikuttavat olosuhteiden lisäksi moneen muuhun tekijään. Perustana on riittävä happipitoisuus, pienet epäpuhtauspitoisuudet ja hajuttomuus. Keskeisimpiä epäpuhtauksia ovat leijuvat pölyt, epäorgaaniset kaasut, orgaaniset kaasut sekä bioaerosolit (bakteerit, itiöt).

Huoneiston äänitaso on hyvin tärkeä ilmastointiin liittyvä asia, sillä monesti ilmastointilaitteet tuottavat huomattavasti melua. Vähäinen melu on ilmastointirakentamisen keskeinen tekijä. Melun aiheuttamaan häiriöön vaikuttavat tekijät ovat ääniteho, äänen taajuus, kesto, impulssimaisuus sekä huonetilan akustiset ominaisuudet.

Viihtyvyys määritellään mielentilana, joka ilmaisee tyytyväisyyttä ympäristöön. Ihmisen viihtyvyyteen vaikuttavat useat eri tekijät, ja yleensä kaikki eivät voi olla tyytyväisiä esimerkiksi juuri sisäilman lämpötilaan. (1, s. 3.)

2.1.1 Lämpö- ja kosteusolosuhteet

Rakennuksen sisäilmanlämpötila on hyvin tärkeä tekijä, kun määritellään rakennuksen kokonaislaatua. Jotta saavutetaan tilanne, jossa kaikki ihmiset olisivat tyytyväisiä sisäilman lämpötilaan, vaaditaan sen saavuttamiseksi useimmiten huonekohtaista lämpötilansäätöä. Muuten huonetilojen eri lämpökuormat voivat vaikuttaa huonelämpöolojen vaihtelevuuteen rakennuksessa. Rakennuksen vaipan lämmöneristyksen parantaminen lisää sisäisten kuormien vaikutusta tilan lämpöolosuhteisiin. Sisäilman lämpötilan nousua voidaan ehkäistä tehokkaasti käyttämällä koneellista jäähdytystä. Koneellisella jäähdytyksellä saatava parannus sisäilman lämpötilaan vaikuttaa merkittävästi ihmisen viihtyvyyteen sekä keskittymis- ja suorituskykyyn. (1, s. 19–21.)

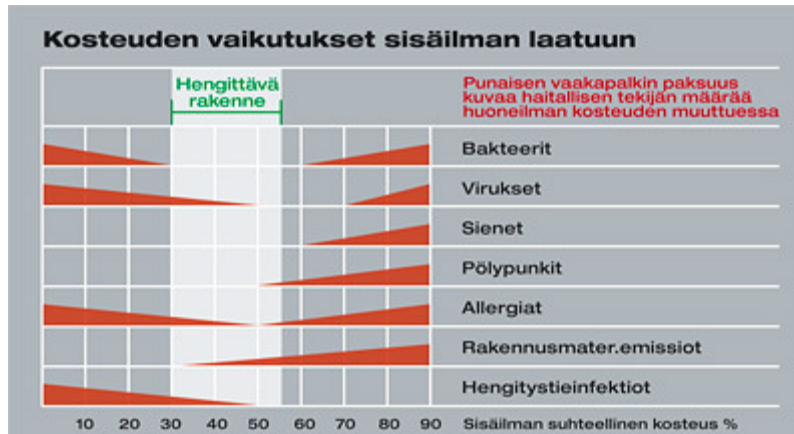
Lämpötilalla on myös muita vaikutuksia kuin edellä mainitut asiat. Suomessa tehdyssä hyvin laajassa tutkimuksessa, joka tehtiin jo käytössä oleviin rakennuksiin, osoitti, että sisäilman lämpötilan alentaminen vaikuttaa myös ilman kuivuuden haittavaikutusten torjuntaan. Lämpötilan laskiessa ilman kuivuus ei tunnu, vaikka ilman absoluuttinen ja suhteellinen kosteus eivät muuttuisikaan. Samalla se osoitti, että sillä on myös vaikutuksia sisäilman raikkauteen. Kohteissa joissa on koettu sisäilman olevan tunkkaista ja liian vähäistä, on sisäilman lämpötilan alentamisella saatu aikaan parempia tuloksia kuin ilmanvaihtoa lisäämällä. Myös ihmisten kokemien sisäilmasto-oireiden ja sisäilman lämpötilalla on todettu olevan selvä yhteys. (1, s. 22.)

Ilman kosteudella on todettu olevan useita välittömiä ja välillisiä vaikutuksia. Useissa ulkomailla tehdyissä tutkimuksissa on todettu ylempien hengitysteiden infektiosairauksien vähentyneen kylmässä ilmastossa kostutuksen vaikutuksesta. Tutkimuksissa on myös ilmennyt, että puhtaan ilman alhainen kosteus ei ole aiheuttanut minkäänlaisia oireita terveille koehenkilöille. Hengitysallergikoiden kuitenkin tiedetään kärsivän kuivasta ilmasta, ja myös ilman epäpuhtauksilla on todettu olevan suurempi vaikutus kuivassa ilmassa. Ylempien hengitysteiden puhdistuskyky on parempi kosteassa ilmassa.

Ilman korkealla kosteudella on kuitenkin myös haittapuolensa. Yli 45 %:n suhteellisen ilmankosteuden on todettu edistävän pölypunkkien, sienten ja muiden mikrobien elinmahdollisuuksia. Ilman suhteellisen kosteuden nousu yli 75–85 %:n luo erittäin hyvät edellytykset sienien kasvulle.

Ilman kosteudella on myös välillisiä vaikutuksia ilman laatuun ja terveyteen, koska alhainen kosteus lisää ilman pölypitoisuutta. Noin 40–50 %:n suhteellinen ilmankosteus taas lyhentää bakteerien elinikää. (1, s. 24.)

Kuvassa 1 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden raja-arvot, jotka vaikuttavat haitallisesti ihmisten terveyteen ja rakennuksen rakenteisiin.



Kuva 1. Ilman suhteellisen kosteuden raja-arvot, jotka vaikuttavat haitallisesti ihmisten terveyteen ja rakennuksen rakenteisiin (2).

Energiankulutuksen sekä terveyden näkökulmasta on todettu, että huonelämpötilassa 21 °C tulisi ilman suhteellisen kosteuden olla 25–60 %. (1, s. 24.)

2.1.2 Ilman liike (veto)

Vedon tunne on ihmisten käyttämä termi, joka johtuu ihon paikallisesta liian voimakkaasta jäähtymisestä. Vedon tunne aiheutuu ilman nopeudesta, lämpötilasta ja säteilemällä tapahtuvasta lämmönsiirrosta. Usein ihmiskehossa herkin alue vedon tunteelle on niska, silloin kun ilmavirta kohdistuu siihen takaapäin. Useimmiten tämä ongelma esiintyy henkilöille, jotka tekevät toimistotyötä ja istuvat paljon paikallaan. Mitä raskaampi työ tai enemmän vaatetusta henkilöllä on, sen suurempia ilmavirtojen nopeuksia voidaan sallia kokematta vedon tunnetta. Vedon tunteeseen vaikuttaa myös ympäröivän tilan lämpötila. Lämpötilan ollessa yli 24 °C siedetään vetoa usein paljon paremmin.

Vedon tunteen voi myös kokea säteilylämmönsiirtymisen kautta silloin, kun pintojen lämpötila poikkeaa merkittävästi tilan ilmanlämpötilasta. Suomessa tästä on hyvä esimerkki ikkuna talvisin. Yksi tavallisimmista vedontunteen aiheuttajista on kehoon kohdistuva ilmavirta ikkunan ja ulkoseinän raoista. (1, s. 25.)

2.1.3 Ilmanlaatu

Sisäilmanlaadulle asetetut vaatimukset riippuvat paljolti rakennuksen tai tilan käyttötarkoituksesta. Vaatimuskriteerit saattavat riippua tilassa oleskelevista ihmisistä, rakenteista tai tilassa tapahtuvasta työprosessista. Ihmisperäiset kriteerit koskevat useimmiten viihtyvyyttä ja ilman terveydellisyyttä. Rakenneperäiset sisäilmakriteerit koskevat yleensä ilman lämpötilaa, kosteutta tai hiukkasperäisiä epäpuhtauksia. (1, s. 31.)

2.2 Ilmastoinnin suunnittelu

Kuten luvussa 2.1 jo todettiin, rakennuksen sisäilmasto on monen tekijän summa. Hyvän tuloksen varmistamisessa on tärkeää asettaa tavoite, sen mukaisten ratkaisujen valinta sekä toteutuksen hallinta ja valvonta. Hyvän sisäilmaston tavoitteet tulisi ottaa huomioon rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa. Sisäilmaston tavoitteet määritetään yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa. Suunnittelijoiden tulisi määrittää vaaditun sisäilmaluokituksen edellyttämät ratkaisut piirustuksissa, työselostuksissa, urakkarajaliitteessä ja työmaan laatusuunnitelmassa. Kun sisäilmastotavoitteet on tehty, on suunnittelijoiden kuvattava tekniset ratkaisut, joilla päästään tavoitteisiin. Rakennustöiden suunnittelua varten on valittava rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokat, rakennusmateriaalien päästöluokka sekä ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokka. (3)

Rakennuksen ilmastoinnin suunnitteluvaiheessa tulisi huomioida vähintään seuraavat asiat (3):

- sisäiset kuormitustekijät kuten lämpö- ja kosteuskuormat, henkilökuormat
- ulkoiset kuormitustekijät kuten sää- ja ääniolosuhteet
- ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät

- sijainti- ja rakennuspaikka.

2.3 Ilmastoinnin suunnittelu Suomessa

Suomessa käytetään ilmastoinnin suunnittelun ja rakentamisen ohjeistuksena Suomen rakentamismääräyskokoelman osiota D2.

Suomen rakentamismääräyskokoelmaa ylläpitää ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelman määräykset velvoittavat suunnittelijan/rakentajan. Ohjeet sen sijaan eivät ole velvoittavia, vaan on myös mahdollista käyttää muita ratkaisuja, jos ne vain täyttävät rakentamisen vaatimukset. Rakentamismääräyskokoelman ohjeet koskevat ainoastaan uudisrakentamista. (4)

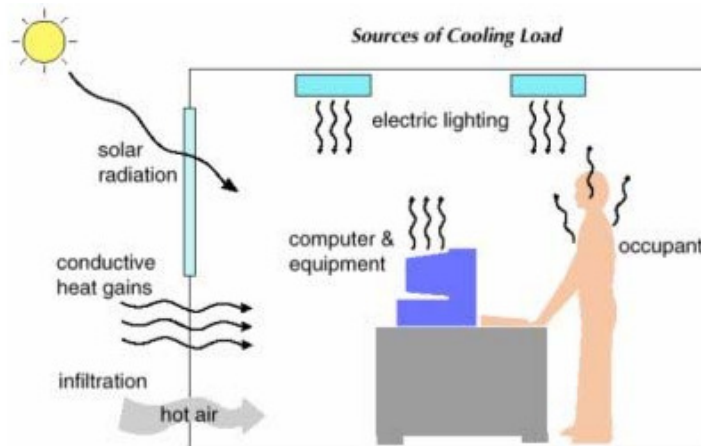
Suomen rakentamismääräyskokoelma koostuu seuraavista osioista (5):

- A Yleinen osa
- B Rakenteiden lujuus
- C Eristykset
- D LVI ja energiatalous
- E Rakenteellinen paloturvallisuus
- F Yleinen rakennussuunnittelu
- G Asuntorakentaminen.

2.4 Jäähdytys

Jäähdytystarpeen katsotaan olevan se lämpöyli jäämä, joka on saatava poistettua rakennuksesta tai tilasta niin, että sisäilman lämpötila pysyy korkeimman sallitun arvon alapuolella. (6)

Rakennukseen tai tilaan vaikuttavat lämpökuormat voivat aiheutua mm. johtumisesta rakenteiden kautta (ulkoilman korkea lämpötila), auringonsäteilyä ikkunoihin, vuotoilmasta, ihmistä, valaistuksesta sekä laitteista. Kuvassa 2 on esitetty tavallisimmat tekijät, jotka yleensä koetaan rakennukseen vaikuttavina lämpökuormina.



Kuva 2. Yleisimpiä tekijöitä, jotka vaikuttavat rakennukseen tai tilaan lämpökuormana (6).

Rakennuksien jäähdytysjärjestelmät voidaan yleisesti jakaa kolmeen alla mainittuun kategoriaan (6):

- Ilmakiertoiset jäähdytysjärjestelmät
- Vesikiertoiset jäähdytysjärjestelmät
- Ilma- ja vesikiertoiset jäähdytysjärjestelmät (yhdistetty järjestelmä, jossa jäähdytetään sekä ilmalla että vedellä).

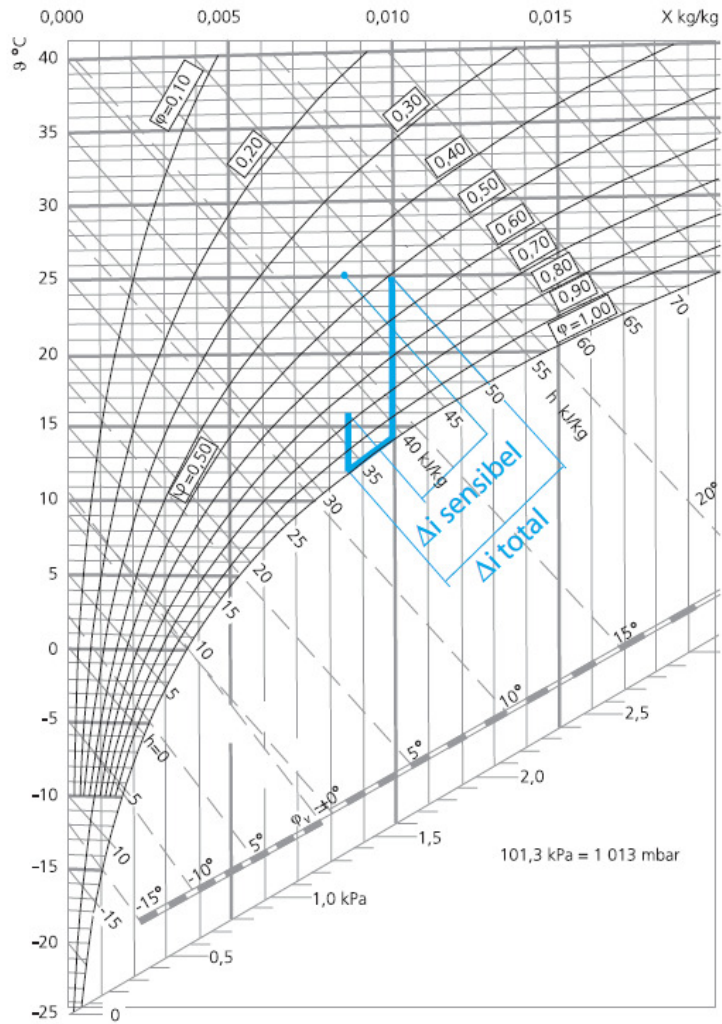
Kun puhutaan jäähdytystehosta, on hyvin tärkeää ymmärtää tuntevan- ja kokonaisjäähdytystehontarpeen ero. Kokonaisjäähdytysteho sisältää tuntevan jäähdytystehon sekä niin sanotun märkjäähdytyksen. (6)

Tuntuva jäähdytysteho saadaan laskettua käyttämällä sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroa. Kokonaisjäähdytystehoon tulee laskea mukaan märkjäähdytyksen tarvittu teho, eli latentti jäähdytystehontarve. Latentti jäähdytystehontarve tarkoittaa ilman entalpian eroa, joka kuivatetaan sisälle tuotavasta tulo- tai raitisilmamäärästä, ennen kuin se puhalletaan sisätiloihin. (6)

Hallitsemattomasti sisätiloihin mm. rakenteiden liitoskohtien kautta tulevan vuotoilman sisältämä entalpian ero, pitää myös ottaa huomioon jäähdytystehontarvetta määriteltäessä.

Englannin kielessä käytetään termejä *total cooling capacity* (kokonaisjäähdytysteho), *sensible cooling capacity* (tuntuva jäähdytysteho) sekä *latent cooling capacity* (latentti jäähdytysteho).

Kuvassa 3 on esitetty tuloilmapatterin kokonais-, tuntuva ja latentti jäähdytystehoero ix-diagrammissa, kun tuloilmakoneen jäähdytyspatterille tuodaan 25 °C:n lämpöistä ulkoilmaa, joka jäähdytetään 16 °C:n lämpötilaan. (6)



Kuva 3. Tuloilmapatterin kokonais-, tuntuva- sekä latentti jäähdystysteho esitettynä ix-diagrammissa, kun tuloilmapatterille tuodaan $25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpöistä ilmaa, joka jäähdytetään 16 -asteiseksi.

3 Yhdistyneet Arabiemiirikunnat, United Arab Emirates (UAE)

3.1 Perustietoutta

Englanninkielinen nimi: United Arab Emirates, UAE

Itsenäistyminen: Itsenäistyi Iso-Britannian alaisuudesta 2. joulukuuta 1971. Liittovaltio muodostettiin kuuden emiirikunnan kesken: Abu Dhabi, Dubai, Sharjah, Fujairah, Umm Al Qaiwain ja Ajman. Vuonna 1972 liittovaltioon liittyi myös seitsemäs jäsen, Ras Al Khamaih.

Aikaero Suomeen: Kesäisin: +1 h, talvisin +2 h

Pinta-ala: 83 600 km² (sisältäen noin 200 saarta)

Väkiluku: 4,8–5,6 miljoonaa

Pääkaupunki: Abu Dhabi

Sijainti: Lat. 24° 28N Long 54° 22E

(7)

Arabiemiirikunnat (UAE) on seitsemän emiirikunnan liitto Arabian niemimaalla, Persianlahden rannikolla. Arabiemiirikunnilla on rannikkoa Omaninlahdelle sekä Persianlahdelle, ja se sijaitsee Saudi-Arabian ja Omanin välissä. Arabiemiirikunnat on yleisesti erittäin moderni ja dynaaminen maa. (8)

Abu Dhabi (arab. أبو ظبي, Abū zābī, suom. hirven isä), on suurin seitsemästä emiraatista, jotka muodostavat Arabiemiirikuntien liiton. Emiraateissa on alue nimeltään Abu Dhabi, jossa sijaitsee myös samanniminen kaupunki, joka on Emiirikuntien pääkaupunki. Väkiluku Abu Dhabissa oli vuonna 2008 noin 1,6 miljoonaa. Maan varakkuudesta sijoittuu n. 70 % Abu Dhabiin. Emiirikuntia hallitsee šikki Khalifa ibn Zayid Al Nahyan,

joka hallitsee koko liittovaltiota. Abu Dhabissa on oma kansainvälinen lentoasema (AUH), jonka kautta kulki vuonna 2008 yli yhdeksän miljoonaa matkustajaa. Abu Dhabi on koettanut säilyttää perinteisemmän imagon kuin hyvin paljon länsimaalaistunut Dubai. (9)

UAE:ssä on viime vuosina nostettu laajalti esille ympäristö- sekä energiatehokkuus asioita. Abu Dhabissa on tällä hetkellä meneillään ympäristöprojekti nimeltään Abu Dhabi Vision 2030. Projekti aloitettiin vuonna 2005 UPC:n (Abu Dhabi Urban Planning Council, eli kaupunkisuunnitteluneuvosto) toimesta. Projektin tarkoituksena on optimoida kaupungin kehitystä 25 vuoden ajan, jolla saataisi luotua perusta sosiaalisesti yhtenäiselle ja taloudellisesti kestäväälle yhteisölle, joka säilyttää emiraatin ainutlaatuisen kulttuuriperinnön. Tällainen tapa suunnitella infrastruktuuria etujassa on keskeinen esimerkki visionäärisestä hallinnosta. (10)

DMA (Department of Municipal Affairs) eli kuntaministeriöosasto perustettiin vuonna 2007 toukokuussa, ja se korvasi aiemmin toimineen kunta- ja maatalousosaston. Tämä osasto tulisi toimimaan tärkeimpänä keskipisteenä kaikkien kuntien julkisten hankkeiden suunnittelijana ja valvojana Abu Dhabissa. DMA:n tavoitteena on tuottaa tehokkuutta ja parempaa asiakastyytyvää kansallisen toimintaohjelman mukaisesti, joka edustaa uuden aikakauden kunnallisia palveluja. (11)

DMA valvoo kolmea alueellista kunnanvaltuustoa ja viranomaisia: Abu Dhabi, Al Ai ja Western Region. DMA pyrkii vaikuttamaan suoraan mm. seuraaviin asioihin (11):

- Infrastruktuurin suunnittelu ja hallinta
- Sääntely-ympäristön edistäminen ja optimointi, joka edistää Abu Dhabin kykyä houkutella paikallisia ja ulkomaalaisia sijoittajia.
- Kotimaan turvallisuuden infrastruktuuri
- Kuntien palvelujen parantaminen emiraateissa vahvojen ja monipuolisten kansainvälisten suhteiden avulla
- Abu Dhabin perinnön ja kulttuurin ylläpito

3.2 Ilmasto-olosuhteet

Abu Dhabissa vallitsee niin sanottu aavikkoilmasto. Aavikkoilmasto, eli autiomaan määrittelyllään yleensä ilmaston ja kasvillisuuden perusteella. Aavikolle on tyypillistä kuivuusindeksin mukaan määriteltävissä oleva kuivuus. Aavikolla kasvaa myös ainoastaan kuivuuteen sopeutunutta kasvillisuutta, joka kuitenkin on hyvin vähäistä pinta-alan nähdessä. Aavikoita on viidellä mantereella, ja ne peittävät noin viidesosan maapallon pinta-alasta. Aavikot jaetaan hiekka-, sora- ja kallioaavikkoihin. Niiden pinta on herkkä tuulen ja veden aiheuttamalle eroosiolle. Aavikkoilmastovyöhykkeellä kuten Abu Dhabissa on ilmasto pääsääntöisesti kuuma ja kuiva, mutta lämpötilanvaihtelu on suurta päivän ja yön välillä. (12)

Abu Dhabi on ilmastoinnin suunnittelun kannalta hyvin haastava ilmasto. Tämä johtuu siitä että lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus on hyvin nopeasti vaihteleva, toisin sanoen aamu- ja iltaolosuhteet ovat hyvin erilaiset. Aamuaikaan suhteellinen kosteus on hyvin korkea ja ilman lämpötila matala. Päivällä ja iltapäivällä suhteellinen kosteus pienenee, samaan aikaan, kun lämpötila nousee. Liitteessä 1 on esitetty Abu Dhabissa vallitsevia kuukausittaisia ilmasto-olosuhteita, jotka on määritelty 12 vuoden mittausaika-jakson perusteella. (13)

3.3 Ilmastoinninsuunnittelu Arabiemiirikunnissa

Arabiemiirikunnissa on otettu käyttöön vuonna 2011 amerikkalaiset ICC (International Code Council) rakentamismääräykset ja standardit. Rakentamismääräyksiä on muokattu USA:n versioista niin, että ne soveltuvat paremmin Arabiemiirikuntien ilmastoon. ICC koostuu useasta osasta, samalla tavalla kuin meillä Suomessa toimii Suomen rakentamismääräyskokoelma (SRMK). Arabiemiirikunnissa käytettävät rakentamismääräykset on jaettu seuraaviin osiin (14):

[IBC]	International Building Code
[IECC]	International Energy Conservation Code
[IFC]	International Fire Code

[IFGC]	International Fuel Gas Code
[IMC]	International Mechanical Code
[IPC]	International Plumbing Code
[IPSDC]	International Private Sewage Disposal Code
[IPMC]	International Property Maintenance Code

Tässä työssä on käytetty lähteenä IBC-, IECC- ja IMC-standardeja. Niiden perusteella Abu Dhabi luokitellaan säävyöhykkeeksi 1 (Zone 1). (15, s. 25.)

3.3.1 Yksikkömuunnokset

Abu Dhabissa on suunnittelun kannalta myös tärkeää sisäistää siellä käytetyt mittayksiköt. USA:n standardien myötä Arabiemiirikunnissa käytetään niin sanottua vanhaa brittiläistä ”mailijärjestelmää”, kun taas Suomessa käytetään SI-järjestelmää (Système International d'Unités).

Taulukoissa 1–5 on esitetty muutamia perusesimerkkejä mittayksikkömuunnoksista, joita tulee vastaan mm. juuri ilmastoinnin ja jäähdytyksen suunnittelussa.

Taulukko 1. Yksikkömuunnokset, lämpötila: °C ↔ °F (16)

Muunnos	° C	° F
1° C → ° F	1	33,8
1° F → ° C	-17,2	1

Taulukko 2. Yksikkömuunnokset, tilavuusvirta: m³/s ↔ cfm (16)

Muunnos	m ³ /s	cfm
1 m ³ /s → cfm	1	2,119
1 cfm → m ³ /s	0,000472	1

Taulukko 3. Yksikkömuunnokset, pinta-ala: m² ↔ ft² (16)

Muunnos	m ²	ft ²
1 m ² → ft ²	1	10,76
1 ft ² → m ²	0,092	1

Taulukko 4. Yksikkömuunnokset, teho: W \leftrightarrow btu/h (16)

Muunnos	m ²	ft ²
1 W \rightarrow Btu/h	1	3,412
1 Btu/h \rightarrow W	0,293	1

Taulukko 5. Yksikkömuunnokset, lämmönsiirto: W/m² \leftrightarrow Btu/ft²/h (16)

Muunnos	W/m ²	Btu/ft ² /h
1 W \rightarrow Btu/ft ² /h	1	0,317
1 Btu/ft ² /h \rightarrow W	3,155	1

3.3.2 Sävyöhykkeen määrittäminen

IECC määrittelee Abu Dhabin sävyöhykkeeksi 1A (Zone 1A). Sävyöhykkeen 1 määrittely perustuu siihen, että Abu Dhabissa kuuden lämpimimmän kuukauden märkä-lämpötila on

- yli 19,4 °C enemmän kuin 3 000 h

tai

- yli 22,8 °C enemmän kuin 1 500 h.

(15, s. 25.)

3.3.3 Rakenteille määritetyt vaatimukset

IECC:ssä on määritelty myös uudisrakennuksien rakenteiden lämmönjohtavuuteen liittyviä maksimi raja-arvovaatimuksia. Taulukosta 6 saadaan IECC:n määrittelemät minimaalvaatimukset rakenteiden U-arvoille.

Taulukko 6. IECCn määrittelemät minimivaatimukset eri rakennetyypeille (15, s. 28.)

Rakennetyyppi	U-arvo, W/(m ² K)
Seinä	0,082
Betoniseinä	0,197
Puurunkoinen seinä	0,080
Yläpohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,035
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,060
Ikkuna	1,200
Kattoikkuna	0,750

3.3.4 Lämpö- ja kosteusolosuhteet

IECC määrittelee asuinrakennuksen sisäilman mitoitusolosuhteeksi taulukon 7 mukaiset suunnitteluarvot.

Taulukko 7. IECC:n määrittelemät mitoittavat sisäilman suunnitteluolosuhteet (15, s. 25)

Sisäilma, jäähdytys	24 °C RH 50 % ± 5 %
Sisäilma, lämmitys	22 °C RH 50 % ± 5 %

IECCssä ei ole selkeää mainintaa Abu Dhabin ilmastovyöhykkeelle määritellyistä ulkoilmanolosuhteista liittyen jäähdytyksen mitoitukseen, joten tässä tapauksessa oli turvauduttava ASHRAE Handbook Fundamentals (16) kirjassa esitettyihin suunnitteluarvoihin. Nämä määräykset ohjeistavat Abu Dhabin alueelle jäähdytyksen ulkoilman mitoitusolosuhteiksi DB 49,9 °C ja WB 23,2 °C sekä lämmityksen mitoittavaksi ulkoilmanlämpötilaksi 11,5 °C. (17, s. 27.52.)

Koska ASHRAE esittää jäähdytyksen mitoittavat ulkoilman olosuhteet ainoastaan kuivalämpötilana (DB, Dry Bulb) ja märkälämpötilana (WB, Wet Bulb), oli jäähdytystehontarpeen mitoittava ulkoilmanolosuhde määriteltävä ix-diagrammin avulla.

Liitteessä 2 on esitetty Mollier Sketcher 21.b:ssä luotu ix-diagrammi ASHRAEn ohjeistamien arvojen perusteella. Liitteestä voimme nähdä, että nämä arvot määrittelevät

jäähdytyksen mitoittavaksi ulkoilmanolosuhteeksi taulukon 8 mukaisen tuloksen. (17, s. 27.52.)(Liite 2.)

Taulukko 8. ASHRAEn määrittelemät jäähdytyksen mitoittavat ulkoilmanolosuhteet

Ulkoilma, jäähdytys	44,9 °C RH 15,6 %
---------------------	-------------------

Maaperän mitoittavaksi lämpötilaksi ei ollut selkeää mainintaa missään tässä työssä lähteenä käytetyissä rakentamismääräyksistä. Työn lopussa (luku 6.2) simuloitiin esimerkkirakennuksena käytetty Villa-huoneisto RIUSKA-ohjelmalla, joka on Granlund Oy:n kehittämä dynaaminen olosuhdelaskentaohjelma. RIUSKA-ohjelmassa määritelty mitoituspäivän mitoittava maaperänlämpötila Abu Dhabin alueelle oli 29 °C, joten samaa suunnitteluarvoa käytettiin tämän työn kaikissa vaiheissa. (18)

RIUSKA-laskentaohjelmaan asetetut mitoituspäivän säätietojen vakioasetusarvot perustuvat myös ASHRAEn määrittelemiin suunnitteluarvoihin. (19)

Chiller Oy:n kanssa yhteistyötä tekevä Abu Dhabissa työskentelevä LVI-suunnittelija on kuitenkin maininnut, että jäähdytysjärjestelmän mitoitukseen tulisi käyttää hieman ASHRAEstä poikkeavia arvoja, jotta jäähdytysjärjestelmä saadaan mitoitettua juuri oikeankokoiseksi. Paikallisen suunnittelijan ohjeistuksen mukaan jäähdytysjärjestelmän mitoitukseen tulisi käyttää taulukossa 9 esitettyjä arvoja. (20)

Taulukko 9. Abu Dhabissa työskentelevän LVI-suunnittelijan määrittelemät jäähdytysjärjestelmän mitoitukseen käytettävät suunnitteluolosuhteet.

Ulkoilma, jäähdytys	48 °C RH 35 %
Sisäilma, jäähdytys	24 °C RH 50 %

Tämän työn kaikissa laskentatapauksissa tehtiin vertailun vuoksi jäähdytysjärjestelmän mitoitus sekä ASHRAEn että paikallisen suunnittelijan määrittelemillä suunnitteluarvoilla. Laskentatapauksille käytettiin nimitystä mitoitusolosuhde 1, joka on ASHRAEn määrittelemä suunnitteluarvo (44,9 RH 15,6 %), sekä mitoitusolosuhde 2, joka on paikallisen LVI-suunnittelijan ohjeistama suunnitteluarvo (48 °C RH 35 %).

3.3.5 Ilmanvaihto

Koneellinen ilmanvaihto tulee suunnitella niin, että rakennuksessa on sekä tulo- että poistoilma. Tuloilman määrän tulee olla suunnilleen yhtä suuri kuin palautus- sekä poistoilman määrä, niin että järjestelmä ei tuota rakennukseen negatiivista tai positiivista ilmanpainetta. Järjestelmä tulee suunnitella ja asentaa International Mechanical Coden (IMC) luvun 6 mukaisesti. Raitisilman minimimäärä tulee määrittellä luvussa 3.5.6 osoitetulla tavalla. (21, s. 29.)

Poikkeustapauksissa voidaan raitisilman määrää pienentää vain niissä tapauksissa, joissa suunnittelun ammattilainen pystyy osoittamaan, että suunniteltu ilmanvaihtojärjestelmä pystyy poistamaan tehokkaammin ilman epäpuhtauksia pienemmällä ilmavirralla kuin luvussa 3.5.6 on esitetty. (21, s. 29.)

3.3.6 Ilmavirrat

IMC-standardissa on määritelty asuinrakennuksille vaaditut minimi-ilmavirrat tilakohtaisesti. Taulukossa 10 on esitetty standardin mukaiset tilakohtaiset minimi-ilmavirrat.

Taulukko 10. IMC standardin määrittelemät minimi-ilmavirrat rakennuksen eri tilatyypeille (21, s. 32)

Asuintilat	0,35 * tilavuus/tunnissa tai vähintään 7,1 dm ³ /s/ henkilö
Keittiö	1,27 dm ³ /s/m ²
Saniteettitilat (WC, suihku)	-2,0 dm ³ /s/m ²

4 Jäähdytystehontarpeen määrittely (Abu Dhabi)

IMC-standardi ohjeistaa, että jäähdytystehontarpeen määrittely tulee toteuttaa ACCA/ASHRAE 183 -standardin mukaisilla menetelmillä. IMC:n mukaan vaihtoehtoisesti voidaan rakennuksen kuormituslaskelmat määrittellä myös jollain toisella hyväksytyllä laskentamenetelmällä, käyttäen suunnitteluarvoja, jotka saadaan International Energy Conservation Codesta (IECC), luvusta 3. (21, s. 32.)

4.1 Standardien mukaiset ohjeet

IECC:n määrittelemät jäähdytystehontarpeen suunnitteluarvot on esitetty luvussa 3.3.

Alla on esitetty ACCA/ASHRAE 183 -standardin mukainen ohjeistus rakennuksen jäähdytystehontarpeen määrittelyä osalta. (22)

ACCA/ASHRAE 183 -standardi ohjeistaa seuraavasti:

- Sisäilman suunnitteluolosuhteet määräytyvät rakennuttajan, paikallisten määräysten tai mukavuuskriteerien mukaisesti.
- Jäähdytystehontarpeen määrittelyssä tulee ottaa huomioon ulkoilmanlämpötila ja kosteus, rakennuksen käyttötarkoitus, rakennuksen sijainti, vuodenaika sekä kellonaika.
- Jäähdytystehontarpeen määrittelyssä tulee ottaa huomioon auringonsäteily rakennuksen sijainnin, vuodenaikan, kellonaikan ja säteilyn suuntauksen perusteella.
- Laskennassa on otettava huomioon lämpökuormat, jotka tulevat konvektion, säteilylämmön ja termisen massan kautta.
- Jäähdytystehontarvelaskelmissa tulee määrittellä huippujäähdytysteho tietynä kuukauden päivänä ja kellonaikana.
- Tarkasteltaessa ikkunoiden kautta tulevaa lämpökuormaa tulee ottaa huomioon sekä säteilyn että konvektion kautta tapahtuva lämpökuorma.

- Ikkunoiden läpi tapahtuvaa lämpökuormaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon koko ikkunan rakenne (ikkunakarmit, kiinnitys jne.).
- Ikkunoiden läpi tapahtuvaa lämpökuormaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon sisäpuoliset varjostuskertoimet mahdollisista kaihtimista, ikkunasävyistä tai verhoista.
- Ikkunoiden läpi tapahtuvaa lämpökuormaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon ulkopuoliset varjostuskertoimet mahdollisista kaihtimista ja ikkunasuojista.
- Rakennuksen vaipan läpi tapahtuvaa lämpökuormaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon auringonsäteilyn sekä konvektion kautta tapahtuva kuorma. Laskentojen tulee käsitellä materiaalien lämmönjohtavuus sekä lämmönvarastointi ominaisuus. Laskennoissa tulee ottaa huomioon viive, jolla lämpökuorma pääsee rakenteen läpi.
- Rakennuksen jäähdytystehontarvelaskelmissa tulee ottaa huomioon erikseen sekä tuntuva että latentti lämpökuorma (kosteuden poisto), silloin kun rakennukseen tuodaan raitisilmaa (tai vuotoilmaa).
- Jäähdytystehontarvelaskelmissa tulee huomioida sisäiset lämpökuormat.
- Sisäisissä kuormissa tulee käsitellä tuntuva ja latenttilämpökuorma erillisinä kuormina.
- Tarkasteltaessa henkilöiden aiheuttamia lämpökuormia tulee ottaa huomioon henkilömäärät, aktiviteettitaso sekä henkilökuormien aikataulut.
- Valaistuksen ja laitteiden tuomia sisäisiä lämpökuormia tarkasteltaessa, tulee ottaa huomioon aikataulut ja käyttöasteet.

4.2 Jäähdytystehontarpeen laskenta

Lähtötiedot sekä yhteistyö paikallisten suunnittelijoiden kanssa on osoittanut, että ainakin juuri Arabiemiirikunnissa on usein tapana ylimitoittaa rakennuksen jäähdytysjärjestelmä. Ylimitoidettu jäähdytysjärjestelmä johtaa usein hyvin energiatehottomaan lopputulokseen, eli turhaan sähkönkulutukseen. Ylimitoidettu jäähdytysjärjestelmä voi myös lyhentää huomattavasti esimerkiksi kylmälaitoksissa käytettävien kompressorien elinkaarta lyhytjaksoisien käyntiaikojen sekä liian tiuhaan toistuvien käynnistysten vuoksi.

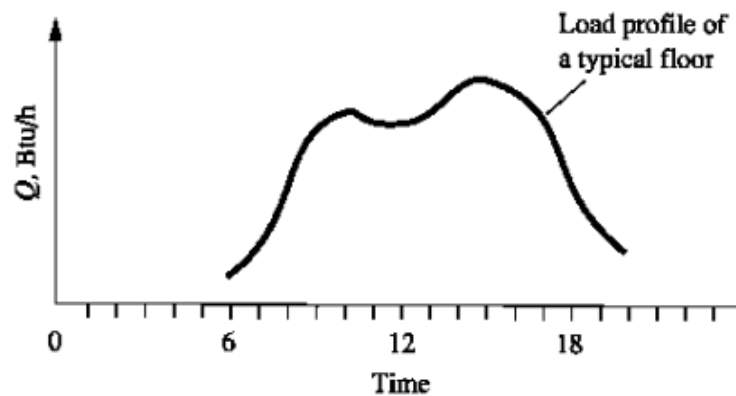
Ylimitointi johtuu luultavasti siitä, että käytännössä usein ainakin pienempien ja keskikokoisten rakennusten jäähdytystehontarvelaskelmat määritellään ainoastaan tilakohtai-

sesti tilan huippukuormituksen mukaan. Laskelmat myös tehdään ainoastaan ns. manuaalisesti staattista laskentamenetelmää käyttäen, niin että jätetään luvussa 4.1 esitettyjä standardien mukaisia ohjeita huomioimatta. Tämän jälkeen rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve määritellään vain ja ainoastaan laskemalla yhteen tilakohtaiset huippukuormat, mikä kuitenkin todella harvoin toteutuu käytännössä.

Todellisuudessa rakennuksen kaikkiin tiloihin ei kohdistu juuri koskaan suurinta huippukuormaa samanaikaisesti. Esimerkiksi auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma seiniin ja ikkunoiden kautta tiloihin kohdistuu rakennuksen eri osiin aina eri aikaan päivästä, ja tämä on hyvinkin merkittävä tekijä juuri Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä. Kun aurinko nousee idästä ja laskee länteen, tarkoittaa tämä, että auringon aiheuttama säteilylämpökuorma on suurin rakennuksen itäpuolen tiloihin aamun/aamupäivän aikana. Länsipuolen tiloihin taas kohdistuu suurin säteilylämpökuorma iltapäivällä/alkuillasta.

(23)

Kuvassa 4 on esitetty tyypillinen rakennukseen tai tilaan vaikuttava vuorokautinen lämpökuormaprofiili.



Kuva 4. Tyypillinen rakennukseen tai tilaan vaikuttava vuorokautinen lämpökuormaprofiili (pysty-akseli kuvastaa jäähdytystehoa, vaaka-akseli kuvastaa aikaa) (23)

Rakennuksen jäähdytystehontarvelaskelmat tulisi aina toteuttaa kahdella eri tavalla niin, että tilakohtaiset jäähdytyslaitteet mitoitetaan tilan huippukuorman mukaisesti. Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve tulisi taas määritellä tietokonepohjaisella dynaa-

misella laskentaohjelmalla, joka ottaa huomioon luvussa 4.1 esitetyt asiat sekä mitoituspäivän hetken (tunti x), jolloin rakennusta kuormittaa suurin mahdollinen lämpökuorma samanaikaisesti.

Useissa englanninkielissä jäähdytystehontarvelaskentaoppaissa käytetään edellä mainituille käsitteille termejä ”*Peak Load*”, ”*Block Load*” ja ”*Peak Time*”.

Peak load (suora suomennos ”huippukuorma”), tarkoittaa kuormitushetkeä, jolloin rakennusta, tilaa tai kerrosta kuormittavat kaikki mahdolliset lämpökuormaa aiheuttavat tekijät maksimikuormitusteholla samanaikaisesti (aurinko, ulkoilman olosuhde, ihmiset, valaistus, laitteet ja ilmanvaihto). (23)

Block load (suora suomennos ”lohkokuorma”), on ns. samanaikaisuuskuorma, jolla tarkoitetaan kuormitushetkeä, jolloin rakennusta, tilaa tai kerrosta kuormittavat suurin määrä lämpökuormaa aiheuttavia tekijöitä eri kuormitustehoilla samanaikaisesti (aurinko, ulkoilman olosuhde, ihmiset, valaistus, laitteet ja ilmanvaihto). (23)

Peak time (suora suomennos ”huippuaika”), tarkoittaa yleisesti hetkeä mitoituspäivänä (tunti x), jolloin rakennukseen tai tilaan vaikuttaa suurin mahdollinen lämpökuorma.

Ilmanvaihtojärjestelmän maksimi tuloilmamäärä määritellään rakennuksen, tilan tai kerroksen *peak load* -jäähdytystehontarvelaskentatuloksien perusteella. Jos rakennuksessa on useampi ilmanvaihtokone, tulee kyseisen rakennuksen osan, tilan tai kerroksen tuloilmamäärä määritellä *block load* -jäähdytystehontarvelaskentatuloksien perusteella. Tiloihin, joihin tuodaan muuttuvailmavirtaista tuloilmaa ja jonka lisäksi käytetään erillistä tilajäähdytystä, tulisi tuloilmakoneen jäähdytyspatterin teho sekä tilan lisäjäähdytyksen tehontarve määritellä *block load* -laskentamenetelmällä, käyttämällä kyseisen ilmanvaihtokoneen palvelualueita vastaavia lähtötietoja. (23)

4.3 Tilakohtainen jäähdytystehontarve, staattinen laskenta

Huonekohtainen jäähdytystehontarpeen määrittely, eli tilalaitteen mitoitus, voidaan suorittaa manuaalisesti staattisella laskentamenetelmällä. Tilakohtaiset jäähdytyslaitteet

tulee aina mitoittaa sille hetkelle, jolloin tilaan vaikuttavat kaikki mahdolliset lämpökuormaa aiheuttavat tekijät samanaikaisesti maksimiteholla. (23)

Kyseisen laskentatavan voidaan siis periaatteessa käsittää pohjautuvan aiemmin mainittuihin *peak load*- ja *peak time* -ajatustapaan, eli mitoituspäivän tunti x , jolloin tilaan vaikuttaa auringonsäteilyn, ulkoilman lämpötilaeron, vuotoilman sekä kaikkien sisäisten kuormien aiheuttamat lämpökuormat maksimiteholla.

Tämäntapaisessa kuormituslaskennassa tulee ottaa huomioon vähintään seuraavat asiat:

- ulko- ja sisäilman mitoitusolosuhteet
- maksimi henkilökuorma
- maksimi valaistus- ja laitekuorma
- auringon aiheuttama säteilylämpökuorma ikkunoiden kautta
- ikkunoiden varjostuskertoimet sekä mahdolliset kaihtimet
- rakenteiden ja ikkunoiden läpi tapahtuvat johtumiskuormat
- vuotoilman aiheuttama lämpökuorma tilan maksimipoistoilmamäärällä.

Tilakohtainen kokonaisjäähdytystehontarve saadaan laskemalla yhteen tilaan vaikuttavat lämpökuormat. Tilan jäähdytystehontarve voidaan määrittellä kaavan 1 mukaisella tavalla. (24)

$$\Phi_{kok} = \Phi_{joht} + \Phi_{vuoto} + \Phi_{sis} + \Phi_{aur} \quad (1)$$

jossa

Φ_{kok}	on tilan kokonaisjäähdytystehontarve
Φ_{joht}	on rakenteiden kautta johtumislämpökuorma
Φ_{vuoto}	on vuotoilman aiheuttama lämpö- ja kosteuskuorma
Φ_{sis}	on sisäisten kuormien aiheuttama lämpökuorma
Φ_{aur}	on auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma (ikkunat)

Tilan jäähdytystehontarve lasketaan siis käytännössä samalla logiikalla kuin lämmitystehontarve, mutta laskentaan käytetään eri suunnitteluarvoja, huomioidaan mahdollinen kosteudenpoistoon tarvittu jäähdytystehontarve sekä käsitellään auringonsäteily ikkunan kautta tilaan haitallisena lämpökuormana.

Luvuissa 4.3.1—4.3.5 on esitetty tilaan vaikuttavat eri lämpökuormatyypit sekä kuormien määrittelyyn käytettävät laskentamenetelmät.

4.3.1 Rakenteiden kautta aiheutuvat johtumislämpökuormat

Rakenteiden kautta aiheutuvat johtumislämpökuormat saadaan laskemalla yhteen kaikkien rakennusosien lämpöhäviöt. Johtumislämpökuormat saadaan laskettua kaavan 2 mukaisella laskentamenetelmällä. (24)

(2)

$$\Sigma \emptyset joht = \Sigma(U, ulkoseinä * A, ulkoseinä * \Delta T) + \Sigma(U, yläpohja * A, yläpohja * \Delta T) + \Sigma(U, alapohja * A, alapohja * \Delta T) + (U, ikkuna(t) * A, ikkuna(t) * \Delta T) + \Sigma(U, ovi * A, ovi * \Delta T)$$

jossa

$\Sigma \emptyset joht$ rakenteiden kautta aiheutuva yhteenlaskettu kokonaisjohtumislämpökuorma (W)

U rakenteen lämmönläpäisykerroin ($\frac{W}{m^2K}$)

A rakennusosien pinta-ala (m^2)

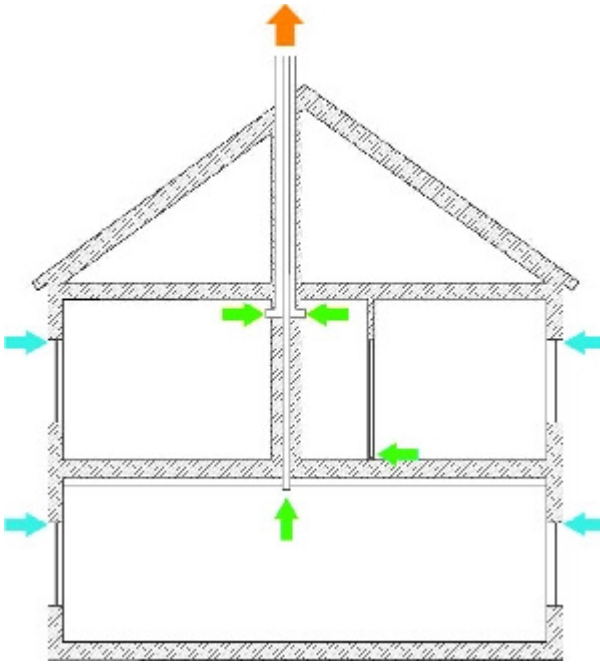
4.3.2 Vuotoilman aiheuttama lämpö- ja kosteuskuorma

Vuotoilmalla tarkoitetaan rakennuksen tai tilan ulkovaipan kautta hallitsemattomasti kulkeutuvaa ilmapirtaa. Vuotoilmapirta voi tapahtua joko sisään tai ulos. Jos vuotoilmapirta kulkee ulkoilmasta sisätilaan (alipaine), tällöin tarvitaan jäähdytysteho poistamaan siitä aiheutunut lämpö- ja kosteuskuorma.

Vuotoilmapirta aiheutuu tuulen ja lämpötilan aiheuttamasta paine-erosta. Vuotoilmapirtaan vaikuttaa mm. rakennuksen vaipan tiiveys, rakennuksen sijainti sekä ilmanvaihdon toteutustapa. (25)

Vuotoilman aiheuttama lämpö- ja kosteuskuorma tulee laskea käyttämällä ilman entalpiaeroja lämpötilaeron sijaan. Näin saadaan huomioon otettua myös kosteuden poistoon tarvittu jäähdytysteho, eli tilaan vaikuttava latenttikuorma. (24)

Jos rakennuksessa on ainoastaan poistoilmapuhallin, tulee rakennuksen vuotoilmapirtaksi valita samansuuruinen ilmapirta kuin poistopuhaltimen maksimi-ilmapirta. Kuvassa 5 on havainnollistettu poistoilmapuhaltimen aiheuttamaa vuotoilmapirtaa rakennuksen sisätiloihin.



Kuva 5. Poistoilmapuhaltimen aiheuttama vuotoilmavirta rakennukseen sisätiloihin.

Vuotoilman aiheuttama lämpö- ja kosteuskuorma saadaan määriteltä kaavan 3 mukaisella laskentamenetelmällä. (24)

$$\Phi_{vuoto} = \rho * C_p * q_v * \Delta h \quad (3)$$

jossa

Φ_{vuoto}	vuotoilman aiheuttama lämpö- ja kosteuskuorma
ρ	ilman tiheys, $1,2 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
C_p	ilman ominaislämpökapasiteetti, $1 \left(\frac{kJ}{kg}\right)$
q_v	vuotoilmavirta, $\left(\frac{m^3}{s}\right)$
Δh	ilman entalpiaero, $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

4.3.3 Sisäiset lämpökuormat

Sisäisinä lämpökuormina käsitetään yleisesti valaistus, laitteet ja ihmiset. Sisäiset lämpökuormat saadaan määriteltä kaavan 4 mukaisella laskentamenetelmällä. (24)

$$\Phi_{sis} = \Phi_{val} + \Phi_{laite} + \Phi_{henk} \quad (4)$$

jossa

\emptyset_{sis}	yhteenlasketut sisäiset lämpökuormat (W)
\emptyset_{val}	valaistuksen aiheuttama lämpökuorma (W)
\emptyset_{laite}	laitteiden aiheuttamat sisäiset lämpökuormat (W)
\emptyset_{henk}	henkilöiden aiheuttamat lämpökuormat (W)

4.3.4 Auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma (ikkunat)

Auringon säteily tuottaa huomattavia määriä lämpökuormaa suojaamattoman ikkunan läpi (ilman kaihtimia tai verhoja). Kirjallisuudessa on esitetty on taulukoita, joissa on arvioitu suurin auringon tuottama säteilylämpökuorma ikkunan kautta kuukauden ja tunnin perusteella. Taulukoista pitää osata valita oikea arvo mitoitettavan rakennuksen sijainnin (pohjoista tai eteläistä leveysastetta) sekä mitoitettavan kuukauden perusteella.

Taulukot on jaettu leveysasteille (pohjoinen ja eteläinen) 60° , 50° , 40° , 30° , 20° , 10° sekä 0° . Siinä esitetyt tehoarvot kuvastavat kirkasta auringonpaistetta (pilvetön taivas) yksinkertaisen lasin kautta. (26)

Kuten luvussa 3.1 esitettiin, Abu Dhabin sijainti maapallolla on Lat. $24^\circ 28'N$ Long $54^\circ 22'E$. Työssä tarkasteltiin arvoja taulukosta 30° pohjoista leveyttä, sekä päivää elokuun 24., joka on lähimpänä Abu Dhabissa käytettyä jäähdytystehontarpeen mitoituspäivää. Abu Dhabissa jäähdytystehontarvelaskennan mitoituspäivä on elokuun 18. (18)

Taulukossa 11 on esitetty auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma kirkkaan yksinkertaisen ikkunan kautta (30° pohjoista leveysastetta, elokuun 24.). Tilaan vaikuttava auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma tulee valita tilan ikkunan suuntauksen perusteella. Samassa taulukossa on myös esitetty kellonaika, jolloin maksimin lämpökuorman on arvioitu kohdistuvan tilaan. (26)

Taulukko 11. Auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma kirkkaan yksinkertaisen lasin kautta sijainnil-
la 30° pohjoista leveysastetta, elokuun 24 (26).

Suuntaus	Lämpökuorma (W/m ²)	Kuukausi/päivä	Kellonaika
Pohjoinen, 0°	44	elokuun 24.	11:00–13:00
Koillinen, 45°	340	elokuun 24.	07:00
Itä, 90°	520	elokuun 24.	08:00
Kaakko, 135°	406	elokuun 24.	09:00
Etelä, 180°	198	elokuun 24.	12:00
Lounas, 225°	406	elokuun 24.	15:00
Länsi, 270°	520	elokuun 24.	16:00
Luode, 315°	340	elokuun 24.	17:00
Vaakataso	741	elokuun 24.	12:00

Samassa lähteessä oli myös esitetty korjauskertoimia mm. eri lasityypeille ja kaihtimil-
le. Taulukossa 12 on esitetty muutamia esimerkkejä yleisimmistä korjauskertoimista.
(26)

Taulukko 12. Korjauskertoimia muutamille eri perus ikkunatyypeille ja kaihtimille (26).

Ikkuna, lasi	Ilman kaihtimia	Sisäpuoliset kaihtimet (tummat)	Ulkopuoliset kaihtimet (vaaleat)
Kirkas	1	0,74	0,15
2-kertainen	0,90	0,67	0,14
3-kertainen	0,83	0,64	0,12
Eristyslasi (Solarpane)	0,43	0,41	-

Nykyään ikkunan valmistajat ilmoittavat lähes aina valmistamalleen ikkunalle aurin-
gonsäteilyn läpäisykertoimen, mutta joskus voi tulla vastaan tilanteita, joissa joudutaan
turvautumaan yleisiin taulukkoarvoihin.

Käyttämällä taulukossa 11 annettuja lämpökuormia sekä taulukon 12 mukaisia kertoimi-
a voidaan ikkunan kautta aiheutuva säteilylämpökuorma tilaan laskea kaavan 5 mu-
kaisesti.

$$\Phi_{aur.} = A, ikkuna * \Phi_{sät.} * g, sät. * g, var. \quad (5)$$

jossa

$\Phi_{aur.}$	auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma tilaan (W)
$A, ikkuna$	ikkunan pinta-ala (m^2)
$\Phi_{sät.}$	auringonsäteilyn aiheuttama lämpökuorma ikkunan kautta ($\frac{W}{m^2}$)
$g, sät.$	ikkunan läpäisykerroin ($\frac{\%}{100}$)
g, var	mahdollisen kaihtimen tai aurinkolipan peittoala ($\frac{\%}{100}$)

4.4 Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve, dynaaminen laskenta

Mahdollisimman energiatehokkaan rakennuksen saavuttamiseksi, tulisi kokonaisjäähdytystehontarpeen määrittely aina pyrkiä toteuttamaan dynaamisen laskentaohjelman avulla, jossa voidaan ottaa huomioon luvussa 4.1 esitetyt asiat.

Dynaamiseen laskentaohjelmaan tulee tehdä kohderakennuksesta rakennustietomalli (3D-mallinnus), jolloin ohjelma käytännössä toimii seuraavalla periaatteella:

Rakennuksen muoto, sisältö ja suuntaus sekä ulkovaipassa olevat ”aukot” (ikkunat, ovet, rakenteiden liitoskohdat) yhdistetään haluttuun ilmastomalliin (säädään). Tämän jälkeen ohjelmaan voidaan syöttää lisätietoja rakennuksen valaistuksesta, sisäilmavaa- timuksista, ilmanvaihtomäärästä sekä tilojen ja kaikkien edellä mainittujen järjestelmien ja laitteiden käyttö- sekä aikataulukuoormista. Laskentaohjelmat pystyvät käsittelemään rakennuksen ja laitteiden käyttö- sekä kuormitusaikatauluja tunti-, päivä-, viikko-, kuu- kausi- sekä vuositasolla. (27)

Tämänkaltaisella ohjelmalla pystytään simuloimaan rakennuksen kokonaisjäähdytyste- hontarvetta hyvinkin tarkasti.

On olemassa useita eri dynaamisia olosuhdelaskentaohjelmia, joilla voidaan määrittellä rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve. Tässä työssä päädyttiin käyttämään Gran-

lund Oy:n kehittämää RIUSKA-olosuhdelaskentaohjelmaa. Tähän ratkaisuun päädyttiin siitä syystä, että ohjelma oli koulussa pidetyn kurssin myötä jo jonkin verran tuttu entuudestaan, ja lisäksi ohjelman käyttö oli mahdollista jo aikaisempina kouluvuosina hankitulla MagiCad-opiskelijalisenssillä. RIUSKA-ohjelmaa sekä muita yleisiä asioita liittyen dynaamiseen laskentaan käsitellään luvussa 4.4.2.

4.4.1 Dynaaminen laskenta

Rakennuksen kaikissa suunnitteluvaiheissa tulisi aina ottaa huomioon valintojen ja päätösten vaikutus lopputulokseen, eli rakennukseen ja sen energiankulutukseen. Jotta rakennuksen energiankulutusta voidaan ymmärtää ja hallita paremmin, tulee huomiota kiinnittää rakennuksen kaikkiin aspekteihin kuten rakennuksen termiseen massaun, geometriaan, pääkäyttäjään, valaistukseen, sähkölaitteisiin ja muihin teknisiin järjestelmiin. Hyvin tärkeää on myös huomioida aurinkoenergia ja aurinkokuorma, ulkolämpötila sekä ympäristön keskinäisten suhteiden dynamiikka vuoden jokaisena tuntina. (27)

Suurin ja myös tärkein ero dynaamisen simuloinnin ja tavanomaisen laskentamenetelmien välillä on se, että dynaaminen simulointi ottaa huomioon materiaalien ”termisen muistin” sekä pystyy ottamaan huomioon auringon suuntauksen ja kaltevuuskulman eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Dynaamisessa laskennassa otetaan myös huomioon rakennuksen käyttöajat sekä muiden teknisten järjestelmien toiminta ja toiminta-/käyttöaikataulut. (27)

Dynaamisten laskentaohjelmien tulokset voidaan usein tulostaa ja lukea visuaalisina kuvaajina taulukkomuodossa.

Tämänkaltaisen kokonaisvaltaisen analysoinnin ansiosta voidaan dynaamisilla laskentatyökaluilla ottaa huomioon useita eri asioita rakennuksen kaikissa vaiheissa. Dynaamisesta laskentatyökalua voidaan käyttää jo heti projektin alkuvaiheissa, jolloin voidaan simuloida tilanteita, järjestelmien toimintaa ja vaikutusta sekä saada huomattavaa apua siihen, eteneekö projekti oikeaan suuntaan. Dynaamisesta laskentatyökalusta on siis huomattavaa apua jo heti rakennuksen ensisuunnitteluvaiheista, aina lopullisiin yksi-

tyiskohtaisiin mittaustietoihin sekä Suomessa vaaditun energiatodistuksen myöntämiseen asti. (27)

4.4.2 RIUSKA- olosuhde- ja energialaskentaohjelma

RIUSKA on hyvin monipuolinen energia- ja olosuhdesimulointiohjelma. Ohjelmalla pystytään laskemaan tietomallin (BIM) avulla rakennuksen ja sen tilojen lämpötekniisiä arvoja erilaisissa kuormitus- ja sääolosuhteissa. RIUSKA-ohjelmaa voidaan käyttää mm. seuraaviin tarkoituksiin (28):

- tavoitteenmukaisuuden varmistus
- tilojen lämpötilat kesällä ja talvella
- sisäilmaston laatutasojen vertailu
- arkkitehtiratkaisujen vertailu (ikkunat, ikkunasuojat, julkisivuratkaisut)
- järjestelmien vertailu ja mitoitus
- ongelmatilanteiden analysointi
- rakennuksen ja taloteknisten järjestelmien energiankulutus
- ylläpidon tavoitekulutus.

RIUSKAlla pystytään laskemaan tunneittain vuotuinen energiankulutus, tilojen lämpötilat sekä niiden lämmitys- ja jäähdytystarve. Ohjelma pystyy hyödyntämään tietomalleja IFC-muodossa (import/export). (28)

Ohjelmaan voidaan määrittää muun muassa simuloitavan rakennuksen rakennetyypit, rakenteiden massiivisuus ja koostumus, paikkakunnan vuosisääolosuhteet, mitoituspäivän säätiedot, lämpökuormat sekä käyttöajat (rakennus, ilmanvaihto, sisäiset kuormat).

RIUSKAN käyttämä vuosisäädata pohjautuu Meteonorm-ohjelman säädataan, ja lopputuloksissa on otettu huomioon lämmönvarastoituminen rakenteisiin sekä auringonsuuntauksen muutos. (19)

Kuvassa 6 on esitetty RIUSKA-ohjelman perusnäkyminen tietokoneen näytöllä.

5 Villa-huoneisto (Abu Dhabi)

Tämän työn laskentatapauksissa käytettiin esimerkkirakennuksena erästä Villa-huoneistotyypistä loma-asuntoa, joka sijaitsee Abu Dhabissa. Kyseiset Villa-huoneistot ovat todellisia kohteita, jotka ovat parhaillaan rakennusvaiheessa.

Liitteessä 4 on esitetty pelkistetyt rakennuksen pohjakuvat ja luvussa 5.1 (kuva 7) RIUSKA-ohjelmaa varten piirretty 3D-rakennustietomalli kyseisestä Villa-huoneistosta.

Rakennuksen pohjakuvat liitteessä 3 on piirretty alkuperäisten LVI-piirrosten mukaisesti, ja rakennuksen muut lähtötiedot ovat peräisin alkuperäisistä projektiin liittyvistä dokumenteista. Työn toimeksiantajan pyynnöstä alkuperäiset projektidokumentit on tässä insinööriyössä luokiteltu salassa pidettäväksi aineistoksi.

5.1 Rakennuksen lähtötiedot

Alla on esitetty alkuperäisistä projektidokumenteista peräisin olevat Villa-huoneiston lähtötiedot. Rakennuksen saniteettitiloja ei ole huomioitu jäähdytystehontarvelaskelmissa. Pinta-alaksi jäähdytystehontarvelaskelmissa on määritetty 432,8 m².

• Sijainti	Arabiemiirikunnat, Abu Dhabi
• Rakennuksen tyyppi	Villa-huoneisto/loma-asunto
• Kerrokset	2
• Kerroskorkeus	3,28 m
• Huonekorkeus	3 m
• Pinta-ala	484 m ²
• Tilavuus	1452 m ³
• Käyttöaika	7 päivää viikossa, 24h
• Henkilömäärä	6 kpl

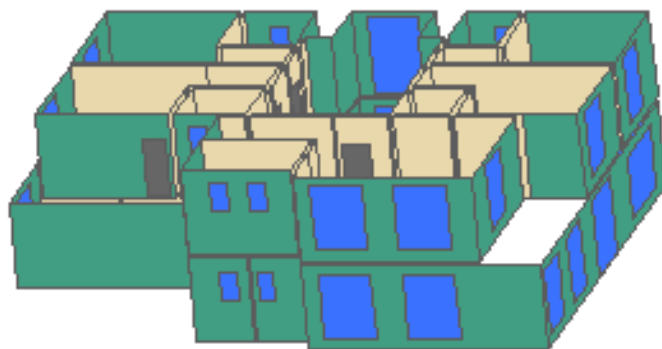
- Rakennuksen kokonaisjäähdytysteho: 57,76 kW
- Rakennuksen tuntuva jäähdytysteho: 45,07 kW

Rakennuksen alkuperäinen ilmanvaihtosuunnitelma on toteutettu ainoastaan saniteettitilojen ja keittiön kautta tapahtuvalla poistoilmalla, jonka yhteenlaskettu maksimi poistoilmavirta on 339 dm³/s. Tämä johtaa siihen, että rakennuksen vuotoilmamäärä on sama kuin rakennuksen poistoilmamäärä, eli mitattavan Villa-huoneiston laskennallinen vuotoilmavirta on:

$$339 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,7004 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2 = 1220,4 \text{ m}^3/\text{h} \sim 0,84 \text{ l/h.}$$

Lähtötiedoissa esitetyt rakennuksen kokonais-, sekä tuntuva jäähdytystehontarve on määriteltä laskemalla yhteen huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet. Alkuperäisissä projektidokumenteissa ei ole kerrottu, missä ulkoilmanolosuhteissa kyseiset jäähdytystehontarvelaskelmat on tehty, joten laskelmat suoritettiin sekä ASHRAEn (44,9 °C/RH 15,6 %) että paikallisen LVI-suunnittelijan (48 °C/RH 35 %) ohjeistamalla suunnitteluolosuhteilla. Näin saatiin käsitys siitä, missä ulkoilmanolosuhteissa Abu Dhabissa todellisuudessa on tapana mitoittaa tilojen sekä rakennusten jäähdytystehontarve.

Kuvassa 7 on esitetty kohteena ollut Villa-huoneisto 3D-piirroksena, joka tehtiin RIUSKA-olosuhdesimulointiohjelmalla varten.



Kuva 7. Villa-huoneiston 3D-rakennustietomalli RIUSKA-ohjelmassa

5.2 Rakennuksen tilat

Rakennuksen tilat sijaitsevat kahdessa eri tasossa. Taulukoissa 13 & 14 on esitetty Vila-huoneiston tilat kerroksittain. Taulukoissa on esitetty huoneen numero, tyyppi sekä pinta-ala. Tilaluettelot ovat yhtenäisiä liitteessä 4 esitettyjen pohjakuvien kanssa.

Taulukko 13. Rakennuksen tilat, 1. kerros, pinta-ala 258 m²

Huonenumero	Huonetyyppi	Pinta-ala (m ²)
101	Kodinhoitajan huone	12,9
102	Keittiö	31,9
103	Toimisto/vierashuone	23,6
104	WC	6,1
105	Pesuhuone	4,0
106	WC	3,4
107	Olohuone/ruokailutila	172,8
108	WC	2,9

Taulukko 14. Rakennuksen tilat, 2. kerros, pinta-ala 226 m²

Huonenumero	Huonetyyppi	Pinta-ala (m ²)
201	Makuuhuone	26,3
202	WC	7,7
203	Makuuhuone	27,5
204	WC	6,3
205	WC	10,4
206	Päämakuuhuone	46,2
207	WC	4,5
208	Makuuhuone	24,7
209	WC	5,9
210	Makuuhuone	23,6
211	Olohuone	43,2

5.3 Rakenteiden U-arvot

Rakennuksen alkuperäisissä projektidokumenteissa annettiin taulukon 15 mukaiset lähtötiedot koskien rakenteiden U-arvoja. Ikkunoiden auringonsäteilyn läpäisyksi oli ilmoitettu 40 %.

Taulukko 15. Villa-huoneiston rakenteiden U-arvot

Rakenne	U-arvo, W/(m ² K)
Ulkoseinät	0,51
Yläpohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,51
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,37
Ikkunat	3,30
Ulko-ovet (oletus)	2,00

6 Villa-huoneiston jäähdytystehontarvelaskennan tulokset

Jäähdytystehontarvelaskelmat toteutettiin huoneiden ja rakennuksen osalta tässä työssä esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Laskennat tehtiin kaikissa tapauksissa kahden jo aiemmin mainitun eri suunnitteluolosuhteiden mukaisesti, eli mitoitusolosuhde 1 (ASHRAE, 44,9 °C/RH 15,6 %) sekä mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %). Sisäilman mitoitusolosuhteeksi oli määritetty kaikissa laskentatapauksissa 24 °C/RH 50 %.

Jäähdytystehontarvelaskelmissa jätettiin saniteettitilat kokonaan huomioimatta, koska näin oli tehty myös alkuperäisissä projektidokumenteissa. Näin lopputulokset saatiin vertailukelpoisiksi.

6.1 Huonekohtainen jäähdytystehontarve, staattinen laskenta

Huonekohtainen jäähdytystehontarve toteutettiin luvussa 4.3 esitetyllä menetelmällä. Itse laskentaprosessi toteutettiin tekemällä niin sanottu manuaalinen ”jäähdytystehontarpeen laskentatyökalu” Microsoft Excel -ohjelman avulla. Excelpohjainen laskuri käsitteli rakennuksen jokaisen huoneen omana tilanaan. Laskennan tulokset perustuvat huonekohtaisiin lähtötietoihin, sekä tässä työssä aiemmin esitettyihin mitoitusarvoihin.

Käytetty ”jäähdytystehontarvelaskentatyökalu” toteutettiin niin, että lopputulos saatiin sekä kokonais- että tuntuvana jäähdytystehontarpeena. Kokonais- ja tuntuvan jäähdytystehontarpeen tulokset on esitetty jokaisen laskentatapausta käsittelevän alaluvun lopussa.

6.1.1 Mitoitusolosuhde 1 (ASHRAE)

Taulukossa 16 on esitetty 1. kerroksen huonekohtaiset jäähdytystehontarvelaskentatulokset. Huoneiden sijainnit rakennuksessa on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 16. Huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet 1. kerros, mitoitusolosuhde 1

Huonenumero	Huonetyyppi	Kokonaisjäähdytystehontarve (W)
101	Kodinhoitajan huone	1287
102	Keittiö	4165*
103	Toimisto/vierashuone	2286
107	Olohuone/ruokailutila	15193

*Keittiössä 102 on huomioitu oletettu 2,5 kW sähköliesi

$\emptyset 1$ krs. yhteensä (W) = 22931

Taulukossa 17 on esitetty 2 kerroksen huonekohtaiset jäähdytystehontarvelaskentatulokset. Huoneiden sijainnit rakennuksessa on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 17. Huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet 2. kerros, mitoitusolosuhde 2

Huonenumero	Huonetyyppi	Kokonaisjäähdytystehontarve (W)
201	Makuuhuone	2555
203	Makuuhuone	2605
206	Päämakuuhuone	4731
208	Makuuhuone	2280
210	Makuuhuone	2241
211	Olohuone	2753

$\emptyset 2$ krs. yhteensä (W) = 17165

Rakennuksen yhteenlaskettu kokonais- ja tuntuva jäähdytystehontarve huonekohtaisella laskentamenetelmällä tuotti seuraavat tulokset:

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve (kW) ~ 40,30

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve (kW) ~ 40,15

Rakennukseen vaikuttava latenttikuorma (W) ~145,5

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve $\left(\frac{W}{m^2}\right) \sim 93,1$

6.1.2 Mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)

Taulukossa 18 on esitetty 1 kerroksen huonekohtaiset jäähdytystehontarvelaskentatulukset. Huoneiden sijainnit rakennuksessa on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 18. Huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet 1. kerros, mitoitusolosuhde 2

Huonenumero	Huonetyyppi	Kokonaisjäähdytystehontarve (W)
101	Kodinhoitajan huone	1816
102	Keittiö	5410*
103	Toimisto/vierashuone	2919
107	Olohuone/ruokailutila	22901

*Keittiössä 102 on huomioitu oletettu 2,5 kW sähköliesi

$\emptyset 1 \text{ krs. yhteensä (W)} = 33046$

Taulukossa 19 on esitetty 2. kerroksen huonekohtaiset jäähdytystehontarvelaskentatulukset. Huoneiden sijainnit rakennuksessa on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 19. Huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet 2. kerros, mitoitusolosuhde 2

Huonenumero	Huonetyyppi	Kokonaisjäähdytystehontarve (W)
201	Makuuhuone	3642
203	Makuuhuone	3739
206	Päämakuuhuone	6679
208	Makuuhuone	3269
210	Makuuhuone	3425
211	Olohuone	4495

$\emptyset 2$ krs. yhteensä (W) = 25249

Rakennuksen yhteenlaskettu kokonais- ja tuntuva jäähdytystehontarve huonekohtaisella laskentamenetelmällä tuotti seuraavat tulokset:

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve (kW) ~ 58,3

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve (kW) ~ 41,5

Rakennukseen vaikuttava latenttikuorma (W) ~16 800

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve $\left(\frac{W}{m^2}\right) \sim 132,9$

6.2 Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve, dynaaminen laskenta

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve simuloitiin RIUSKA-laskentaohjelmalla. Rakennuksen lähtötiedoiksi syötettiin luvussa 5.1 esitetyt asiat, sekä lisättiin mahdollisimman tarkat ”loma-asunnolle” tyypilliset käyttöasteet ja aikataulut.

RIUSKAN antamia lopputuloksia tarkastellaan ainoastaan kokonaisjäähdytystehontarpeen osalta.

6.2.1 RIUSKA-ohjelmaan syötetyt lähtöarvot ja asetukset

Ennen laskennan alkua tehtiin RIUSKA-laskentaohjelmaan seuraavat toimenpiteet ja asetukset:

- RIUSKA-ohjelmaan tuotiin kohderakennuksen IFC-tietomalli, joka piirrettiin MagiRoom-ohjelmalla alkuperäisten pohjakuvien sekä rakennuksen muiden lähtötietojen mukaisesti. Rakennuksen tietomalli on esitetty kuvassa 7.
- Ohjelmaan asennettiin Abu Dhabin säädata
- Mitoituspäiväksi valittiin elokuun 18. sekä päivän minimi- ja maksimiulkoilmanolosuhteet laskentatapauksen mukaisesti (mitoitusolosuhde 1 ja 2)
- Rakennuksen rakenteet valittiin lähtötietojen perusteella
- Rakenteiden U-arvot muokattiin luvun 5.3, taulukon 14 mukaisesti
- ikkunan auringonsäteilyn läpäisykerroin luvun 5.3 mukaisesti (40 %)
- Oletetun aurinkolipan peittoalaksi arvioitiin 30 % (ohjelmalla pyritään simuloimaan mahdollisimman todellista tilannetta). Todellisuudessa osa verhoista on useimmiten kiinni suoran auringonpaisteen aikaan, joten tätä kompensoitiin sillä. Verhoja ei tässä tapauksessa huomioida.)
- Rakennuksen käyttöasteeksi määritettiin ma–su (24 h/vrk) 50 %
- Ilmanvaihdon käyttöasteeksi määritettiin ma–su (24 h/vrk) 100 %
- Vuotoilmamäärä oli 0 (vuotoilma simuloidaan tuloilmankautta)
- Tuloilmamäärä oli $0,7 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ (simuloi luvussa 5.1 määriteltyä vuotoilmavirtaa).
- Laitekuormat olivat $3 \text{ W}/\text{m}^2$ (oletus), käyttöaste ma–su (24 h/vrk) 50 %. Keittiöön lisättiin oletettu 2,5 kW sähköliesi, käyttöaste ma–su 09–11, 13–16, 50 %
- Henkilökuormat olivat 6 henkilöä = $0,012 \text{ W}/\text{m}^2$, käyttöaste: Holiday profile 8–17
- Valaistuskauormat olivat $8 \text{ W}/\text{m}^2$ (oletus), käyttöaste ma–su (24 h/vrk) 50 %
- Tuloilman lämpötila oli $24 \text{ }^\circ\text{C}$ (sama kuin sisäilman lämpötila)

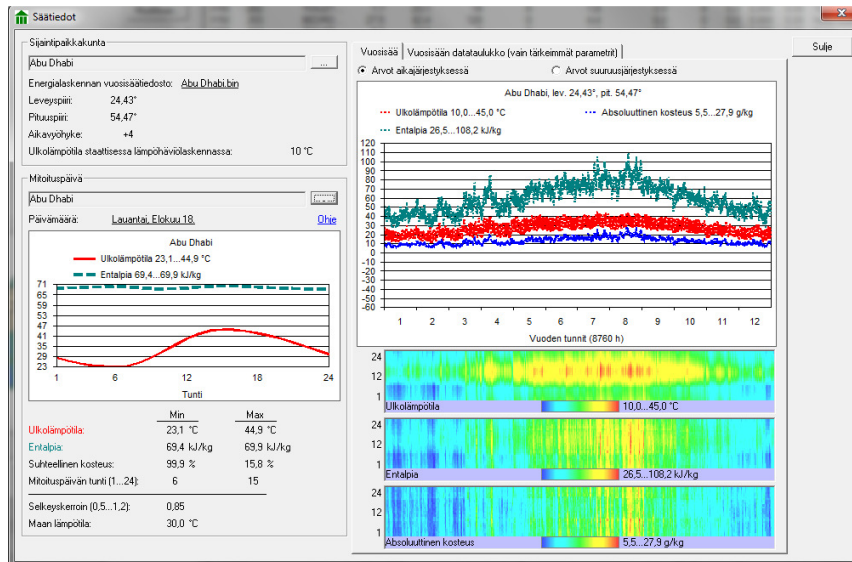
- Kaikille tiloille määriteltiin erikseen oma ilmanvaihtokone sekä saniteetti-tiloille yksi yhteinen (saniteettitiloja ei kuitenkaan huomioida lopputuloksissa)
- Ilmanvaihtokonetyyppi oli seuraavanlainen: Jäähdytyspalkit (tilalaitte), ma–su (24 h/vrk) 100 %.
- Ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatteri oli: RIUSKA vakioasetus. Ei vaikutusta tässä työssä tavoiteltuihin lopputuloksiin.
- Lämmöntalteenoton hyötysuhde oli 0 %
- Huoneilman laatutaso ja lämpötila oli vaativa, asetusarvo 23,5 °C, suunnitteluarvo 24 °C
- Saniteettitilojen sisäilman laatutaso ja lämpötila oli normaali, asetusarvo 24 °C, suunnitteluarvo 26 °C (saniteettitiloja ei kuitenkaan huomioida lopputuloksissa)

*Keittiöön lisättiin laitekuorma 2500 W (oletettu sähköliesi), käyttöaste ma–su 09–11, 13–16, 50 %

6.2.2 Mitoitusolosuhde 1 (ASHRAE)

ASHRAEn mukaisessa laskentatapauksessa käytetyn mitoituspäivän säädäntäasetukset RIUSKA-ohjelmassa on esitetty alla sekä kuvassa 8.

- Mitoituspäivä: lauantai, elokuun 18.
- Mitoituspäivän ulkoilman olosuhdealaraja on: 23,1 °C ja RH 99,9 %
- Mitoituspäivän ulkoilman olosuhdeyläraja on: 44,9 °C ja RH 15,6 %



Kuva 8. RIUSKAN mitoituspäivän säätiedot, mitoitusolosuhde 1 (ASHRAE)

Taulukossa 20 on esitetty RIUSKA-ohjelman antamat tulokset rakennuksen mitoituspäivän kokonaisjäähdytystehontarpeesta tunneittain.

Taulukko 20. RIUSKA, rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve tunneittain mitoituspäivänä, mitoitussuhde 1 (ASHRAE)

h	°C	g/kg	%	kJ/kg	W
-	Ulkoilma	Ulkoilma	Ulkoilma	Ulkoilma	Kok.jäähd.
-	lämpöt.	absol.	suht.	entalpia	teho
-	-	kosteus	kosteus	-	-
1	28,6	15,6	62,5	68,6	16597
2	26,7	16,5	73,3	68,9	15361
3	25,2	17,2	83,8	69,2	14115
4	24	17,8	92,6	69,5	12959
5	23,3	18,1	98,5	69,7	11851
6	23,1	18,3	100	69,7	11132
7	23,8	17,9	94,9	69,5	10954
8	25,7	17	80,4	69,1	16948
9	28,6	15,6	62,5	68,6	18876
10	32,1	14,1	46,1	68,4	20903
11	35,9	12,6	33,5	68,5	21757
12	39,5	11,3	24,9	68,9	21530
13	42,3	10,4	19,6	69,4	21612
14	44,2	9,8	16,8	69,8	23425
15	44,9	9,6	15,9	70	24517
16	44,7	9,7	16,2	69,9	25207
17	44	9,9	17,2	69,8	25016
18	42,8	10,2	18,8	69,5	24381
19	41,3	10,7	21,3	69,2	22827
20	39,5	11,3	24,9	68,9	21394
21	37,4	12,1	29,6	68,6	20551
22	35,1	12,9	35,6	68,4	19718
23	32,9	13,8	43,2	68,4	18796
24	30,6	14,7	52,3	68,4	17753

Taulukosta voimme nähdä, että rakennuksen suurin kokonaisjäähdytystehontarve osuu mitoituspäivälle kello 16. Lopputuloksena voimme siis päätellä seuraavaa:

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve (kW) ~25,2

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve $\left(\frac{W}{m^2}\right) \sim 58,3$

Taulukossa 21 on esitetty RIUSKA-ohjelman antama huonekohtainen kokonaisjäähdytystehontarve mitoituspäivänä kello 16.

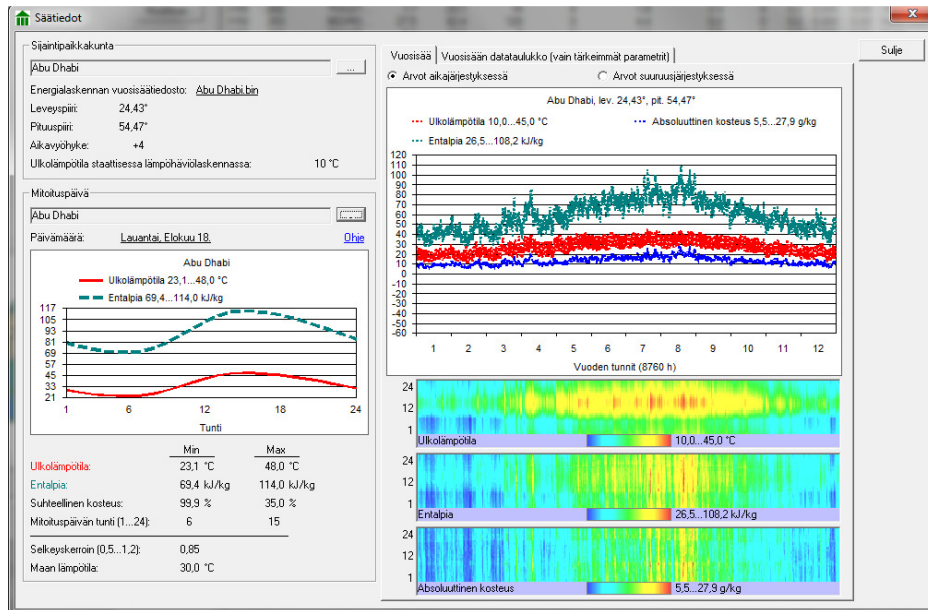
Taulukko 21. RIUSKAN kokonaisjäähdytystehontarpeen jakauma huonekohtaisesti mitoituspäivänä kello 16, mitoitusolosuhde 1

Huonenumero	Huonetyyppi	Kokonaisjäähdytystehontarve (W)
101	Kodinhoitajan huone	1110
102	Keittiö	1272
103	Toimisto/vierashuone	1853
107	Olohuone/ruokailutila	9465
201	Makuuhuone	1854
203	Makuuhuone	1914
206	Päämakuuhuone	2792
208	Makuuhuone	1445
210	Makuuhuone	1436
211	Olohuone	1984

6.2.3 Mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)

Mitoitusolosuhteen 2 mukaisessa laskentatapauksessa käytetyn mitoituspäivän säädättyjen asetusravot RIUSKA-ohjelmassa on esitetty alla sekä kuvassa 9.

- Mitoituspäivä: lauantai, elokuun 18.
- Mitoituspäivän ulkoilman olosuhde alaraja on: 23,1 °C ja RH 99,9 %
- Mitoituspäivän ulkoilman olosuhde yläraja on: 48,0 °C ja RH 35 %



Kuva 9. RIUSKAN mitoituspäivän säätiiedot, mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)

Taulukossa 22 on esitetty RIUSKA-ohjelman antamat tulokset mitoituspäivän rakennuksen kokonaisjäähdytystehon tarpeesta tunneittain.

Taulukko 22. RIUSKAN tulokset, rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve tunneittain mitoituspäivänä, mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)

h	°C	g/kg	%	kJ/kg	W
-	Ulkoilma	Ulkoilma	Ulkoilma	Ulkoilma	Kok.jäähd.
-	lämpöt.	absol.	suht.	entalpia	teho
-	-	kosteus	kosteus	-	-
1	29,3	19,9	75,6	80,3	20153
2	27,2	19,3	83,1	76,7	17992
3	25,5	18,9	90	73,7	16010
4	24,2	18,5	95,6	71,5	14324
5	23,4	18,3	99,3	70,2	12858
6	23,1	18,3	100	69,7	12014
7	23,9	18,5	97,1	71	11829
8	26	19	87,8	74,6	18879
9	29,3	19,9	75,6	80,3	22191
10	33,4	21	63,3	87,5	26094
11	37,7	22,3	52,8	95,2	28938
12	41,8	23,5	44,8	102,7	30637
13	45,1	24,6	39,3	108,9	32165
14	47,2	25,3	36,2	113,1	34848
15	48	25,6	35,2	114,5	36214
16	47,7	25,5	35,6	114	36802
17	46,9	25,2	36,7	112,4	36322
18	45,6	24,8	38,5	109,9	35190
19	43,9	24,2	41,2	106,6	32954
20	41,8	23,5	44,8	102,7	30633
21	39,4	22,8	49,3	98,3	28737
22	36,9	22	54,7	93,7	26741
23	34,2	21,3	61	89	24610
24	31,7	20,5	68,1	84,5	22389

Taulukosta voimme nähdä, että rakennuksen suurin kokonaisjäähdytystehontarve osuu mitoituspäivälle kello 16. Lopputuloksena voimme siis päätellä seuraavasti:

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve (kW) ~36,8

Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve $\left(\frac{W}{m^2}\right) \sim 85,1$

Taulukossa 23 on esitetty RIUSKA-ohjelman antaman lopputulos kokonaisjäähdytystehontarpeen jakaumasta huonekohtaisesti (mitoituspäivänä kello 16).

Taulukko 23. RIUSKAn kokonaisjäähdytystehontarpeen jakauma huonekohtaisesti mitoituspäivänä kello 16, mitoitulosuhde 2

Huonenumero	Huonetyyppi	Kokonaisjäähdytystehontarve (W)
101	Kodinhoitajan huone	1465
102	Keittiö	2097
103	Toimisto/vierashuone	2486
107	Olohuone/ruokailutila	14093
201	Makuuhuone	2560
203	Makuuhuone	2696
206	Päämakuuhuone	4061
208	Makuuhuone	2109
210	Makuuhuone	2074
211	Olohuone	3118

7 Tulosten vertailu

Tässä luvussa on esitetty työssä saavutetut tulokset yhtenäisissä taulukoissa, jotta tulokset ja niiden analysointi olisivat mahdollisimman helposti luettavissa. Tuloksien perusteella tehdyt havainnot ja analyysit on esitetty luvussa 8 Yhteenveto.

RIUSKA-laskentaohjelmasta ei saada eriteltyä tuloksia rakennuksen/tilan kokonais- ja tuntuvasta jäähdytystehontarpeesta. Tästä syystä RIUSKA-ohjelmalla saatuja tuloksia tarkastellaan ainoastaan kokonaisjäähdytystehontarpeen osalta.

Kaikissa laskentatapaukset toteutettiin noudattaen seuraavia suunnitteluolosuhteita:

- Mitoituspäivä: elokuun 18.
- Sisäilmaolosuhde: 24 °C/RH 50 %
- Ulkoilmaolosuhde: mitoitusolosuhde 1 (44,9 °C/RH 15,6 %)
- Ulkoilmaolosuhde: mitoitusolosuhde 2 (48 °C/RH 35 %)

7.1 Huonekohtainen jäähdytystehontarve, staattinen laskenta

Tässä luvussa on esitetty huonekohtaisella, eli niin sanotulla staattisella laskentamenetelmällä saadut jäähdytystehontarpeiden tulokset. Taulukossa 24 on esitetty Excel-laskurilla saadut tulokset.

Taulukko 24. Huonekohtaisen jäähdytystehontarpeen vertailu, staattinen laskenta, mitoitusolosuhde 1 ja 2

Kerros	Huone	Huonetyyppi	Jäähdytystehontarve (W) Mitoitusolosuhde 1	Jäähdytystehontarve (W) Mitoitusolosuhde 2
1	101	Kodinhoitajan huone	1287	1816
1	102	Keittiö	4165*	5410*
1	103	Toimisto/vierashuone	2286	2919
1	107	Olohuone/ruokailutila	15193	22901
2	201	Makuuhuone	2555	3642
2	203	Makuuhuone	2605	3739
2	206	Päämakuuhuone	4731	6679
2	208	Makuuhuone	2280	3269
2	210	Makuuhuone	2241	3425
2	211	Olohuone	2753	4495

*Keittiössä 102 huomioitiin oletettu 2500 W sähköliesi

Taulukossa 25 on esitetty staattisella laskentamenetelmällä saadut tulokset rakennuksen kokonais, tuntuvan ja latentin jäähdytystehontarpeen osalta.

Taulukko 25. Rakennuksen kokonais-, tuntuva ja latentti jäähdytystehontarve

Laskentatapaus	Lähtötiedot	Mitoitusolosuhde 1	Mitoitusolosuhde 2
Kokonaisjäähdytystehontarve (~kW)	57,8	40,3	58,3
Tuntuva jäähdytystehontarve (~kW)	45,1	40,2	41,5
Latentti jäähdytystehontarve (~kW)	12,7	0,1	16,8
Kokonaisjäähdytystehontarve (W/m ²)	133,6	93,2	132,9

7.2 Rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve, staattinen vs. dynaaminen

Tässä luvussa vertaillaan staattisella laskentamenetelmällä sekä RIUSKA-olosuhdelaskentaohjelmalla saatuja lopputuloksia rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarpeen osalta. Tulokset on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Laskentatulokset staattisella laskentamenetelmällä sekä RIUSKA-ohjelmasta saadut lopputulokset

Laskentatapaus	Lähtötiedot	Staattinen laskenta, mitoitusolosuhde 1	Staattinen laskenta, mitoitusolosuhde 2	RIUSKA, mitoitusolosuhde 1	RIUSKA, mitoitusolosuhde 2
Kokonaisjäähdytystehontarve (~kW)	57,8	40,3	58,3	25,2	36,8
Kokonaisjäähdytystehontarve (W/m ²)	133,6	93,2	132,9	58,2	85,1

8 Yhteenveto

Tapa, jolla saadaan rakennuksen tai tilan oikea jäähdytystehontarve määriteltyä juuri Abu Dhabissa (tai yleisesti Arabiemiirikunnissa), osoittautui hieman haastavaksi asiaksi selvittää. Erityisesti työn alkuvaihe oli hyvin hankala, koska virallisia ja ”oikeita” lähteitä oli hyvin vaikea löytää. Osassa lähteissä oli myös ristiriitaista tietoa, ja oli hyvin tavallista, että lähteissä oli ainoastaan viittauksia toisiin lähteisiin, josta taas viitattiin edelleen seuraavaan, ja niin edelleen. Standardeja ja määräyksiä oli vaikka kuinka paljon, mutta oli hyvin epäselvää, mitä niistä tulisi käyttää juuri Abu Dhabissa.

Arabiemiirikunnissa vasta hiljattain käyttöön otetut standardit (2011) tuntuivat välillä jonkin verran suppeilta sekä joskus hieman vaikeasti ymmärrettäviltä. Tämä johtuu varmasti siitä, että kyseiset standardit on ”adoptoitu” suoraan Yhdysvalloista ja niitä vasta parhaillaan muokataan Arabiemiirikunnille sopiviksi. Tämänkaltainen prosessi vie kuitenkin aikansa, mutta lähitulevaisuudessa näitä asioita varmasti tullaan selventämään. Heti työn alkuvaiheessa kävi ilmi, että Arabiemiirikunnat panostaa energiatehokkuuteen ja ympäristöystävällisyyteen todella vahvasti. Abu Dhabissa on tällä hetkellä meneillään hyvin suuria ja pitkän aikavälin ympäristöprojekteja. Juuri nämä kyseiset uudet ”adoptoidut” standardit ovat olleet yksi iso projekti, jolla pyritään parantamaan rakennusten energiatehokkuutta Arabiemiirikunnissa. Voi olla, että juuri tämä siirtymävaihe uusiin standardeihin teki sen, että käytettävät lähteet olivat hieman vaikeasti ymmärrettäviä aika ajoin.

Työn suurimpana yllätyksenä kävi ilmi, että rakennuksien ja tilojen jäähdytystehontarpeita ei nähtävästi todellisuudessa suunnitella käyttämällä ASHRAEn määrittelemiä ulkoilmanolosuhteita. Tämä kävi ilmi siitä, että työssä käytetyn Villa-huoneiston lähtötiedoissa oli ainoastaan annettu rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve. Lähtötilanteessa tiedettiin ainoastaan, että arvo oli määritelty laskemalla yhteen huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet, mutta laskentaan käytetyistä mitoitusolosuhteista ei ollut käsitystä. Työn jäähdytystehontarvelaskentavaiheessa kävi ilmi, että ASHRAEn määrittelemillä jäähdytyksen mitoittavilla ulkoilmanolosuhteilla oltiin hyvin kaukana rakennuksen lähtötiedoissa ilmoitetusta kokonaisjäähdytystehontarpeesta.

Työn edetessä tuli vastaan useita epävirallisia lähteitä kuten esitelmiä ja keskustelupalstoja, joissa jaettiin mielipiteitä ja käytiin keskustelua siitä, että ASHRAEn määrittelemät mitoittavat ulkoilmanolosuhteet johtavat juuri Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä jäähdytysjärjestelmän kokonaisjäähdytystehon alimitoitukseen sekä tuntuvaan jäähdytystehon ylimitoitukseen. ASHRAEn määrittelemät ulkoilmanmitoitusolosuhteet arvot eivät siis ota huomioon rakennukseen tai tilaan vaikuttavaa latenttikuormaa. Tämä johtuu luultavasti siitä, että Lähi-idän ilmastovyöhykkeellä vallitsevan ulkoilmanolosuhteen märkä- ja kuivalämpötilahuiput, vaikuttavat vuorokauden eri aikoina.

RIUSKA-ohjelman avulla saavutettiin yksi työn tärkeimmistä tavoitteista, joka havainnollistaa esimerkiksi vedenjäähdyttimen jäähdytystehontarve suhteessa rakennuksen tilakohtaisesti määriteltyn kokonaisjäähdytystehontarpeeseen, eli niin sanottu suurin samanaikaisuuskuorma. RIUSKA-ohjelmalla simulointi auttoi ymmärtämään, miten, koska ja mitkä lämpökuormat vaikuttavat rakennuksen eri tiloihin mitoituspäivän eri tunteina.

9 Päätelmät

Oma kokemukseni, joka perustuu muutaman vuoden kylmäalan erilaisissa työtehtävissä työskentelyyn (kylmälaiteasentajaharjoittelija, kylmälaiteasentaja, laitemitoitus, tarjouslaskenta, myynti, jne.), on osoittanut, että ylimitoitus on hyvin yleinen käytäntö myös Suomessa. Ylimitoitusta tehdään ehkä osittain sen takia, että tehot ”varmasti riittävät”. Tämän jälkeen laitevalintatapauksissa, joissa tarvittu jäähdytystehontarve osuu kahden konekoon välille, valitaan tietenkin se kokoa suurempi. Pelkästään vain jo nämä kaksi tekijää aiheuttavat huomattavan jäähdytystehontarvekertoimen.

Toisaalta tämä nykyinen normaali käytäntö on varsin ymmärrettävä, jos laskennat toteutetaan ”manuaalisesti”. Ainakin pienempien ja keskisuurien rakennusten kohdalla on varmasti suhteellisen kallista teettää LVI-suunnitelmien lisätyönä rakennukselle olosuhde- ja energiatarkastelu, jolla voitaisiin simuloida hetki (mitoituspäivän tunti x), jolloin koko rakennukseen kohdistuu suurin lämpökuorma samanaikaisesti.

Kuitenkin säästö, joka tällä mitoitustavalla voidaan saada aikaiseksi, voi olla hyvinkin huomattava, ihan jo pelkästään esimerkiksi vedenjäähdyttimen hankintahinnassa. Lisäksi vuotuiset säästöt, joita voidaan saada aikaiseksi energiatehokkaalla jäähdytysjärjestelmällä, voivat olla huomattavat, varsinkin Lähi-idässä vallitsevissa ilmasto-olosuhteissa, joissa tarvitaan jäähdytystä lähes läpi vuoden.

Lähteet

- 1 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten Liitto
- 2 Terveellistä hirsitaloasumista. 2013. Verkkodokumentti. Kontiotuote Oy. <<http://www.kontio.fi/fin/Tuotetietoa/Terveellista-asumista.654.html>> Luettu 16.5.2013
- 3 Sisäilma. 2012. Verkkodokumentti. Rakennusopas. <<http://www.rakennusopas.com/rakennustietoa/lvi/sisailma/>> Luettu 19.9.2012
- 4 Ympäristö.fi. 2012. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=412983&lan=FI#a7>> Luettu 24.9.2012
- 5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma> Luettu 30.9.2013.
- 6 Järjestelmätekniikka. 2007. Verkkodokumentti. Swegon. <http://swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/General/_fi/SYSTEM-tech.pdf>Luettu 17.5.2013
- 7 Abu Dhabi. 2012. Verkkodokumentti. Suomen suurlähetystö. <<http://www.finland.ae/public/default.aspx?nodeid=42984&contentlan=1&culture=fi-FI>>Luettu 8.11.2013
- 8 Arab Emirates. 2012. Verkkodokumentti. Arab emirates travel. <http://arabemirates.travel/?act=show_page&category_id=6892>Luettu 8.11.2012
- 9 Arab Emirates. 2012. Verkkodokumentti. Arab emirates travel. <http://arabemirates.travel/?act=show_page&category_id=6938>Luettu 8.11.2012
- 10 Abu Dhabi Vision 2030. 2012. Verkkodokumentti. Abu Dhabi Urban Planning Council (UPC)<<http://www.upc.gov.ae/abu-dhabi-2030.aspx?lang=en-US>>Luettu 16.9.2012
- 11 Overview Abu Dhabi. 2012. Verkkodokumentti. Department of Municipal Affairs. <<http://dma.abudhabi.ae/en/content/overview.aspx>> Luettu 18.9.2012

- 12 Aavikko. 2012. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Aavikko>>Luettu 8.11.2012
- 13 Weather. 2012. Verkkodokumentti. Weatherbase.
<<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=071214>>Luettu 18.9.2012
- 14 Publications Abu Dhabi. 2012. Verkkodokumentti. Department of Municipal Affairs. <<http://dma.abudhabi.ae/en/content/publications.aspx>> Luettu 18.9.2012
- 15 International Code Council. 2009. International Energy Conservation Code 2009. Illinois, USA: ICC
- 16 Unit converter. 2013. Verkkodokumentti. Unit Conversions.
<<http://www.unitconversion.org/> > Luettu 17.5.2013
- 17 ASHRAE. 2001. ASHRAE Fundamentals Handbook. Atlanta, USA: ASHRAE
- 18 Säädä Abu Dhabi. 2013. Granlund Oy. RIUSKA.. Dynaaminen olosuhdelaskentaohjelma.
- 19 RIUSKA. 2013. Tekninen tuki, Progman Oy. Sähköpostikeskustelu 27.3.2013.
- 20 Lahdenperä, Heikki. 2013. Toimitusjohtaja, Chiller Oy Neuvotteluhuone. Keskustelu 21.2.2013.
- 21 International Code Council. 2009. International Mechanical Code 2009. Illinois, USA: ICC
- 22 ASHRAE/ACCA Standard. 2007. Standard 183. Atlanta, USA: ASHRAE
- 23 Load estimation handbook. 2013. Verkkodokumentti. Sydney HVAC.
<<http://sydneyhvac.net/Files/loadestimating/Handbook%20Of%20AC%20and%20Refrigeration%20-%20Chapter%206%20Heat%20Loads.pdf> >Luettu 31.3.2013
- 24 Cooling load calculations and principles. 2013. Verkkodokumentti. CED Engineering.
<<http://www.cedengineering.com/upload/Cooling%20Load%20Calculations%20and%20Principles.pdf>>Luettu 18.5.2013
- 25 Rakennusten energiatehokkuus. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.

- 26 Valmet Oy ja Mercantile AB. 1980. Ilmatekniikan suunnitteluopas. Turku: JAAKOO-TAARA OY
- 27 Energia ja dynaaminen simulointi. 2013. Verkkodokumentti. BIM Pro Architecture Engineering. <<http://www.bim-projekterimine.ee/energia-ja-dynaaminen-simulointi>>Luettu 25.5.2013

Säädata Abu Dhabi (12 vuoden aikajakso)

Keskimääräinen lämpötila													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
C (celsius)	27	18	19	22	26	31	32	35	35	32	28	24	20

Keskimääräinen korkea lämpötila													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
C (celsius)	33	22	24	27	32	37	38	41	40	39	35	30	25

Keskimääräinen matala lämpötila													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
C (celsius)	21	13	14	17	20	23	26	28	29	26	22	18	15

Korkein mitattu lämpötila													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
C (celsius)	47	32	36	40	42	46	47	47	46	45	42	37	32

Alin mitattu lämpötila													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
C (celsius)	5	6	5	8	12	17	21	23	23	18	16	13	7

Keskimääräinen luku päiviä jolloin yli 32C													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
Päiviä	213	-	1	8	17	30	30	31	31	30	29	8	-

:

Säädata Abu Dhabi (12 vuoden aikajakso)

Keskimääräinen luku päiviä jolloin yli 26C													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
Päiviä	279	5	7	17	27	31	30	31	31	30	31	28	11

Keskimääräinen luku sadepäiviä													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
Päiviä	24	4	6	6	4	-	-	-	-	-	-	.	4

Keskimääräinen kosteus: aamu													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
% (prosenttia)	75	81	81	76	72	65	69	69	71	75	79	81	82

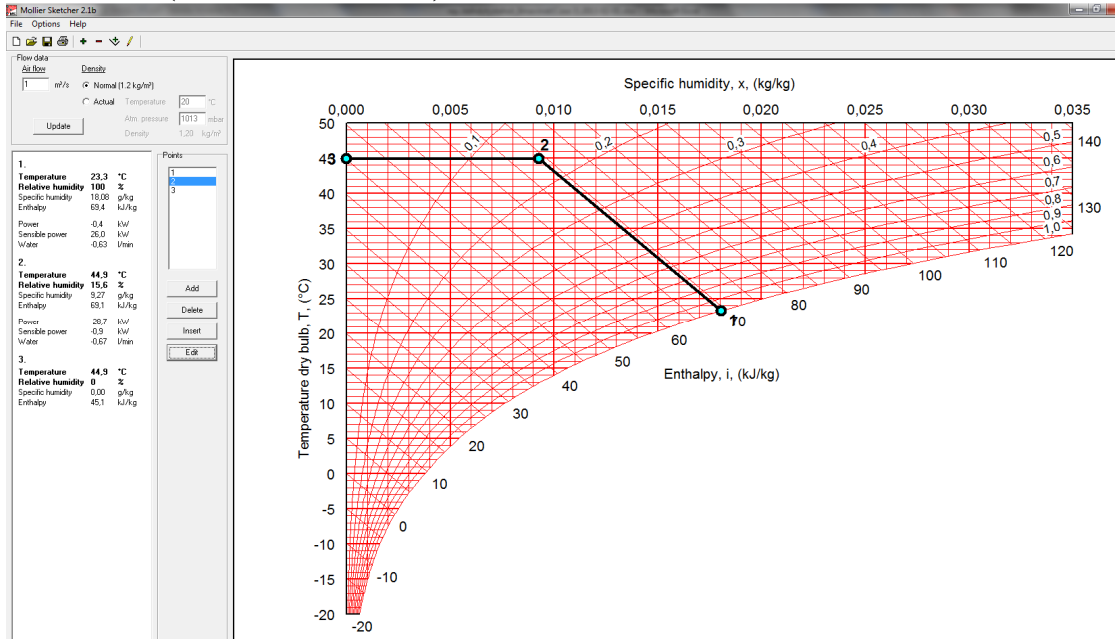
Keskimääräinen kosteus: ilta													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
% (prosenttia)	43	50	50	44	37	32	39	39	44	40	43	46	51

Keskimääräinen kastepiste													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
C (celsius)	17	11	12	12	15	17	21	22	23	22	19	16	13

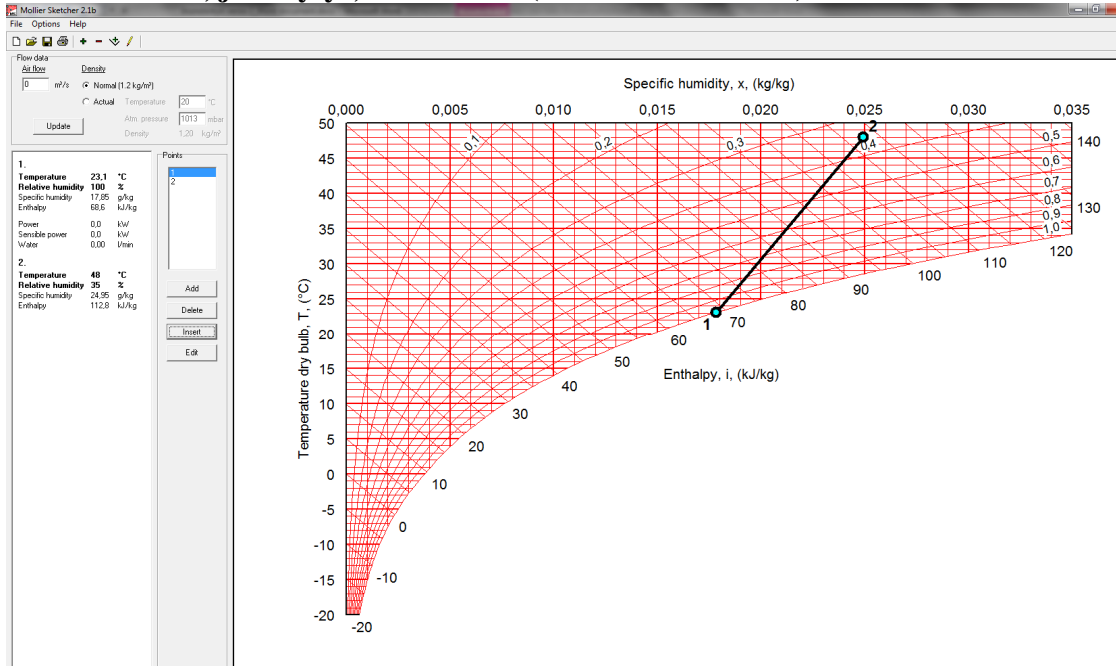
Lämmitystarvepäiviä (12v ajalta)													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
Päiviä	8,6	8,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Jäähdytystarvepäiviä (12v ajalta)													
	Vuosittainen	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touku	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
Päiviä	3308,9	-	31,4	129,2	250	387,5	425	516,7	516,7	441,7	327,2	175	60,3

Ix-diagrammi, ASHRAEn määrittelemä ulkoilmanmitoitusolosuhde, jäähdytys, Abu Dhabi (mitoitusolosuhde 1)



Ix-diagrammi, paikallisen LVI-suunnitelijan määrittelemät sisä- ja ulkoilmamitoitusolosuhte, jäähdytys, Abu Dhabi (mitoitusolosuhte 2)



Villa-huoneiston pohjapiirros, 1. kerros



Villa-huoneiston pohjapiirros, 2. kerros

