

Ville Kauppi

ILMANVAIHTOLAITTEIDEN
MITOITUSOHJELMISTO
ERIKOISTUOTTEILLE

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Kesäkuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 2.6.2016
Tekijä(t) Ville Kauppi	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Ilmanvaihtolaitteiden mitoitusohjelmisto erikoistuotteille		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää mitoitusohjelmisto, jolla voidaan määrittää ilmanvaihdon erikoistuotteet. Opinnäytetyön tarkastelun kohteena oli aktiivijäähdytyspalkit. Erikoistuotteilla tarkoitettiin aktiivipalkkien kohdalla tässä työssä tuotteita, joissa niiden sisällä olevien suuttimien väliä on muutettu vakiosuutinvälistä poikkeavaksi.</p> <p>Opinnäytetyössä määriteltiin mitoitusohjelmiston laskentatoiminnot erikoissuutinväliä varten sekä sen vaikutukset induktiokertoimeen eli indusoituneen huoneilman määrään aktiivipalkin patterin läpi, aktiivipalkin jäähdytys- ja lämmitystehokapasiteettiin, palkista huoneeseen puhallettavan ilman lämpötilaan, painehäviöihin ilma- ja vesipuolella ja äänenpainetasoon. Mitoitusohjelmistoon lisättiin myös muita hyödyllisiä toimintoja kuten lämpötilakerrostumisen määrittäminen huoneessa ja ilmasuihkulaskennan tiedot.</p> <p>Mitoitusohjelmiston laskentatoiminnot toteutti ohjelmistoyritys Q-soft. Mitoitusohjelman laskentatoiminnot testattiin esimerkkien avulla sekä ohjelmiston jäähdytystehon laskennan tuloksia verrattiin oikeisiin jäähdytystehomittauksiin.</p> <p>Tuloksien perusteella todettiin, että mitoitusohjelmiston laskentatoiminnot toimivat halutulla tavalla ja ohjelmiston laskemat jäähdytystehot vastaavat riittävällä tarkkuudella oikeiden mittausten tuloksia. Tällaisesta mitoitusohjelmistosta ja valintatyökalusta on hyötyä Haltonille, jonka sen myymistä aktiivipalkeista suuri osa on erikoistuotteita. Tämän ohjelmiston avulla myynti- ja tilausprosessia saadaan nopeutettua.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Mitoitusohjelmisto, valintatyökalu, ilmastointi, ilmanvaihto, jäähdytys, jäähdytyspalkki, aktiivipalkki		
Sivumäärä 60+3	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Mika Ruponen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Halton Oy	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 2.6.2016
Author(s) Ville Kauppi	Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Dimensioning software of ventilation equipment for special products		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to develop dimensioning software to define special ventilation products. In this thesis the special product means active chilled beam with a special nozzle distance.</p> <p>The primary goal of the thesis was to create calculation functions for defining the special nozzle distance. The thesis also studies how it affects the induction coefficient i.e. how much room air, also known as secondary air, can be induced through the coil of the active chilled beam. The special nozzle distance also affects the cooling and heating power capacities of the coil, the in-blast temperature of the mixed air in the beam, the pressure drops on air- and watersides of the beam and the sound pressure level. In addition to these a few extra functions were added like the definition of temperature stratification in the room and air jet calculation data.</p> <p>The calculation functions were programmed by a software company called Q-soft. Functions were tested with examples and cooling power capacities calculated with software were compared to the results of real cooling power measurements.</p> <p>The results showed that the calculation functions operate properly and cooling capacities calculated by software match with real measurements' results with sufficient accuracy. This kind of dimensioning and selection tool is valuable for Halton due to big demand of active chilled beams. Sale and order processes can be sped up.</p>		
Subject headings, (keywords) Dimensioning software, selection tool, air conditioning, ventilation, cooling, chilled beam, active chilled beam		
Pages 60+3	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Mika Ruponen	Bachelor's thesis assigned by Halton Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	YLEISTÄ ILMANVAIHDOSTA.....	2
2.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	2
2.2	Ilmanjakotavat	4
2.3	Ilmavirtojen mitoitus	5
3	HUONEEN LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYKSI	9
4	ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄT	11
4.1	Ilmajärjestelmät	12
4.2	Ilma-vesijärjestelmät.....	14
4.2.1	Jäähdytyspalkkijärjestelmä	16
4.2.2	Aktiivipalkki	20
4.2.3	Erikoistuotesuunnittelussa käytettävät tuotteet.....	24
5	MITOITUS- JA VALINTAOHJELMISTO VAKIOTUOTTEILLE	27
5.1	Tuotteen valinta	28
5.2	Suunnittelutiedot ja laskenta.....	30
5.3	Tuloste ja ilmasuihkun mallinnus.....	35
6	ERIKOISTUOTTEIDEN MITOITUSOHJELMISTO	36
6.1	Laskenta.....	36
6.1.1	Erikoissuutinväli	37
6.1.2	Induktiosuhde.....	38
6.1.3	Jäähdytyspalkin patterin tehon määrittäminen.....	41
6.1.4	Jäähdytyspalkissa sekoittuvan ilman lämpötila	44
6.1.5	Staatitisen kammiopaineen muutoksen vaikutus kokonaispainehäviöön	45
6.1.6	Äänitasotiedot	46
6.1.7	Muut uudet toiminnot verrattuna vakiotuotteiden valintatyökaluun	46
7	ERIKOISTUOTTEIDEN MITOITUSOHJELMISTON TESTAUS.....	46
7.1	Jäähdytystehon laskenta tehomittausten perusteella.....	50
7.1.1	Jäähdytystehomittaukset ja niiden tulokset.....	51
7.1.2	Mitattujen jäähdytystehojen laskenta ETOHIT:llä.....	52
8	TULOSTEN TARKASTELU	54

9	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	56
	LÄHTEET.....	58

LIITTEET

- 1 Suutintiedot
- 2 Tulosteet
- 3 Jäähdytystehomittaukset ja tehovertailu

1 JOHDANTO

Ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteiden hyvällä suunnittelulla sekä niiden mitoittamisella ja valinnalla asetettujen suunnitteluarvojen mukaan voidaan luvata niiden oikea toiminta, jolloin saavutetaan hyvät sisäilmasto-olosuhteet suunniteltavaan tilaan. Kun suunnitteluarvoilla ei saada valittua laitetta, jolla päästään tarkkaan lopputulokseen ja halutaan saavuttaa ensiluokkaiset olosuhteet, päädytään erikoisratkaisuun.

Tämän opinnäytetyön aiheena on ilmanvaihtolaitteiden mitoitus- ja valintaohjelmiston kehittäminen, jolla voidaan määrittää tällainen erikoisratkaisu. Opinnäytetyö käsittelee ilmanvaihtolaitteiden osalta aktiivijäähdytyspalkkeja, joissa erikoisratkaisuna toimii palkissa sijaitsevien suutinten suutinvälin muuttaminen, joka vaikuttaa laitteen toiminta-arvoihin kuten esimerkiksi jäähdytystehoon.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Halton Oy, joka valmistaa ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteita, muun muassa pääte-elimiiä ja ilmavirran säätölaitteita. Suuri osa Haltonin myymistä aktiivipalkkiratkaisuista on erikoistuotteita. Erikoistuotteen muodostumiseen voi vaikuttaa useita eri tekijöitä, mutta yksi tärkeimmistä tekijöistä aktiivipalkin toiminnan kannalta on erikoissuutinväli eli aktiivipalkin suuttimien välimatkan muuttaminen toisiinsa nähden vakiosuutinväliin verrattuna. Erikoistuotteille tarkoitettu mitoitusohjelmisto on tärkeä yritykselle, jotta myyntiprosessia saadaan nopeutettua ja henkilöresursseja voidaan säästää muihin tehtäviin.

Tässä opinnäytetyössä esitellään aluksi ilmanvaihdon ja ilmastointijärjestelmien periaatteet, jäähdytyspalkkien toimintaperiaatteet sekä nykyinen vakiotuotteiden valintaan tarkoitettu valintatyökalu Halton HIT Design. Erikoistuotteiden valintaan tarkoitettu ohjelmisto, nimeltään ETOHIT, pohjautuu hyvin paljon vakiotuotteiden tuotetietokantaan. Varsinaisen erikoistuotteiden mitoitus- ja valintaohjelmiston laskentatoiminnot määritetään ja esitellään esimerkkien avulla. Käytännössä nämä ovat erikoissuutinvälin laskenta sekä sen vaikutukset jäähdytyspalkin toimintaan. Kun ETOHIT:n toiminnot ovat määritetty, ohjelmoi ohjelmistoyritys Q-soft niistä valmiin kokonaisuuden, jonka toimintaa verrataan työssä esitettyihin laskuesimerkkeihin sekä oikeisiin jäähdytystehomittausten tuloksiin.

2 YLEISTÄ ILMANVAIHDOSTA

Ihminen viettää sisätiloissa arviolta noin 90 prosenttia ajastaan ja hengittää jopa 20m³ sisäilmaa vuorokaudessa /1, s. 56/. Tämän takia rakennusten ilmanvaihdolla on merkittävä vaikutus ihmisten terveyteen ja viihtyisyyteen. Ilmanvaihto käsitteenä tarkoittaa huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista sen ilmaa vaihtamalla. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrää, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan turvallinen, terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto tavallisissa käyttöolosuhteissa ja ilmanvaihtojärjestelmän on vastaavasti luotava edellytykset omalta osaltaan siihen. Oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan sitä osaa huoneesta, jossa sisäilmaston tavoitteet on suunniteltu toteutuvan ja yleensä se rajoittuu vähintään lattian pinnasta 1,8 metrin korkeuteen korkeussuunnassa ja 0,6 metriä seinistä tai vastaavista rakennusosista sivusuunnassa. /2, s. 3./ Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmän valinnalla ja hyvällä suunnittelulla voidaan vaikuttaa siihen, että näiden järjestelmien osalta edellä mainittu määräys toteutuu. Tässä luvussa esitellään tavanomaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteet lyhyesti, ilmanjakotavat sekä ilmavirtojen mitoituksen perusteita.

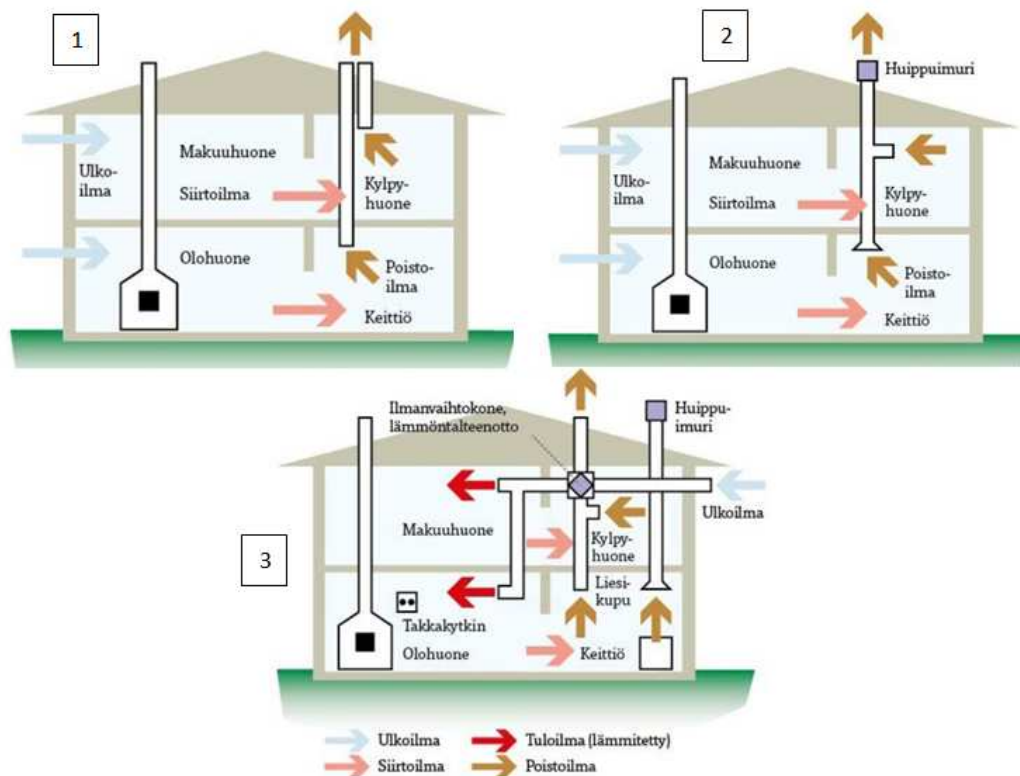
2.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmät voidaan jakaa kolmeen eri järjestelmään: painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilman liike ja siirtyminen tiloista ulos perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötila- ja tiheyseroista sekä ilmanvaihtokanaviston korkeuserosta syntyvään painovoimaan. Ulkoilma tulee rakennuksen vaipan ja järjestettyjen ilmareittien eli ulkoilma- tai korvausilmaventtiileiden kautta sisälle. Painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää voidaan täydentää keittiössä liesituulettimella tai esimerkiksi kylpyhuoneessa pienillä kanavapuhaltimilla. /1, s.114-115./

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ulkoilma- eli korvausilma tulee sisälle rakennuksen vaipan läpi tai asennettujen ulkoilmaventtiileiden kautta samalla tavalla kuten painovoimaisessa järjestelmässä. Ulkoilma johdetaan makuuhuoneisiin, olohuoneeseen ja keittiöön. Ilman liikkeen ulkoa sisälle ja sisällä rakennuksessa aiheuttaa alipaine, joka luodaan, kun ilmaa poistetaan tiloista puhaltimen (niin sanottu

huippuimuri) avulla. Huippuimuri sijaitsee rakennuksen vesikatolla. Poistoilma johdetaan keittiöstä, WC-tiloista, kylpyhuoneesta, vaatehuoneesta ja saunasta kanavistoa pitkin huippuimurille, joka puhaltaa ilman ulos. /1, s.115-116./

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa myös ulkoilman johtaminen sisälle tapahtuu puhaltimen ja kanaviston avulla. Tässä järjestelmässä käytetään poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmää, jolla ulkoilmaa lämmitetään nimen mukaisesti poistoilmasta otetulla lämmöllä. Asuinkerrostaloissa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa keskitetysti tai hajautetusti. Keskitetyssä järjestelmässä yksi ilmanvaihtokone palvelee koko rakennusta, kun taas hajautetussa järjestelmässä jokaisessa huoneistossa on oma pienempi ilmanvaihtokone. Hajautetussa järjestelmässä ulkoilma otetaan huoneiston ulkoseinältä erikseen ja poistoilma johdetaan asuntokohtaisesti erillisillä kanavilla rakennuksen vesikatolle ja sieltä ulos. /1./ Kuvassa 1 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmien periaatekuvat sekä ilmavirtojen nimitykset. Numero 1 esittää painovoimaista ilmanvaihtoa, numero 2 koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää ja numero 3 koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää.



KUVA 1. Ilmanvaihtojärjestelmät /3/

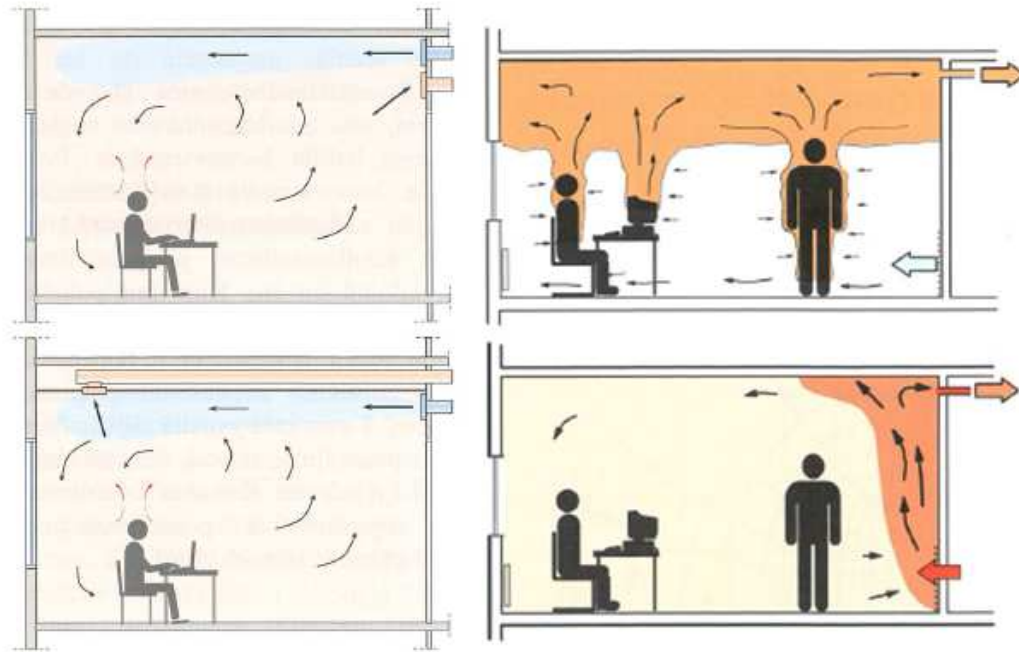
2.2 Ilmanjakotavat

Ilmanjaon suunnittelulla ja toteutuksella on suuri vaikutus tilassa olevien ihmisten viihtyvyyteen ja koettuun sisäilman laatuun. Sanotaankin, että ilmanjako on onnistunut, kun ilmanvaihtoon ja –jakoon sekä ilmastointiin ei kiinnitetä huomiota tilassa olevien henkilöiden osalta. Ilmanjakomenetelmät luokitellaan tavallisesti suur- ja piennopeusilmanjakoon sekä sekoittavaan ja syrjäyttävään ilmanjakoon. Tässä kappaleessa käsitellään ilmanjakoa sekoittavan ja syrjäyttävän tavan osalta. Niiden mukaan on yleisesti myös ilmanvaihdon päätelaitteet jaoteltu. Sekoittavan ilmanjaon tarkoituksena on sekoittaa huoneeseen ilmanvaihtokoneelta johdettu tuloilma mahdollisimman tehokkaasti huoneilmaan ja näin saavuttaa tasaiset lämpö- ja epäpuhtausolosuhteet huonetilassa. Ilman sekoittuminen tapahtuu tuloilmasuihkun indusoidessa eli imetessä itseensä huoneilmaa. Epäpuhtauksien haittavaikutus pyritään siis poistamaan laimentamalla niiden pitoisuus tarpeeksi alhaiseksi. Sekoittava ilmanjako ei ole paras ratkaisu tiloihin, joissa sijaitsee pistemäisiä epäpuhtauslähteitä. /1, s.225-230; 4, s.257-258./

Syrjäyttävässä ilmanjaossa tuloilma puhalletaan huoneeseen siten, että epäpuhtaudet ja lämpötila kerrostuvat. Kerrostuva virtaus saadaan aikaan lämpötilaeroista johtuvien tiheyserojen ansiosta. Tämä onnistuu, kun viileää tuloilmaa johdetaan pienellä nopeudella huonetilan alaosasta ja tuloilma syrjäyttää konvektiovirtausten mukana nousevaa huoneilmaa. Ilman poistaminen huoneesta syrjäytysilmanjaossa tapahtuu huoneen yläosasta. Ilmanlaatu oleskeluvyöhykkeellä on parempi kuin sekoittavassa ilmanjaossa. Sekoittavan ja syrjäyttävän ilmanjaon luokitukseen liitetään yleensä myös mäntä- eli laminaari-ilmanjako, jossa suuri tuloilmavirta puhalletaan matalalla nopeudella koko huoneen poikkipinta-alan kokoisella alueella. /1, s.225-230; 4, s. 281-282./

Ilmanjaon ja –poiston tehokkuuksia voidaan mitata kohdepoiston sieppausasteella eli paljonko epäpuhtauksista saadaan poistettua kohdepoistolla, ilmanvaihdon hyötysuhteella sekä lämmön ja epäpuhtauksien poistotehokkuudella. Lämmön ja epäpuhtauksien poistotehokkuus kuvaavat lämmön ja epäpuhtauksien kerrostumisen onnistumista. Ilmanvaihdon hyötysuhde kuvaa puolestaan tuloilman tuonnin tehokkuutta tarkastelupisteessä. Mäntä- eli laminaari-ilmanjaossa hyötysuhde on 100%. Kun sekoittavalla ilmanjaolla saavutetaan ihanteellinen sekoittuvuus on

hyötysuhde 50%. Tällä tavoin ilmanjaon tehokkuutta tarkasteltuna voidaan havaita niin sanotut oikosulkuvirtaukset eli tuloilma virtaa suoraan poistoilman päätelaitteeseen käymättä oleskeluvyöhykkeellä. Kuva 2 havainnollistaa sekoittavan ja syrjäyttävän ilmanjaon periaatteita sekä oikosulkuvirtausta. /1, s.230./



KUVA 2. Sekoittava ja syrjäyttävä ilmanjako sekä oikosulkuvirtaus /1, s. 230/

Kuvassa 2 on sekoittava ilmanjako esitetty vasemmalla ja syrjäyttävä oikealla. Syrjäyttävässä ilmanjaossa huoneilma kerrostuu huonetilan yläosaan ihmisistä ja laitteista eli lämpökuormien lähteistä aiheutuvien konvektiovirtausten seurauksena. Alemmissä kuvissa on esitetty oikosulkuvirtauksen periaate. Vasemmalla sekoittavassa ilmanjaossa poistoilman päätelaite on sijoitettu väärin ja oikealla syrjäyttävässä ilmanjaossa oikosulkuvirtaus aiheutuu puolestaan liian korkeasta tuloilman lämpötilasta.

2.3 Ilmavirtojen mitoitus

Ilmanvaihtojärjestelmien tavoitteena on ylläpitää ja parantaa sisäilman laatua eli puhtautta, jolloin ilmavirrat mitoitetaan tämän perusteella. Tavallisissa rakennuksissa ulko- ja jäteilmavirrat mitoitetaan yleensä yhtä suuriksi. Erilaisten tilojen välillä rakennuksen sisällä ilmavirrat eivät välttämättä ole yhtä suuret. Luokka- ja toimistotiloissa tulo- ja poistoilmavirrat suunnitellaan yleensä yhtä suuriksi, mutta

esimerkiksi käytävätilaan tuodaan enemmän tuloilmaa kuin sieltä poistetaan ilmaa ja näiden erotus poistetaan käytävätilan viereisestä vessasta, jossa on vain poistoilman päätelaite eli sinne ei johdeta tuloilmaa. ”Ylimääräinen” tuloilma liikkuu siirtoilmana (kuten kuvassa 1) järjestetyistä siirtoilma-aukkoista käytävästä vessaan. Tällä tavoin varmistetaan paine-ero niin sanottujen puhtaisten ja likaisten tilojen välillä ja samalla ilman liikesuunta puhtaista likaisiin tiloihin. Tässä tapauksessa käytävä on siis puhtaampi tila ja WC likainen tila. Asuinrakennuksissa kokonaispoistoilmavirta mitoitetaan noin 5-10% tuloilmaa suuremmaksi, jotta sisätilat saadaan alipaineiseksi ulkoilmaan nähden. Tällä tavoin estetään sisäilman kosteuden pääsy ulkoseinärakenteisiin. /1/

Huoneiden ilmanvaihdon ilmavirrat määritellään joko laskemalla epäpuhtaus-, lämpö- ja kosteuskuorman perusteella tai käyttämällä virallisia ohjearvoja. Ilmavirtojen suuruuden määrittävät tekijät ovat rakennuksen ja huonetilojen käyttötarkoitus ja ihmisten lukumäärä. Tavallisissa rakennuksissa ilmavirtojen määrittämisen käytetään yleensä ohjearvoja, joita on annettu Sisäilmastoluokituksessa ja Rakentamismääräyskokoelman osassa D2. D2:n esittämät ilmavirrat ovat mininivaatimuksia, kun taas Sisäilmastoluokitus esittää ilmavirrat kolmelle eri luokalle: S1, S2 ja S3. S3-luokka vastaa D2:n asettamaa tasoa ja S1-luokka on paras luokista. /1, s. 98./

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ensisijaisesti tulisi ilmavirtojen määrittämisessä oleskelutiloissa käyttää sen eri tiloille antamia ohjearvoja ja ensisijaisesti tulisi ilmavirrat määrittää myös henkilöperusteen mukaan. Jos henkilöiden lukumäärä ei ole tiedossa käytetään ohjearvoja lattiapinta-alan mukaan. Muut, kun D2:n liitteessä esitetyt oleskelutilat suunnitellaan ilmavirtojen osalta seuraavasti

- ulkoilmavirta vähintään $6\text{dm}^3/\text{s}$ per henkilö, jos henkilölukumäärä on tiedossa
- yleensä ulkoilmavirta tulee olla vähintään $0,35\text{dm}^3/\text{s},\text{m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 metriä

Ilmanvaihtokertoimella tarkoitetaan yhden tunnin aikana huonetilaan tai -tilasta virrannutta ulkoilmavirtaa tilan ilmatilavuutta kohti. Ilmanvaihtokertoimen yksikkö on siis $(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^3$ eli 1/h. Taulukossa 1 on esitetty asuinrakennusten ohjeulkoilma- sekä

poistoilmavirrat. Lisäksi taulukossa on kerrottu sallitut äänitasot sekä ilman nopeus talvella. /2, s. 10./

TAULUKKO 1. Asuinrakennusten ohjeilmavirrat D2:n mukaan /2, s. 25/

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta dm ³ /s	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi m/s	Huom!
Asuinitilat:	6					
Asuinhuoneet		0,5		28 / 33 *	0,20	*C1 määräys
Keittiö		#S	8 #A	33 / 38 *	0,20	*C1 määräys
- käyttöajan tehostus		#S	25	33 / 38	0,20	
Vaatehuone, varasto		#S	3	33 / 38		
Kylpyhuone		#S	10 #B	38 / 43	0,20	
- käyttöajan tehostus		#S	15	38 / 43	0,20	
WC		#S	7 #B	33 / 38		
- käyttöajan tehostus		#S	10	33 / 38		
Kodinhoitohuone		#S	8	33 / 38	0,30	
- käyttöajan tehostus		#S	15	33 / 38	0,30	
Huoneistos sauna		2 #C	2/m ² #C	33 / 38		
Yhteistilat:						
Porrashuone		0,5 1/h	0,5 1/h	38 / 43		
Varastot		0,35	0,35 /m ²	43 / 48		
Kylmäkellari (myös asunto- kylmiö, jos pinta-ala > 4m ²)		0,2	0,2 / m ²	43 / 48		
Pukuhuone		2	2 / m ²	33 / 38	0,20	
Pesuhuone		3	3 / m ²	43 / 48	0,20	
Saunan löylyhuone		2	2 / m ²	33 / 38		
Talopesula		1	1 / m ²	43 / 48		
Kuivaushuone		2 #D	2 / m ² #D	43 / 48		
Askarteluhuone, kerhohuone		1 #E	1 / m ² #E	33 / 38	0,20	
# A Ohjearvo, kun liesikuvun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa on liesikuvun ohjearvo 20 dm ³ /s. # B Ohjearvo, kun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa ilmavirran ohjearvo on käyttöajan tehostuksen mukainen. # C Kuitenkin vähintään 6 dm ³ /s. Saunan ilmavirtaa ei oteta huomioon laskettaessa asunnon ilmanvaihdon kerrointa, jos saunan ulkoilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirta. # D Voidaan mitoittaa pienemmäksi kun käytetään ilmankuivainta. # E Edellyttää tuuletusmahdollisuutta; muuten 1,5 (dm ³ /s)/m ² . # S Ulkoilmavirta korvataan yleensä asuinhuoneista johdettavalla siirtoilmavirralla.						

Taulukossa 2 on puolestaan esitetty toimistotakennusten vastaavat ilmavirrat. Muiden tilojen ohjeilmavirtoja löytyy Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteestä 1.

TAULUKKO 2. Toimistorakennusten ohjeilmavirrat D2:n mukaan /2, s. 26/

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!	
Toimistohuone ja vastaavat tilat	8	1,5		33 / 38 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje	
Neuvotteluhuone		4		33 / 38	0,20 / 0,30	#3	
Asiakastila		2		38 / 43	0,30 / 0,40	#2,	
Käytävätila		0,5		38 / 43	0,30	#2,	
Kahvio, taukotila		5		38 / 43	0,25		
Arkisto, varasto				0,35			
Tupakointitila: – rakennuksen käyttöaikana				20	38 / 43	0,30	#4
– rakennuksen käyttöajan ulkopuolella				10			#4
Kopiointihuone			1	4			
#1		Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.						
#3	Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.						
#4	Tupakointitilan on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.						

Sisäilmastoluokituksen antamia ulkoilmavirtoja sisäilmaluokittain henkilöiden ja lattiapinta-alan mukaan on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Sisäilmaluokituksen mukaiset ulkoilmavirrat eräille tiloille /5, s. 14/

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/D2	
		dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1,5	13	1,5		1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2,0	11	1,5		1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	9	4,0	8	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	7,0	8	5,0		5,0
Hotellihuone	10	15	1,5	12	1,0	10	1,0
Käytävä ja porrashuone			1		0,5		0,5
Hissikuilu			8		8		8
Luokahuone	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5	6	6,0
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4,0		4,0
Aula	6	13	2,0	10	2,0		2,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5	6	2,5
Päiväkodin märkäeteinen (poisto)			5		5		5
Ruokala ja kahvila	2	11	6...8	8	5...6	6	5,0

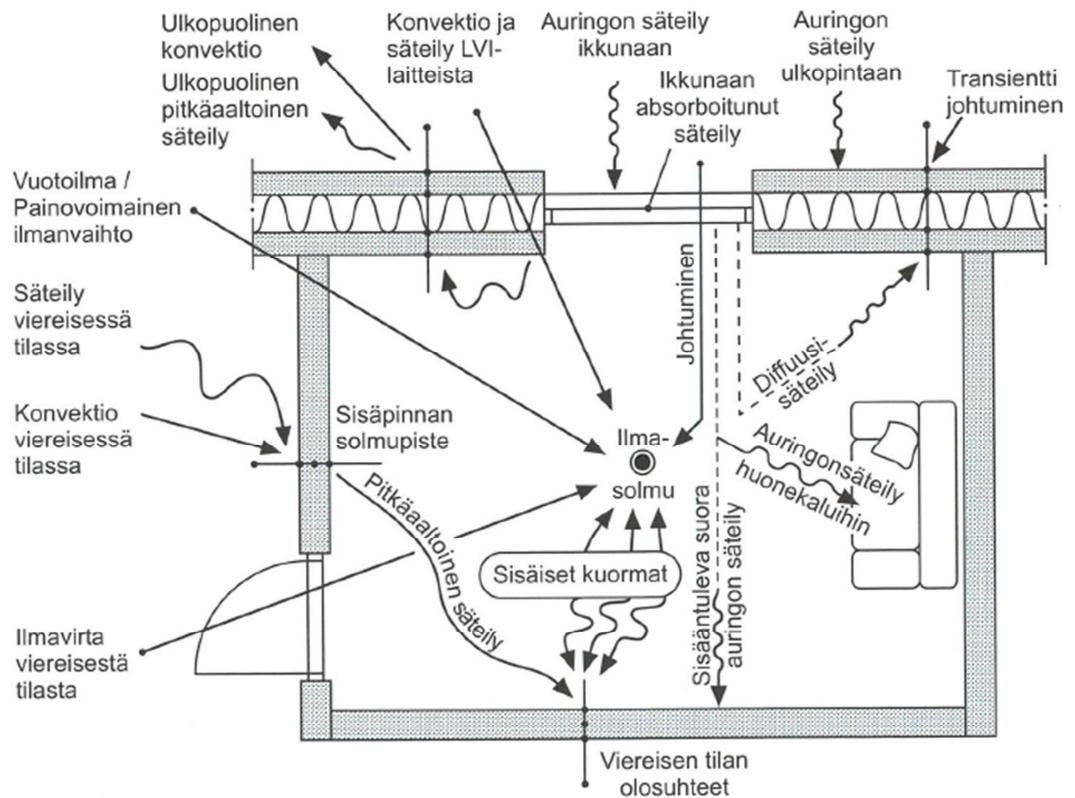
Jos ilmavirrat määritetään kuormitusten perusteella laskemalla, on epäpuhtaus-, lämpö- ja kosteuskuormat tunnettava tai osattava laskea. Lämpökuormitusten perusteella laskettaessa voidaan ilmavirtojen tarve eri vuodenaikoina saada selville käyttämällä simulointiohjelmia. Ilmastointijärjestelmissä täytyy ilmavirtojen mitoituksessa ottaa huomioon tilojen jäähdytyskuorma, joka voi olla mitoittava tekijä.

/1./

3 HUONEEN LÄMMITYS JA JÄÄHDYTYKSEN

Huonetilassa tarvittavan lämmitys- ja jäähdytystehon määrä saadaan tehontarvelaskennoista. Rakennuksen ja yksittäisen huoneen lämmitystehontarve muodostuu lämpöhäviöistä rakennuksen ulkovaipan läpi ulkoilmaan ja maaperään, ilmanvaihdon lämmitystarpeesta eli ulkoilmavirran vaatima lämmitysteho ja rakennusvaipan läpi ulkoa sisään virtaavan vuotoilman lämmitystarpeesta. Lisäksi lämmitysjärjestelmän valinnassa on otettava huomioon käyttöveden lämmitystehontarve. Rakennuksen lämmitystehontarve riippuu ulkolämpötilasta sekä ilmanvaihdon ja ilmastoinnin käytöstä. Lämmitysjärjestelmät mitoitetaan mitoitusulkolämpötilaa käyttäen, joka on määritelty alueittain Rakentamismääräyskokoelman osassa D5. Huonekohtaisen lämmitystehontarvetarkastelun perusteella mitoitetaan ja valitaan lämmönluovuttimet esim. vesiradiaattorit tai nykyään myös aktiivijäähdytyspalkit. Lämmitys voidaan järjestää myös kokonaan tuloilmalla, jolloin puhutaan ilmalämmityksestä. /6, s. 102./

Rakennusten energiatehokkuuden parantuminen on vaikuttanut lämpöhäviöiden pienentymiseen ja päinvastoin. Kun lämpöhäviöt ovat matalat, rakennuksen sisällä lämpökuormat voivat nostaa sisälämpötilan hyvin korkeaksi. Vastaavasti kuten liian matala lämpötila, myös liian korkea lämpötila vaikuttaa alentavasti viihtyisyyteen ja työn tuottavuuteen. Kesänaikaisille sisälämpötiloille on annettu raja-arvot Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3. Sisälämpötilavaatimusten osoittaminen täytetyiksi on osa rakennusten energiaselvitystä, ja jos vaatimukset eivät toteudu, rakennuslupaa ei myönnetä. Sisälämpötilan nouseminen liian korkeaksi pyritään estämään ensiksi passiivisilla keinoilla kuten aurinkosuojilla tai muilla rakenteellisilla ratkaisuilla sekä ilmanvaihdon tehostamisella. Jos näin ei päästä sisälämpötilavaatimukseen, asennetaan erillinen jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytystehontarvelaskennan perusteella mitoitetaan järjestelmän eri osat. Rakennuksen ja huoneilojen jäähdytystehontarpeen laskeminen on huomattavasti monimutkaisempaa kuin lämmitystehontarpeen laskeminen. Jäähdytystilanteessa rakennus ei ole stationääritilassa, kuten lämmitystehontarpeen laskennassa mitoitustilanteessa yleensä oletetaan. Sisälämpötilatarkastelu ja jäähdytystehontarvelaskenta ovat aikariippuvaisia ja siksi ne tehdään yleensä käyttämällä dynaamisia laskentaohjelmia. Kuva 3 esittää huoneen lämpötaseen eri osia eli asioita, jotka vaikuttavat jäähdytystehontarpeeseen. /4, s. 419-420./



KUVA 3. Jäähdytystehontarpeeseen vaikuttavat tekijät huoneessa /4, s.420/

Huoneen lämpötase tarkoittaa matemaattista erittelyä, jossa huoneeseen tulevat, siellä syntyvät ja sieltä poistuvat lämpövirrat tiedetään ja eritellään. Taseella viitataan energian häviämättömyyteen eli kaikki huoneeseen tuleva energia joko lämmittää sitä tai poistuu sieltä. Energiavirtojen ja energian varastoitumisen summa on siis nolla. Jäähdytystarpeen saaminen selville edellyttää huoneen lämpötaseen ratkaisemista. /4, s. 420./

Kun huoneiden jäähdytystehontarpeet on laskettu, voidaan mitoittaa jäähdytysjärjestelmän huonelaitteet ja muut osat sekä jäähdytystehon perusteella mitoittavat ilmavirrat. Ilmanjakotavalla ja huonelaitteella on merkitystä siihen, kuinka paljon jäähdytystehoa voidaan tuoda ilman riskiä vedon tunteesta. Taulukossa 4 on esitetty eri ilmanjakotavoilla ja huonelaitteilla vedottomasti saavutettavat jäähdytystehot.

TAULUKKO 4. Maksimijäähdytystehot ilmanjakotavasta ja huonelaitteesta riippuen lattiapinta-alaa kohti /7, s. 43/

<i>Ilman jakotapa</i>	<i>Maksimaa- linen jääh- dytysteho W/m²</i>	<i>Huom.</i>
<i>Tuloilmajäähdytys</i>		
<i>Puhallus käytäväseinältä</i>	30	1)
<i>Puhallus ikkunasei- nältä pintoja pitkin</i>	40...45	
<i>Lattia- ja ikkuna- penkkipuhallus</i>	60	
<i>Puhallus alakatosta</i>	60...100	1)
<i>Huonelaite</i>		
<i>Suutinkonvektori ikkunapenkissä</i>	50 (75)	
<i>Puhallinkonvektori ikkunapenkissä</i>	100	2) 3)
<i>IMS yksikkö alakatossa</i>	75	2)
<i>Puhallinkonvektori alakatossa</i>	150	2) 3)
<i>Passiivi palkki</i>	30	1) 2) 3)
<i>Jäähdytyskatto</i>	90	2) 3)
<i>Aktiivi palkki</i>	100	2) 3)

1) Tuloilman lämpötila ja jäähdytysteho riip-
puvat vyöhykejaosta. Jäähdytystehoa voi-
daan kasvattaa, jos vyöhykkeellä on vain
samanarvoisia huoneita

2) Jos huonelaite on käyttäjän ohjattavissa,
voidaan jäähdytysjakson maksimitilanteessa
tinkiä vedottomuudesta, erityisesti puhallin-
patterin osalta, jossa on sekä lämpötila että,
ilmavirta käyttäjän valittavissa

3) Huonelaitteen lisäksi tulee tuloilman jääh-
dytysvaikutus

4 ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄT

Ilmastointijärjestelmien ero ilmanvaihtojärjestelmiin on kuvailtu yleisesti siten, että ilmastointijärjestelmillä hallitaan myös sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteet, kun taas ilmanvaihdoilla vaikutetaan sisäilman laatuun epäpuhtauksia vähentämällä. Tässä luvussa esitellään ilmastointijärjestelmät ja niiden jaoittelu. Pääpaino on ilma-

vesijärjestelmillä, joihin jäähdytyspalkkijärjestelmät kuuluvat. Ilmastointijärjestelmät voidaan jakaa eri järjestelmiin eri tavoin. Yksi perinteinen tapa on jakaa järjestelmät sen mukaan, miten jäähdytys- ja lämmitysteho tuodaan tilaan. Tällä tavoin jaoiteltuna eri järjestelmät ovat ilmajärjestelmät, ilma-vesijärjestelmät, vesijärjestelmät sekä hajautetut järjestelmät. Ilmastointijärjestelmien jaottelu ja niihin kuuluvat laitejärjestelmät on esitetty kuvassa 4. /1./

Ilmastointijärjestelmien jaottelu			
Ilmajärjestelmät	Ilma-vesijärjestelmät	Vesijärjestelmät	Hajautetut järjestelmät
Vakioilmavirta-järjestelmä Muuttuvailmavirta-järjestelmät: <ul style="list-style-type: none"> • Konekohtainen säätö • Vyöhykekohtainen säätö • Huonekohtainen säätö 	Puhallinkonvektorijärjestelmä Suutinkonvektorijärjestelmä Jäähdytyspalkkijärjestelmä Jäähdytyspaneelijärjestelmä Jäähdytyskatto- ja jäähdytyslattijärjestelmät	Puhallinkonvektorijärjestelmä Muut puhallinpatterijäähdytysjärjestelmät	Huonekohtaiset jäähdytyslaitteet Huoneistokohtaiset jäähdytyslaitteet Ilmalämpöpumput (jos edellisissä lämpöpumpputoiminto mukana)
Ilmavirta mitoitetaan jäähdytystarpeen mukaan, vakioilmavirtalla tarvittaessa huonekohtaisia jälkilämmityspattereita.	Ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Jäähdytys tuloilmalla ja laitteen jäähdytysvesipatterilla. Lämmitys laitteen lämmitysvesipatterilla tai radiaattoreilla.	Ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Ilmanvaihto erikseen jäähdytyksestä. Jäähdytys laitteen jäähdytysvesipatterilla ja lämmitys laitteen lämmitysvesipatterilla tai radiaattoreilla.	Ilmanvaihto ja jäähdytys samassa huone- tai huoneistokohtaisessa yksikössä, yleensä suorahöyrysteisessä jäähdytyslaitteessa.

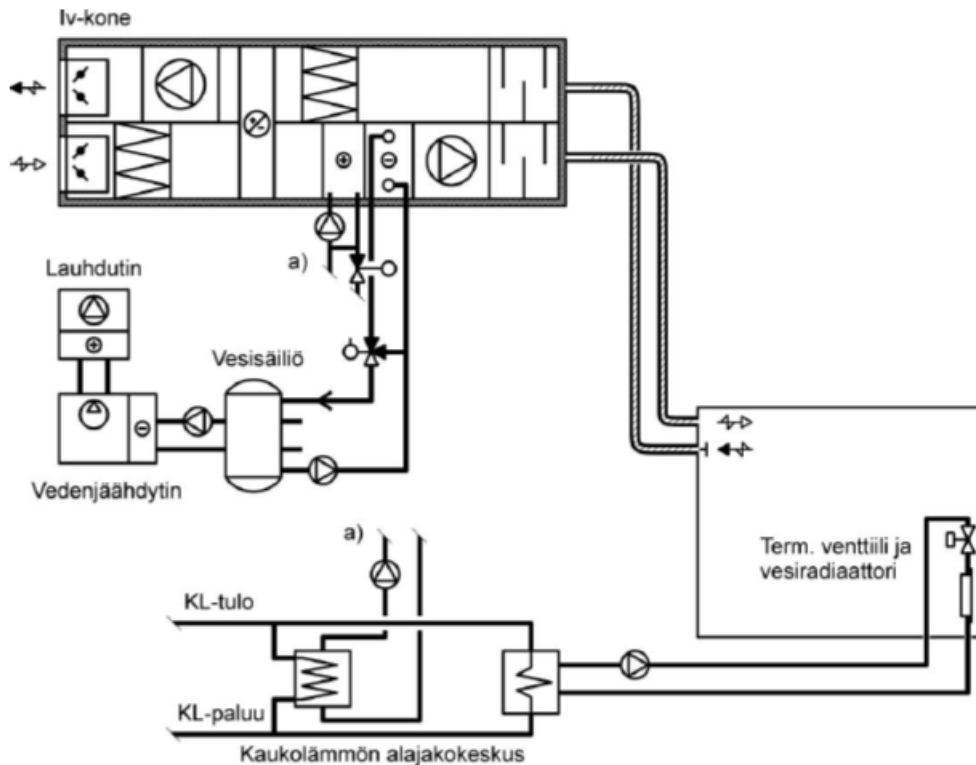
KUVA 4. Ilmastointijärjestelmien jaottelu /1, s. 129/

4.1 Ilmajärjestelmät

Ilmajärjestelmissä ilmanvaihto ja jäähdytys, joskus myös lämmitysikin, hoidetaan samalla ilmavirralla eli lämmitys- ja jäähdytysteho tuodaan ilman mukana. Mitoitusperiaatteena ilmavirralla toimii kesäajan jäähdytystilanne ja -tehontarve, normaaliin ilmanvaihtoon riittävä ulkoilmavirta epäpuhtauksien vähentämiseksi on yleensä huomattavasti pienempi. Ilmajärjestelmissä ilmamäärää ja ilmavirran lämpötilaa voidaan säätää kone-, vyöhyke- tai huonekohtaisesti. Ilmajärjestelmät jaetaan nykyisin kahteen järjestelmään: vakioilmavirta- eli CAV-järjestelmä (Constant Air Volume) ja muuttuvailmavirta- eli VAV-järjestelmä (Variable Air Volume). /1, s.130./

Vakioilmavirtajärjestelmissä jäähdytys tapahtuu jäähdytetyn tuloilman tai erillisten jäähdytyslaitteiden avulla, lämmitys hoidetaan yleensä esimerkiksi

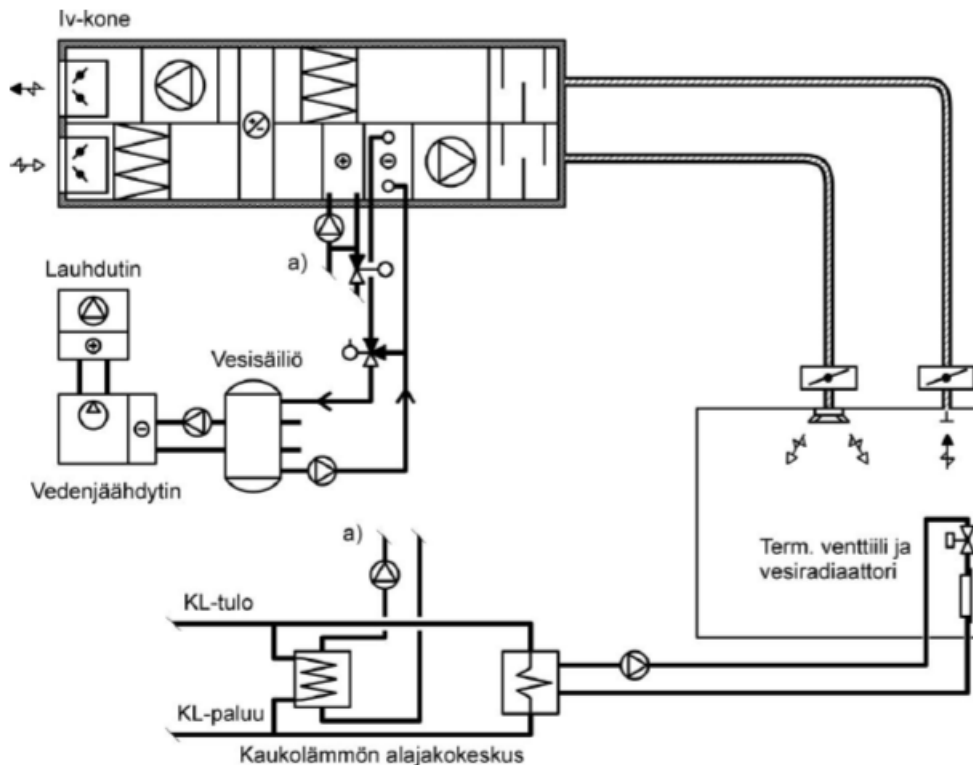
radiaattorilämmityksellä. Vakioilmavirtajärjestelmä on tyypillinen kohteissa, joissa on vierekkäin käytöltään samankaltaisia tiloja. CAV-järjestelmä sopii myös suuriin tiloihin, mutta ei ole paras ratkaisu palvelemaan tiloja, joissa lämpökuormat vaihtelevat käytön aikana selvästi, koska huonekohtaista säätöä ei ole. /1, s. 131-132./ Kuvassa 5 on periaatekuva CAV- eli vakioilmavirtajärjestelmästä yhdistettynä radiaattorilämmitykseen.



KUVA 5. Periaatekuva CAV- eli vakioilmavirtajärjestelmästä /8/

VAV- eli muuttuvailmavirtajärjestelmä voi olla huonekohtainen, vyöhykekohtainen tai myös ilmastointikonekohtainen. Huonekohtaisessa järjestelmässä on joka huonetilassa oma ilmavirran säätö. Huonekohtaisella ilmavirran säädöllä saavutetaan korkeatasoinen ilmastointi. Järjestelmässä on jokaiselle huoneelle oma yksikkönsä, jolle tulee vakiolämpöistä ilmaa, kuitenkin kylmempää ilmaa verrattuna huoneilman lämpötilaan. Lämpötilan hallinta huoneessa tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla eli ilmavirtaa suurennettaessa saadaan myös enemmän jäähdytysteho. Tällainen VAV-järjestelmä sopii tiloihin, joissa vaaditaan suuria ilmavirtoja ja lämpökuormat ovat suuria. Vyöhykekohtainen VAV-järjestelmä on parhaimmillaan, kun huonetilojen välillä ei ole suuria poikkeamia lämpökuormissa. Hyvä esimerkki on toimistorakennuksen yhden julkisivun huonetilat. Tällöin kaikkien huoneiden

suuntaus on samaan ilmansuuntaan ja auringon säteilyn aiheuttamat lämpökuormat ovat samansuuruisia. Jos VAV- eli muuttuvilmavirtajärjestelmä palvelee vain yhtä tilaa, voi ilmavirran säätö olla ilmastointikonekohtainen. /1, s. 133-136./ Kuvassa 6 on periaatekuva muuttuvilmavirtajärjestelmästä yhdistettynä radiaattorilämmitykseen.



KUVA 6. Periaatekuva VAV- eli muuttuvilmavirtajärjestelmästä /8/

4.2 Ilma-vesijärjestelmät

Jäähdytyspalkit kuuluvat ilma-vesijärjestelmiin, joissa jäähdytys- ja lämmitysteho tuodaan tilaan tai huoneeseen suurimmilta osin veden sekä pieni osa myös ilman mukana etenkin jäähdytystilanteessa. Koska jäähdytysteho tuodaan pääasiassa jäähdytetyn veden mukana, on ilma-vesijärjestelmissä huonetilan ulkoilmavirran mitoittava tekijä tilan ilmanvaihdon tarve, eikä jäähdytystehontarve niin kuin ilmajärjestelmissä. Ulkoilman jäähdyttäminen ilmastointikoneessa ilma-vesijärjestelmissä perustuu ilman kuivaukseen, jotta huonetilassa päätelaitteessa ei esiinny kondensoitumista eli kosteuden tiivistymistä. Ulkoilmavirtaa kuivataan ja samalla jäähdytetään ilmastointikoneen jäähdytyspatterissa, jossa kostea ulkoilmavirta joutuu kosketukseen jäähdytyspatterin kanssa, jonka pintalämpötila on alle ilman kastepistelämpötilan (esimerkiksi $+7^{\circ}\text{C}$ jäähdytysveden lämpötilan mukaan). Tällöin

ilman kosteus (vesihöyry) tiivistyy eli kondensoituu patterin pinnalle, jolloin ilma kuivuu ja jäähtyy samalla. Koska huonetilassa ei tapahdu tällöin ilman kuivausta, otetaan huonelaitteen jäähdystehon laskennassa huomioon vain tuntuva lämpö (englanniksi sensible heat). Vesijärjestelmissä jäähdystys- ja lämmitysteho tuodaan vain veden mukana, jolloin huoneeseen johdettavan ulkoilman kuivausta ei huomioida, joten kondensoitumista huonelaitteessa tapahtuu ja kosteuden poisto viemäröinnin avulla on järjestettävä. Kun ilman kosteus tällöin muuttuu, otetaan jäähdystehon laskennassa huomioon myös latentti lämpö. Esimerkki vesijärjestelmästä on puhallinkonvektorijärjestelmä, joka voidaan myös lukea kuuluvan ilma-vesijärjestelmiin niin sanottuna märkänä ilma-vesijärjestelmänä. Puhallinkonvektorijärjestelmässä jokaisessa huoneyksikössä sijaitseva oma puhallin kierrättää huoneilmaa yksikössä sijaitsevan lamellipatterin läpi. Puhallinkonvektoreihin kuuluu myös ilmansuodatin. Puhallinkonvektorit voidaan suunnitella kondensoiviksi tai kondensoimattomiksi, josta riippuu tarvitseeko viemäröintiä järjestää kondenssiveden poistamiseksi. /1, s.129-140; 7, s. 92./

Jäähdystysvesi tuotetaan yleensä vedenjäähdystyskoneella, jossa kylmä tuotetaan kylmäaineen olomuotoa muuttaen sitä höyrystämällä ja lauhduttamalla. Kylmäaineen olomuotoa muutetaan lauhduttimessa ja höyrystimessä ja tarvittavat lämpötilan ja paineen muutokset saavutetaan kompressorin ja paisuntaventtiilin avulla. Suomessa, jossa ilman ulkolämpötila laskee tarpeeksi alas, voidaan käyttää vedenjäähdystyskoneen rinnalla myös vapaajäähdytystä, jolloin jäähdystysvesi jäähtyy viileän ulkoilman avulla. /1./

Ilma-vesijärjestelmien ja vesijärjestelmien suurin etu verrattuna ilmajärjestelmiin on juuri veden käyttäminen väliaineena. Ilman tiheys on normaalissa huonelämpötilassa noin $1,2\text{kg/m}^3$ ja ominaislämpökapasiteetti 1kJ/kgK . Veden vastaavat arvot ovat puolestaan 1000kg/m^3 ja $4,2\text{kJ/kgK}$. Kaavan 1 /4, s.331/ mukaisesti saadaan laskettua ilman ja veden kuljettama teho

$$\phi = \rho \cdot q_v \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

jossa

ϕ	teho (W)
ρ	tiheys (kg/m^3)

q_v	tilavuusvirta (m^3/s)
c_p	ominaislämpökapasiteetti (J/kgK tai $J/kg^\circ C$)
ΔT	lämpötilaero (K tai $^\circ C$)

Tulo $\rho \cdot q_v$ voidaan korvata termillä q_m (kg/s), joka on massavirta. Jos esimerkiksi tilavuusvirta olisi $1m^3/s$ ja lämpötilaero 1 kelvin-aste, saadaan ilman tehoksi

$$\phi_{ilma} = 1,2kg / m^3 \cdot 1m^3 / s \cdot 1000J / kgK \cdot 1K = 1200W$$

ja veden tehoksi

$$\phi_{vesi} = 1000kg / m^3 \cdot 1m^3 / s \cdot 4200J / kgK \cdot 1K = 4200000W .$$

Jakamalla veden kuljettama teho ilman teholla saadaan suhdeluvuksi 3500 eli vesi on 3500 kertaa tehokkaampi aine jäähdystys- ja lämmitystehon kuljettamisessa kuin ilma. Vastaavan tehon kuljettamiseen ilman avulla tarvitaan toisin sanoen suurempia ilmastointikanavakokoja, jos verrataan ilma-vesijärjestelmään, jossa ilmamäärät määräytyvät siis ilmanvaihdon tarpeen mukaan ja vesi toimii tällöin tehon kuljettamisen väliaineena. /9, s.6/

4.2.1 Jäähdytyspalkkijärjestelmä

Jäähdytyspalkit (kutsutaan myös ilmastointipalkeiksi) kuuluvat siis ilma-vesijärjestelmiin ja noudattavat sekoittavan ilmanjaon periaatetta. Jäähdytyspalkit ovat yleistyneet 1980-luvun lopulta ja 1990-luvun alusta lähtien. Jäähdytyspalkkijärjestelmiä käytetään kohteissa, joissa lämpökuormat ovat suuria, mutta kosteuskuorma ei. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi toimisto-, kokous- ja luokkatilat. /1, s.131; 1, s.137; 8, s.19./

Oikein suunniteltuina ja asennettuina jäähdytyspalkeilla saadaan aikaan korkeatasoinen, vedoton ja äänetön sisäilmasto, jota voidaan säädellä huonekohtaisesti vesivirtaa säätämällä. Järjestelmään kuuluu keskusilmastointikone, jossa sisälle otettavaa ulkoilmaa kuivataan jäähdyttämällä sitä. Lisäksi ilmastointikoneeseen kuuluu lämmityspatteri ja lämmöntalteenotto sekä ilman suodatus. Jäähdytyspalkit itsessään asennetaan jäähdytettävän tai lämmitettävän tilan kattoon vapaasti tai

alakattoasennuksena. Ulkoilman kuivauksen lisäksi on otettava huomioon jäähdystyksen menolämpötilan hallinta kondenssin estämiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että menoveden lämpötilan täytyy olla korkeampi kuin kyseessä olevan huonetilan ilman kastepistelämpötila, jotta kosteus ei tiivisty jäähdystyspalkin patterin pinnoille. /1, s.142; 7, s.53; 10, s. 26./ Taulukossa 5 on esitetty jäähdystyspalkkijärjestelmän suunnittelussa yleisesti käytettyjä arvoja. Siitä nähdään, että suositeltu menoveden lämpötila jäähdystystilanteessa on 14-18 celsius-astetta.

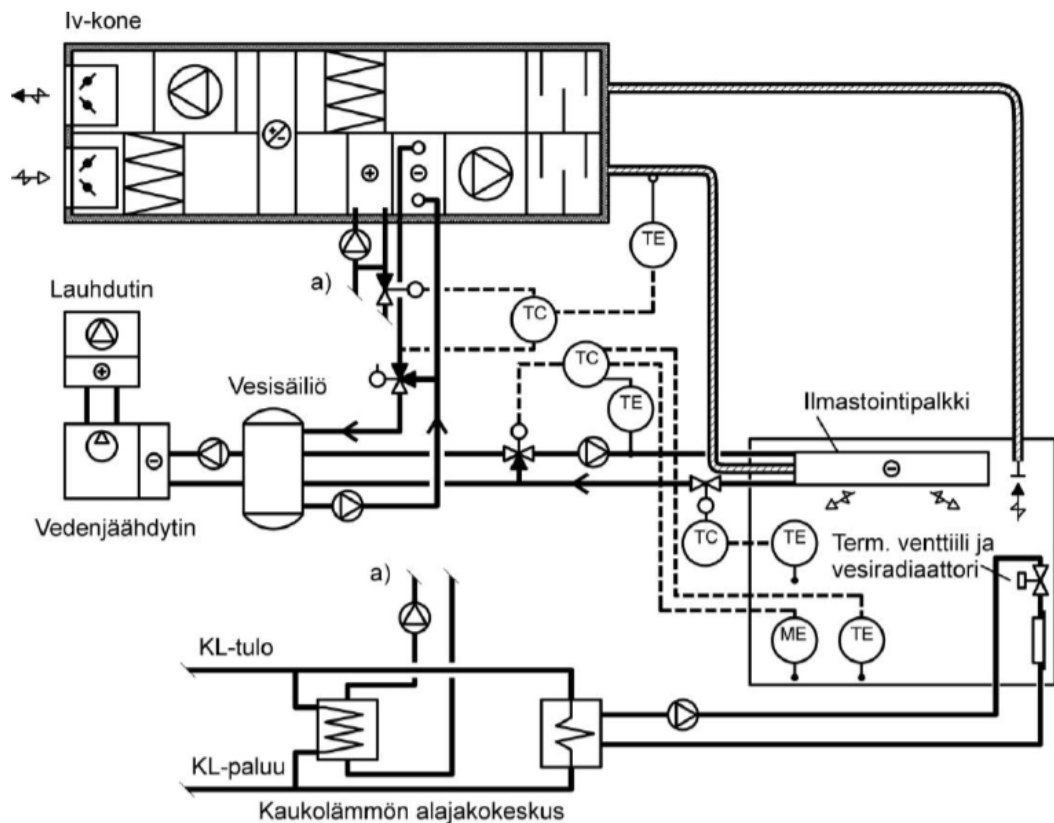
TAULUKKO 5. Suositeltuja arvoja jäähdystyspalkkijärjestelmien suunnitteluun /10, s. 15/

	Cooling	Heating
Cooling and Heating		
Optimum heat loads / losses	60...80 W/floor-m ²	25...35 W/floor-m ²
Maximum heat loads / losses	< 120 W/floor-m ²	< 50 W/floor-m ²
Specific capacity of passive beam above occupied zone	< 150 W/m	–
Specific capacity of passive beam outside occupied zone	< 250 W/m	–
Specific capacity of active beams (highest class of indoor climate)	< 250 W/m	< 150 W/m
Specific capacity of active beams (medium class of indoor climate)	< 350 W/m	< 150 W/m
Supply air		
Specific primary air flow rate of active beam	5...15 l/s,m	5...15 l/s,m
Supply air temperature	18...20°C	19...21°C
Pressure drop of active beam	30...120 Pa	30...120 Pa
Room air		
Reference air temperature (air into the beam): active beam	Room air temp.	Room air temp. + 0...2°C
Reference air temperature (air into the beam): passive beam	Room air temp. + 0...2°C	–
Inlet water		
Water flow rate with pipe size of 15 mm (turbulent flow)	> 0.03...0.10 kg/s	> 0.03...0.10 kg/s
Water flow rate with pipe size of 10 mm (turbulent flow)	> 0.015...0.04 kg/s	> 0.015...0.04 kg/s
Inlet water temperature	14...18°C	30...45°C
Pressure drop	0.5...15 kPa	0.5...15 kPa

Taulukkoon 5 on listattu sekä jäähdystys- että lämmitystilanteen suunnitteluarvoja. Lämmitys toteutetaan yleensä vielä esimerkiksi radiaattori- eli patterilämmityksellä, mutta nykyisin, kun ikkunoiden U-arvo eli lämmönläpäisykerroin on tarpeeksi hyvä (noin 1W/m²K), voidaan tietyissä tilanteissa myös tilojen lämmitys hoitaa jäähdystyspalkkeilla. Jos jäähdystyspalkkeja suunnitellaan käytettäväksi myös lämmitykseen, täytyy niin sanottu ikkunaveto poistaa. Tämä onnistuu kohtuullisella ikkunapinta-alalla ja U-arvoiltaan hyvillä ikkunoilla. Lämmityksessä on otettava huomioon myös ilman kerrostuminen. Lämmin ilma pyrkii jäämään huoneen yläosaan eikä laskeudu oleskeluvyöhykkeelle, näin ollen lämmitys ei toteudu halutulla tavalla

ja myös ilmanvaihto kärsii. Kerrostuminen on sitä pienempää, mitä matalampi on menoveden lämpötila. /1, s. 142; 7, s. 54./

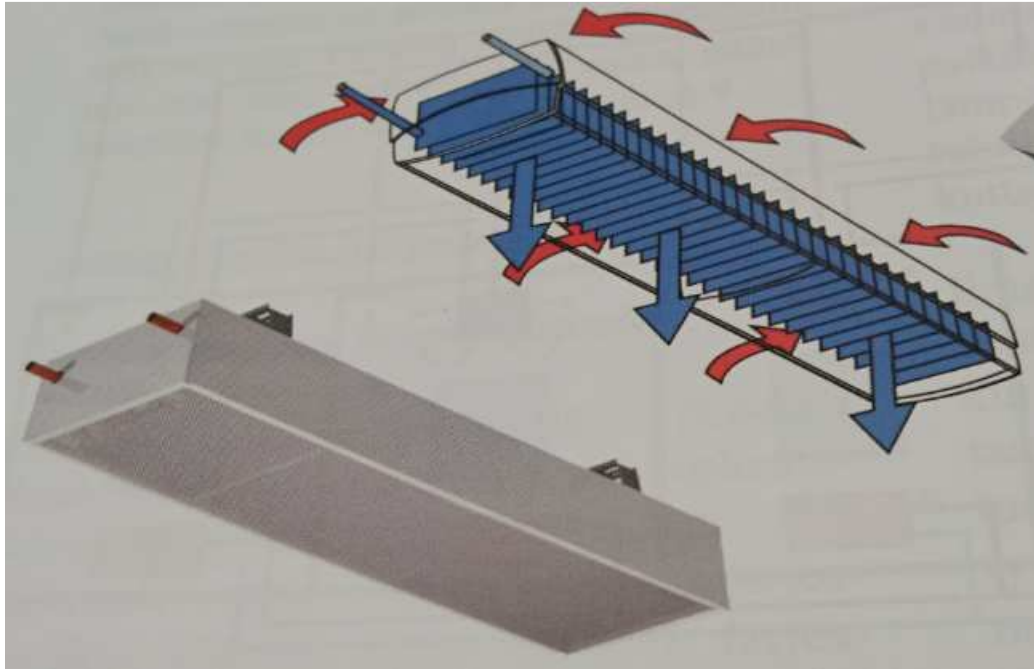
Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva jäädytyspalkkijärjestelmästä, jossa huonetilaa jäähdytetään aktiivipalkilla. Jäähdytysvesi niin keskusilmastointikoneelle kuin palkkijärjestelmälle tuotetaan vedenjäähdytyskoneella. Jäähdytyspalkille saapuvaa vesivirtaa säädetään huonelämpötilan perusteella. Tilan lämmitys toteutetaan kaukolämpöjärjestelmään liitetyllä radiaattorilämmityksellä.



KUVA 7. Jäähdytyspalkkijärjestelmän periaatekuva /8, s. 20/

Jäähdytyspalkit jaetaan toimintaperiaatteensa perusteella kahteen ryhmään: passiivi- ja aktiivipalkkeihin. Passiivipalkkien toimintaperiaate perustuu luonnolliseen konvektioon. Lämmin huoneilma nousee huoneen yläosaan, jossa viileä passiivijäähdytyspalkki jäädyttää ilmaa ja saa sen virtaamaan palkin läpi takaisin alas. Kun ilma virtaa palkin jäähdytyspatterin läpi, siirtyy lämpö huoneilmasta viileään jäähdytysveteen. Luonnollisen konvektion lisäksi pieni osa jäähdytyksestä tapahtuu passiivipalkin viileän pinnan säteilyssä. Koska toiminta perustuu luonnolliseen konvektioon, passiivipalkkeja käytetään pääasiassa tilojen

jäähdytyksessä, eikä ne sovellu hyvin lämmitykseen. Kuvassa 8 on havainnollistettu passiivipalkin toimintaa sekä ulkonäköä. /1, s. 144; 7, s. 50./



KUVA 8. Esimerkki passiivijäähdytyspalkista sekä sen toiminnasta /1, s. 144/

Passiivipalkin rakenne koostuu ulkovaipasta, jonka ylä- ja alaosassa on reikiä ilman virtausta varten. Vaipan sisällä sijaitsee jäähdytysputkisto, johon on liitetty lamelleja lämmönsiirtopinta-alan lisäämiseksi. Kuvassa 8 ylempi jäähdytyspalkki kuvaa passiivipalkin rakennetta ja toimintaa, jossa sinisellä merkittyä jäähdytysputkien ja lamellien yhdistelmää kutsutaan jäähdytyspalkin patteriksi. Yleensä putkisto on kupariputkea ja putkiin liitetyt lamellit alumiinia. /1, s.144; 10, s. 4./ Aktiivipalkit ja niiden toiminta esitetään seuraavassa kohdassa.

Jäähdytyspalkit ovat helppohoitoisia esimerkiksi verrattuna puhallinkonvektoreihin, joihin on liitetty puhallin sekä suodattimet. Puhallinkonvektoreiden puhallin vaatii säännöllistä huoltoa ja suodattimet täytyy vaihtaa tietyin väliajoin. Lisäksi konvektoreissa on viemärointi kondenssiveden poistoa varten. Jäähdytyspalkkien hoitoon ja huoltoon liittyy tärkeimpänä niiden puhtaus, jota ylläpitämällä säilytetetään maksimaalinen jäähdysteho. Tilan epäpuhtaudesta riippuen jäähdytyspalkit tulisi tarkistaa ja puhdistaa vähintään noin kahden vuoden välein. /1./

4.2.2 Aktiivipalkki

Aktiivipalkkien toiminta perustuu pakotettuun konvektioon eli toisin kuin passiivipalkeissa, aktiivipalkkeihin johdetaan myös ulkoilmavirtaa ilmastointikoneelta. Pakotetun konvektion avulla luotu lämmönsiirto on tehokkaampaa kuin luonnollisella konvektiolla. Aktiivipalkit soveltuvat täten myös lämmitykseen. /1, s.145./ Kuvassa 9 on esimerkki alakattoon sijoitettavasta aktiivipalkkityypistä.

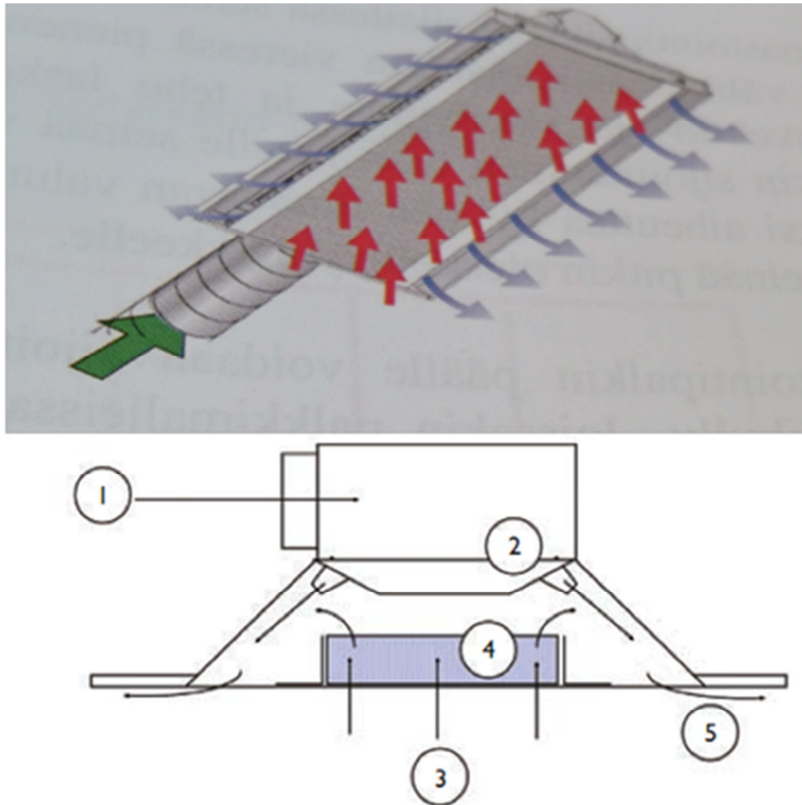


KUVA 9. Alakattoon sijoitettava aktiivijäähdytyspalkki /1, s. 145/

Aktiivipalkissa pakotettu konvektio luodaan induktioefektin avulla. Kuvassa 10 on esitetty alakattoon asennettavan aktiivipalkin toimintaperiaate ja leikkauskuva. Induktio luodaan ilmastointikoneelta tuodun ulkoilmavirran, toisin sanoen primääri-ilman avulla, joka johdatetaan aktiivipalkin tuloilmakammioon (1) ja siitä palkkiin asennettujen suuttimien läpi (2). Suuttimien avulla saadaan kasvatettua ilman nopeutta. Suuttimia on asennettu palkin jäähdytyspatterin pituuden matkalle. Kun ilman nopeus kasvaa tarpeeksi suureksi, muodostaa suuttimista lähtevä ilmasuihku alipaineen suuttimien jälkeen ilman virtaussuunnassa, jonka avulla huoneilmaa eli sekundääri-ilmaa (3) imetään aktiivipalkin jäähdytyspatterin läpi (4). Patterin läpi indusoitunut sekundääri-ilma sekoittuu suuttimista johdettuun primääri-ilmaan ja sekoittunut ilma johdetaan palkin ulospuhallusraosta tai -raoista huonetilaan (5). /11; 12, s.6./ Suluisissa olevat numerot viittaavat kuvaan 10 merkittyihin numeroihin.

Kuvan 10 mukaisesti jäähdytyspalkkien eri ilmavirtojen nimitykset ovat

- Numero 1 ja vihreä nuoli osoittavat palkkiin johdettavaa ulkoilmavirtaa eli primääri-ilmavirtaa
- Numero 3 ja punaiset nuolet kuvaavat indusoitavaa huoneilmaa eli sekundääri-ilmavirtaa
- Numero 5 ja siniset nuolet kuvaavat primääri-ilman ja sekundääri-ilman yhdistelmää eli sekoittunutta ilmavirtaa



KUVA 10. Aktiivipalkin toimintaperiaate ja leikkauskuva /1, s.145;11/

Kuvan 10 aktiivipalkkityypissä sekoittunut ilma johdetaan palkin molemmilta sivuilta huonetilaan (siniset nuolet) ja lämmin sekundääri-ilma (punaiset nuolet) imetään aktiivipalkin keskellä sijaitsevan rei'itetyn levyn kautta.

Lämmonsiiro lämpimästä huoneilmasta jäähdytettyn veteen jäähdytyspatterin lävitse riippuu useasta asiasta. Veden massavirta valitaan siten, että tarvittava jäähdytysteho saavutetaan ja täten haluttu palkista poistuvan veden lämpötila saavutetaan. Lisäksi on varmistettava, että vesivirta on tarpeeksi suuri, jotta virtaus on turbulენტtista eikä jouduta laminaarivirtauksen puolelle. Lämpötehon siirtyminen on huomattavasti voimakkaampaa turbulენტtisen virtauksen vallitessa. Massavirtaan liittyen myös vesivirran nopeus on pidettävä sallituissa rajoissa, jotta painehäviöt pysyvät

maltillisina sekä eroosiokorroosiolta välttyttäisiin. Myös jäähdytysveden ja huoneen ilman keskimääräinen lämpötilaero vaikuttaa lämmönsiirtoon huomattavasti. Kolmas merkittävä tekijä on palkin patterin konduktanssi, jolla tarkoitetaan lämmönsiirtokerrointa indusoituneen huoneilman ja patterissa virtaavan veden välillä. Konduktanssi riippuu patterin koosta sekä myös suuttimien tyypistä ja määrästä. /10, s.4; 13./

Aktiivipalkin lämmitys- ja jäähdytysteho muodostuu primääri-ilman kuljettamasta tehosta ja veden kuljettamasta tehosta. Lvi-suunnitelmista ja lämmitys- sekä jäähdytystehontarvelaskelmien perusteella käyttäjän tiedossa on haluttu primääri-ilman sisäänpuhalluslämpötila sekä jäähdytysveden meno- ja paluuveden lämpötilat sekä vesivirta. Primääri-ilman kuljettama teho saadaan laskettua primääri-ilmamäärän ja primääri-ilman sekä huonelämpötilan avulla kaavan 1 mukaan, jossa käytetään lämpötilaerona tässä tapauksessa huonelämpötilan ja primääri-ilman lämpötilan eroa. Veden kuljettama teho saadaan kaavan 1 avulla, jossa tiheyden ja tilavuusvirran tulo voidaan korvata massavirralla /4, s. 331/

$$\phi_{\text{patteri,vesi}} = q_m \cdot c_p \cdot (t_{w,out} - t_{w,in})$$

jossa

$\phi_{\text{patteri,vesi}}$	veden kuljettama teho (W)
q_m	veden massavirta (kg/s)
$t_{w,out}$	paluuveden lämpötila (K tai °C)
$t_{w,in}$	menoveden lämpötila (K tai °C)

Lämmitystehon laskennassa veden lämpötilat ovat yllä olevassa kaavassa toisinpäin. Ilmasta patteriin siirtyvä teho puolestaan saadaan laskettua kaavan 2 /13; 14/ avulla

$$\phi_{\text{patteri,ilma}} = K \cdot (t_r - \frac{t_{w,in} + t_{w,out}}{2})^n \quad (2)$$

jossa

$\phi_{\text{patteri,ilma}}$	ilmasta patteriin siirtynyt teho (W)
K	patterin konduktanssi (W/K)
t_r	huonelämpötila (K tai °C)

n lämmönluovutuksen eksponentti

Kaavassa 2 voidaan käyttää huoneen ja veden keskimääräisen lämpötilaeron laskemisessa aritmeettista keskiarvoa, kun veden lämpötilaero on pieni. Muussa tapauksessa käytetään logaritmista keskiarvoa. Jäähdytyspalkkien patterin konduktanssi on lämmönsiirtymiskerroin veden ja indusoituneen sekundääri-ilman välillä ja se on määritelty erikseen palkkityypistä ja suuttimista riippuen mittausten perusteella. /13; 6, s. 165./

Veden kuljettama jäähdytysteho siirtyy kokonaisuudessaan aktiivipalkin patterin läpi indusoituneeseen sekundääri-ilmaan lämmitystilanteessa ja päinvastaisesti jäähdytystilanteessa. Yhtälön muodossa siis

$$\phi_{\text{patteri,ilma}} = \phi_{\text{patteri,vesi}}$$

Valitulla palkilla saatava jäähdytys- tai lämmitysteho watteina yhteensä on ilmatehon ja vesitehon summa kaavan 3 mukaan

$$\phi_{\text{tot}} = \phi_{\text{ilma}} + \phi_{\text{patteri}} \quad (3)$$

jossa

ϕ_{ilma} primääri-ilman teho (W)

ϕ_{patteri} vesiteho, $\phi_{\text{patteri}} = \phi_{\text{patteri,ilma}} = \phi_{\text{patteri,vesi}}$ (W)

Myös lämmitys- ja jäähdytystehoille sekä –tehontarpeille on annettu maksimi- ja optimiarvot. Aikaisemmin esitetystä taulukossa 5 on annettu ilmastointipalkeille maksimi- ja optimiarvot jäähdytys- ja lämmitystilanteissa tehollista palkkimetriä kohti. Liian suuri teho per metri, samoin kuin ilmamäärä per metri aiheuttaa vedon tunteen riskin jäähdytystilanteessa. Lämmitystilanteessa vaarana on lämpötilakerrostuminen, jolloin jäähdytyspalkissa sekoittunut ilma ei sekoitu huoneilmaan ja haluttu ilmanjaon periaate ei toteudu. /7, s.54; 10./

Konvektion tehokkuus riippuu palkkiin johdetusta primääri-ilmavirrasta, josta riippuu myös indusoituneen huoneilman eli sekundääri-ilman määrä. Sekundääri-ilmamäärän ja primääri-ilmamäärän suhdetta kutsutaan induktioasteeksi kaavan 4 mukaan /10/

$$\text{Induktioaste} = \frac{q_{v,\text{sekundääri-ilmä}}}{q_{v,\text{primääri-ilmä}}} \quad (4)$$

jossa

$q_{v,\text{sekundääri-ilmä}}$ indusoitunut ilmamäärä huoneesta (l/s, m³/s)
 $q_{v,\text{primääri-ilmä}}$ jäähdytyspalkkiin johdettu ulkoilmavirta (l/s, m³/s)

Vastaavasti induktiosuhde tarkoittaa jäähdytyspalkissa induktion seurauksena sekoittuneen ilmamäärän suhdetta primääri-ilmamäärään kaavan 5 mukaisesti /9;12/. Induktiosuhde on siis yhden suurempi kuin induktioaste.

$$\lambda = \frac{q_{v,\text{sekoittunut}}}{q_{v,\text{primääri-ilmä}}} \quad (5)$$

jossa

λ induktiosuhde
 $q_{v,\text{sekoittunut}}$ primääri-ilmamäärä+sekundääri-ilmamäärä (l/s, m³/s)

Induktioaste ja –suhte riippuvat suuttimien määrästä ja niiden koosta sekä aktiivipalkin geometriasta. Aktiivipalkin geometrialla tarkoitetaan tässä sen rakenteellista vaikutusta induktioon, kuten ulospuhallusraon korkeutta ja täten myös raon poikkipinta-alaa. Pienemmällä suutinhalkaisijalla saavutetaan suurempi induktiosuhde. Samalla kasvaa myös painehäviö. Jos palkin suunniteltu primääri-ilmamäärä pidetään vakiona ja suuttimien kokoa suurennetaan, induktiosuhde pienenee. Jos halutaan päästä samaan painehäviöön, saadaan suuremmilla suuttimilla tuotua enemmän primääri-ilmaa huonetilaan. Induktioasteen pienentyessä lämmönsiirron tehokkuus kuitenkin pienenee vastaavasti. /9; 12, s. 20./

4.2.3 Erikoistuotesuunnittelussa käytettävät tuotteet

Tässä opinnäytetyössä kehitetään mitoitus- ja valintaohjelmisto tuotteille, jossa suutinväliä voidaan muuttaa. Toisin sanoen kohteena on tuotteet, jotka perustuvat edellä mainittuun induktioon, eli aktiivijäähdytyspalkit. Kuten jo johdannossa mainittiin, erikoistuotteissa suutinväliä on muutettu tuotteen vakiosuutinvälistä

poikkeavaksi. Tällä hetkellä Haltonilla on valittavissa useita aktiivipalkkityyppejä ja induktioperiaatteeseen perustuvia laitteita eri käyttö- ja asennustarkoitukseen. Tässä luvussa on esitellään lyhyesti tuotteet, joissa suutinväliä voidaan muuttaa. Kuvassa 11 näkyy erään aktiivipalkin suuttrinrivi palkin ulospuhallusraosta kuvattuna.



KUVA 11. Aktiivijäähdytyspalkin suuttimet

Taulukossa 6 on alla esiteltävien tuotteiden vakiosuutinvälit sekä minimi- ja maksimisuutinvälit, joiden rajoissa suutinväliä voidaan muuttaa. Liitteessä 1 on mainittu myös jokaisen tuotteen vakiosuutinvälit suutintyypeittäin. Taulukosta 6 poiketen CBD –palkin A-suuttimen vakiosuutinväli on 27mm. Minimiarvot johtuvat tuotannollisista syistä eli ne ovat pienimmät suutinvälit, jotka palkkeihin voidaan tehdä. Maksimiarvo on määritelty siitä syystä, että sen ylittyessä voidaan jo valita seuraava suutintyyppi. /15./

TAULUKKO 6. Palkkimallien suutinten vakio-, minimi- ja maksimisuutinvälit

Palkkimalli	Vakiosuutinväli (mm)	Minimiväli (mm)	Maksimiväli (mm)
Rex 600	30	20	40
CBD	30	20	40
CBX	30	25	40
CBH	28	20	40
CCE	30	20	40
CBQ	30	20	40

Rex 600 -aktiivipalkki on alaslaskettuun kattoon asennettava kahteen suuntaan puhaltava ilmastointipalkki, joka soveltuu myös lämmitykseen. Tämän palkin käyttökohteita ovat tilat, joissa on suuri jäähdytystehontarve, mutta pieni kosteuskuorma, kuten toimistotilat, maisemakonttorit ja neuvottelutilat. Rex 600 -

palkki on optimaalinen käyttötarkoitukseltaan muuttuviin tiloihin muuntojoustavuutensa ansiosta. Muuntojoustavuudella tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, kun esimerkiksi tilan käyttötarkoitus muuttuu toimistohuoneesta neuvotteluhuoneeksi, voidaan suuremmat ilmanvaihdon ja jäähdytystehon tarpeen vaatimukset toteuttaa päätelaitetta eli aktiivipalkkia vaihtamatta. Kuvassa 12 on kuvattu kaikki tarkastelun kohteena olevat aktiivijäähdytyspalkit. CBQ -talotekniikkapalkkeihin on lisätty valaisimet ja se on kahteen suuntaan puhaltava ilmastointipalkki. CBX -aktiivipalkki puhaltaa ilman neljään suuntaan neliön muotoisesti. Tällä päästään korkeampaan jäähdytyskapasiteettiin sekä tehokkaampaan ilman sekoittumiseen. CBX -palkit ovat soveltuvia myös toimistoihin ja neuvottelutiloihin. CBX -palkkeja on valittavissa kahta kokoa, 600mm ja 1200mm CBD -ilmastointipalkki vastaa toiminnoiltaan ja käyttötarkoitukseltaan Rex 600:sta, ulkonäkö on vain hieman erilainen. CCE -jäähdytyspalkki on vapaaseen asennukseen tarkoitettu malli, joka käy myös lämmitykseen. CBH -palkki on myös vapaaseen asennukseen tarkoitettu, mutta se on yhteen suuntaa puhaltava jäähdytyspalkki, joten se sopii erinomaisesti seinäasennukseen. CBH -palkin käyttökohteita ovat olleet varsinkin hotellihuoneet. /16./



KUVA 12. Esimerkkikuvat Haltonin aktiivijäähdytyspalkkeista /17/

Yllä olevan kuvan 12 palkit ovat

1. Rex 600 -aktiivipalkki
2. CBQ -talotekniikkapalkki
3. CBX -aktiivipalkki
4. CBD -aktiivipalkki
5. CCE -aktiivipalkki
6. CBH -aktiivipalkki

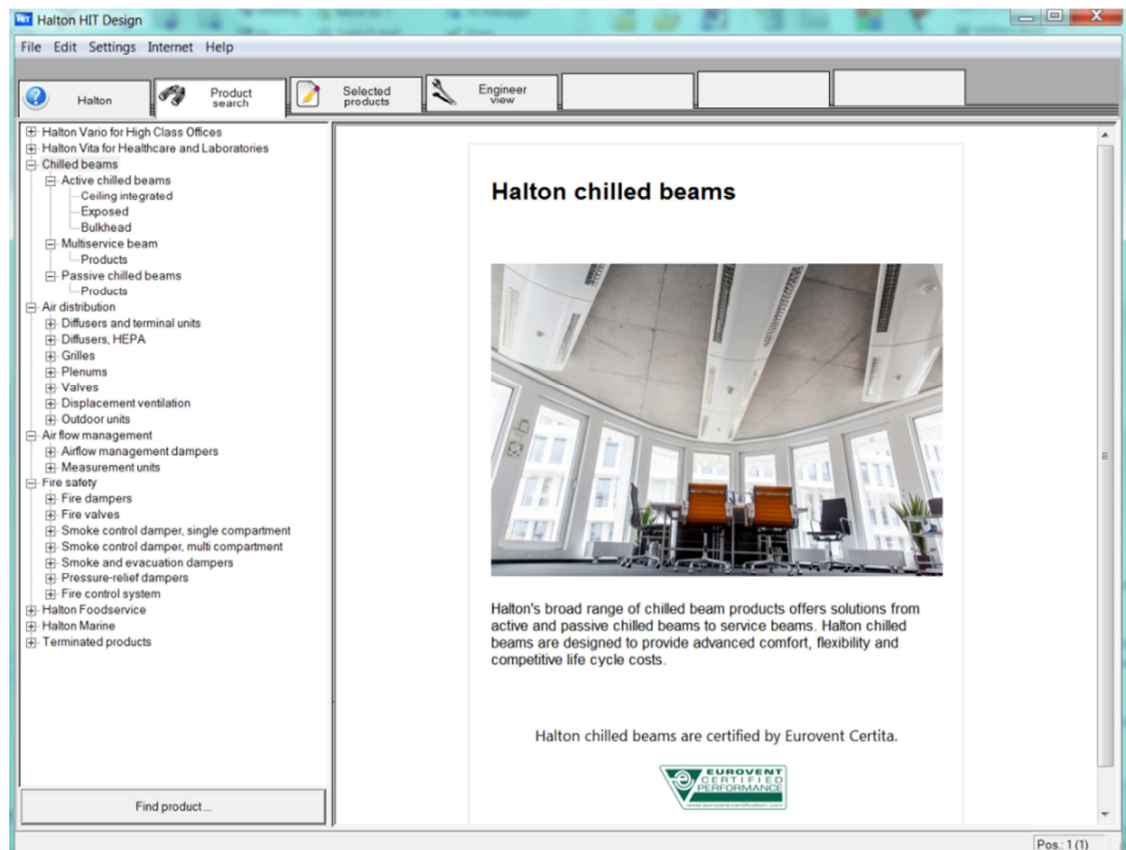
5 MITOITUS- JA VALINTAOHJELMISTO VAKIOTUOTTEILLE

Haltonilla on käytössä jo valintatyökalu vakiotuotteille eli tuotteille, joissa suutinväli on vakio, kun kyse on aktiivijäähdytyspalkkeista tai induktioperiaatteella toimivista laitteista. Ilmastointipalkkien lisäksi kyseisellä työkalulla voi valita myös normaalit ilmanvaihdon päätelaitteet kuten hajoittajat ja säleiköt sekä poistoilman päätelaitteet.

Valittavissa on myös muun muassa ilmapvirran hallintaan sekä paloturvallisuuteen liittyvät laitteet kuten säätö- ja palopellit. Tämä mitoitus- ja valintaohjelmisto, Halton HIT Design, on jokaisen ladattavissa Haltonin internet-sivuilta. Se onkin soveltuva monelle eri käyttäjäryhmälle esimerkiksi asiakkaille, urakoitsijoille, suunnittelijoille, opiskelijoille sekä Haltonin yrityksen omaan käyttöön myyntiin sekä asiakaspalveluun. Tässä luvussa esitellään Halton HIT Designin ominaisuuksia ja toimintoja. Se on tarpeenmukaista, sillä uusi mitoitusohjelmisto ETOHIT tulee pohjautumaan tähän ohjelmistoon ja osa laskentatoiminnoista ja –periaatteista on samat. Lisäksi sama tuotetietokanta, johon vakiotuotteiden valintatyökalu perustuu, tulee olemaan myös uuden erikoistuotteiden valintaan tarkoitetun ohjelmiston taustalla.

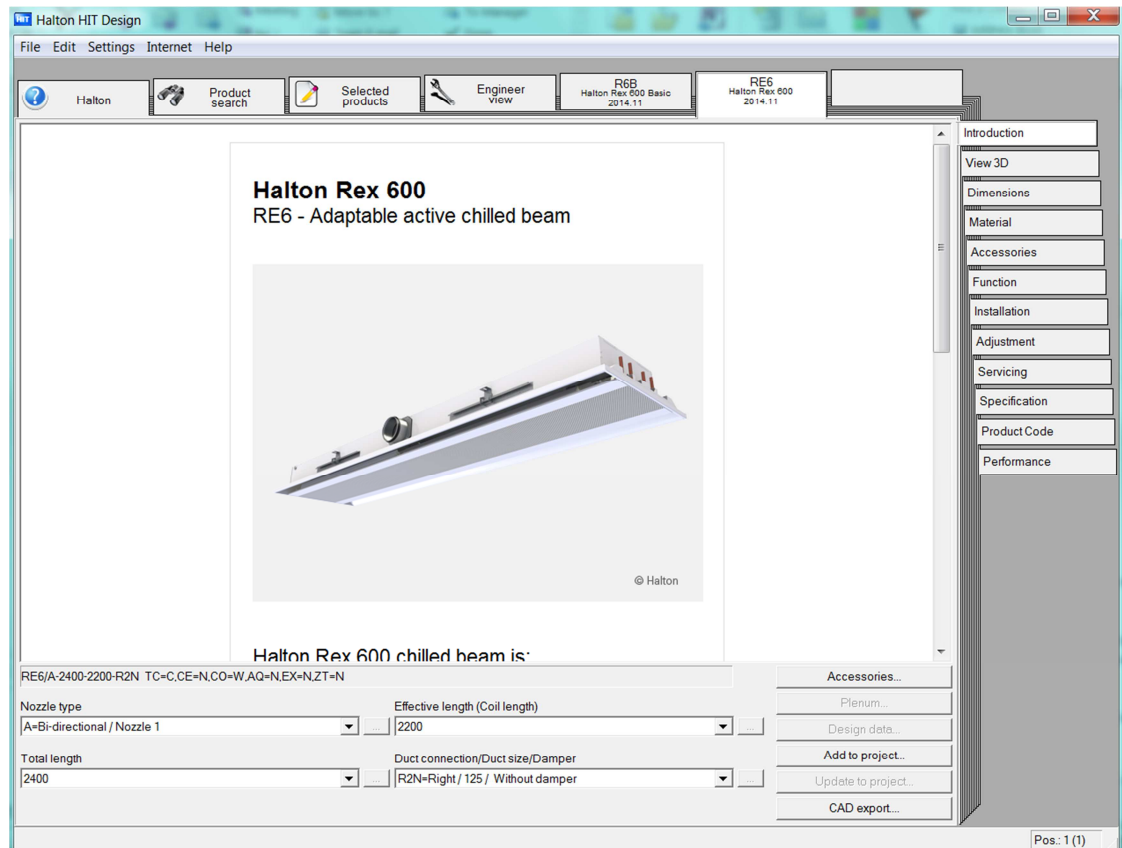
5.1 Tuotteen valinta

Ensimmäiseksi käyttäjä valitsee halutun tuotteen, jäähdytyspalkkien tapauksessa asennustavan mukaan. Kuva 13 on kuvakaappaus valintatyökalun tuoteluettelosivulta, josta tuoteryhmä ja –malli voidaan valita.



KUVA 13. Tuotteen valinta Halton HIT Designissa /17/

Kun haluttu tuote on valittu, avautuu tuotekohtainen ikkuna, jossa voidaan määrittellä tuotteen tarkempia tietoja (kuva 14).



KUVA 14. Tuotteen tarkempi määrittely HIT Designissa /17/

Kuvan 14 valintaikkunassa on esimerkkinä valittu Rex 600 -aktiivipalkki. Tuotteesta riippuu, minkälaisia tietoja tässä dialogissa voidaan määrittää. Jäähdytyspalkin valinnassa voi määrittellä suuttimen tyyppin eli koon, kun kyseessä on aktiivipalkki, palkin kokonaispituuden ja tehollisen pituuden eli palkin lamellipatterin pituuden sekä primääri-ilmakanavaliitännän suunnan. Vertailun vuoksi tuloilmahajoittaja valittuna käyttäjä voi määrittellä esimerkiksi vain tuloilmakanavan liitäntäkoon ja ilmasuihkun suuntauksen. Kuvan 14 oikeassa reunassa on valittavissa välilehtiä, joilla on tuotekohtaista tietoa. Ne sisältävät yleisen kuvauksen lisäksi tuotteen teknisemmän määrittelyn sekä mita- ja materiaalitiedot, toiminta-, asennus-, säätö- ja huolto-ohjeet sekä tuotekoodin ja kolmiulotteisen mallin. Alimmasta performance- eli toimintatiedot-valinnasta voidaan valita mitoittava laskenta jäähdytys- ja lämmitystilanteessa, äänitasotiedot sekä tuotteen pikavalintamahdollisuus, kun

mitoitettavat suunnittelutiedot ovat tiedossa. Kuvan 14 ikkunasta voidaan myös tuoda valitusta laitteesta malli AutoCAD -piirto-ohjelmaan.

5.2 Suunnittelutiedot ja laskenta

Valinta- ja mitoitusohjelman käyttäjällä (suunnittelija, asiakas tai vaikka opiskelija) on tapauskohtaisesti tiedossa suunnittelutiedot, jotka tarvitaan valitulla laitteella päästäviin jäähdytys- tai lämmitystehoihin. Käyttäjällä on tiedossa kyseessä olevan tilan jäähdytys- tai lämmitystehontarve, jotka täytyy kompensoida valitulla laitteella. Kuvassa 15 näkyy käyttäjän asetettavissa olevat tiedot sekä laskennasta saatavat tulokset.

Halton HIT Design - Unit selection design data

GENERAL
 Code:
 Name:

ROOM TYPE
 Office
 Absorption...

DIMENSIONS
 Length (L): 10.0 m
 Width (W): 6.0 m
 Height (H): 2.6 m

OCCUPIED ZONE
 Height: 1.8 m
 Distance from walls: 0.5 m

DESIGN CRITERIA

Cooling	
Temperature:	24.0 °C
Relative humidity:	50 %
Heat gain/loss	0 W

Heating	
Temperature:	20.0 °C
Relative humidity:	50 %
Heat gain/loss	0 W

DESIGN DATA FOR COOLING

Total air flow rate: 20 l/s
 Min. total airflow rate: 0 l/s
 Nozzle airflow rate: 20 l/s
 Static chamber pressure: 85 Pa
 Total pressure drop: 87 Pa
 Supply air temperature: 18.0 °C
 Inlet water temperature: 16.0 °C
 Outlet water temperature: 19.0 °C
 Water mass flow rate: 0.052 kg/s
 Lock summer+winter airflows

SPACE RESULTS

Air flow:	20 l/s
Room temperature:	24.0 °C
Heat gain:	0 W
Primary air capacity:	143 W
Coil capacity:	654 W
Total capacity:	797 W

UNIT PERFORMANCE

Air flow:	20 l/s
Nozzle airflow rate:	20 l/s
Primary air capacity:	143 W
Coil capacity:	654 W
Total capacity:	797 W
Water mass flow rate:	0.052 kg/s
Water pressure drop:	2.4 kPa
Outlet water temperature:	19.0 °C
Sound pressure level:	< 20 dB(A)

VELOCITY CONTROL
 Left: 3 Right: 3

VIEW
 3D Side vlim: 0.20 m/s

DESIGN STATUS
 Total capacity is 362 W/m. Check air velocities.

Update results Optimize...
 Ok Cancel

KUVA 15. Suunnittelutietodialogi Rex 600 -aktiivipalkille /17/

Kuvan 15 dialogin vasemmassa laidassa käyttäjä määrittelee huonetilan, johon valittu tuote asennetaan. Huonetyyppi -alasetolaatikossa on valittavissa muun muassa toimisto, luokkatila, auditorio, tehdastila, urheiluhalli sekä eteistila. Valitun tilatyypin

pituus, leveys ja korkeus on myös asetettavissa kuin myös oleskeluvyöhykkeen korkeus sekä etäisyys huoneen seinistä. Huoneen lämpötila, suhteellinen ilmankosteus sekä lämpökuormien ja –häviöiden määrät ovat käyttäjän valittavissa. /17./

Yleensä tiedossa on ilmavirta, joka tarvitaan tilan riittävän ilmanvaihdon varmistamiseksi. Tuotteesta riippuen käyttäjä voi valita joko kokonaisilmavirran tai suutinilmavirran. Aktiivipalkkien valinnassa suutinilmavirta johdetaan nimensä mukaisesti palkin suuttimien läpi. Jos kokonaisilmavirta on valittu ja se on suurempi kuin suutinilmavirta, määritellään erotuksen perusteella Haltonin palkkiin asennettavan HAQ -laitteen (Halton Air Quality) avaus. HAQ -laitteen avulla voidaan tilaan johtaa lisää ilmaa riittävän ilmanvaihdon varmistamiseksi. Vaihtoehtoisesti ilmavirralla käyttäjä voi valita myös staattisen kammiopaineen tai kokonaispainehäviön, jos sen haluttu arvo on tiedossa. Ilmavirran laskeminen tapahtuu kaavan 6 mukaan /4, s. 116/

$$q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (6)$$

jossa

q_v	ilmavirta (l/s)
k	laitteelle määritelty kerroin (yleensä yksikkönä (l/s)/(Pa ^{0,5}))
Δp	mittauspaine-ero (Pa)

Haltonin aktiivipalkkien suuttimien k-arvot on määritelty metriä kohden eli k/metri-arvoiksi, joten suutinilmavirta lasketaan kaavan 7 /17/ mukaisesti. Poikkeuksena on CBX -jäähdytyspalkki, jossa k-arvo suuttimille on määritelty laitetta kohden, jolloin laskenta suoritetaan kaavan 6 mukaisesti käyttäen paineena staattista kammiopainetta.

$$q_v = k \cdot l_{eff} \cdot \sqrt{\Delta p_m} \quad (7)$$

jossa

k	aktiivipalkille määritelty k/metri-arvo
l_{eff}	aktiivipalkin tehollinen eli patterin pituus (m)
Δp_m	staattinen kammiopaine (Pa)

Koska k-arvo on määritelty metriä kohden (paitsi CBX -jäähdytyspalkki), täytyy se kertoa aktiivipalkin tehollisella pituudella. Staattisella kammiopaineella tarkoitetaan aktiivipalkissa sijaitsevasta tuloilmakammioista mitattua staattista painetta. Yleisesti siis haluttu ilmavirta on tiedossa, jolloin kammiopaine saadaan laskettua kaavasta 7 kaavan 8 mukaisesti

$$\Delta p_m = \left(\frac{q_v}{k \cdot l_{eff}} \right)^2 \quad (8)$$

Kaavoissa 7 ja 8 ilmavirralla tarkoitetaan aktiivijäähdytyspalkin suutinilmavirtaa. Taulukossa 7 on esitetty esimerkkinä Rex 600 -palkin suutintyyppien k/metri-arvot, kun ilmavirran yksikkönä käytetään litraa per sekunti tai kuutiometri per sekunti. /17./ Muiden edellä esiteltyjen palkkien suutinvaihtoehdot ja k/metri-arvot löytyvät liitteestä 1.

TAULUKKO 7. Rex 600 -aktiivipalkin suuttimien k/metri-arvot /17/

Rex 600		
Suutin	k/m (l/s)	k/m (m ³ /s)
A	0,71	2,56
B	0,99	3,56
C	1,36	4,90
D	2,09	7,52
E	3,33	11,99

Kuvan 15 tilanteessa suutinilmavirraksi on valittu 20l/s, suuttimeksi B -suutin ja jäähdytyspalkin teholliseksi pituudeksi 2,2 metriä. Kaavan 8 mukaan staattinen kammiopaine tuloilmakammiossa on siis

$$\Delta p_m = \left(\frac{20l/s}{0,99 \cdot 2,2m} \right)^2 = 84,3Pa$$

Kaavan 8 antaman kammiopaineen ja valintaohjelman laskeman kammiopaineen välillä on 0,7 pascalin ero. Tämä johtuu siitä, että ohjelmaan voi syöttää ilmavirran ja paineen vain kokonaislukuna. Jos staattinen kammiopaine on 84Pa tai 85Pa, pyöristyy ilmavirta molemmissa tapauksissa 20 litraan per sekunti. Jäähdytyspalkkimallista ja suutintyyppistä riippuen staattiselle kammiopaineelle on asetettu maksimi- ja

minimi-arvot ja näin ollen myös määräytyy ilmavirralla raja-arvot. Kun kammiopaine on liian alhainen ja täten myös ilmavirta, ei jäädytetty ilmasuihku pysy jäädytyspalkista lähtiessään katossa vaan tippuu suoraan palkin alla oleskeluvyöhykkeelle, jolloin seurauksena saattaa aiheutua vedon tunnetta. Tätä ilmasuihkun kiinnittymistä tasoon kutsutaan myös Coanda-ilmiöksi. Liian suuri painetaso johtaa puolestaan liian suuriin ilmavirtoihin, jolloin riskinä on myös vedon tunne suuren jäädytystehon vuoksi. Mitoitustyökalu HIT Designissa käytetään minimiarvona palkista ja suuttimesta riippuvana 40-70 pascalia ja ylärajana 200 pascalia. Eri suuttimien minimikammiopaineet löytyvät liitteestä 1. /4, s. 266; 15; 17./ Myös jäädytys- ja lämmitysveden lämpötiloille sekä massavirroille on annettu raja-arvot. Aiemmin esitetystä taulukosta 5 nähdään, että suositusarvot massavirroille ovat 0,03-0,1kg/s ja 0,015-0,04kg/s putken halkaisijasta riippuen. Alaraja-arvojen alapuolella vaarana on, että virtaus on laminaarista, jolloin lämmönsiirron tehokkuus kärsii huomattavasti. Haltonin suositukset tuotteesta riippuen ovat jäädytystilanteessa noin 0,02-0,1kg/s ja lämmitystilanteessa 0,01-0,04kg/s. Jäädytysveden menoveden täytyy olla korkeampi kuin huonelämpötilan kastepistelämpötila huoneilman kondensoitumisen estämiseksi. Lämmitystilanteessa liian korkea menoveden lämpötila taas aiheuttaa sisäänpuhallusilman jäämisen huonetilan yläosaan. /10; 17./

Jäädytystehon laskenta perustuu kappaleessa 4.2.2 ”Aktiivipalkki” esitettyyn teoriaan. Kuvassa 15 jäädytystilanteessa on ilmatehoksi laskettu 143 wattia, kun lämpötilaero on 6 celcius-astetta ja ilmavirta 20l/s. Aktiivijäädytyspalkin jäädytyspatterin tehon eli patteriin ilmasta siirtyvän lämpötehon määrittäminen tapahtuu iteroinnin avulla. Tehon laskenta perustuu veden lämpötilat määritettyinä veden massavirran etsimiseen, jolla lämmönsiirto huoneilmasta patteriin on yhtä suuri kuin jäädytysveden kuljettama teho. Jos massavirran raja-arvo ylittyy tai alittuu, määritetään massavirraksi raja-arvo ja tällöin lasketaan paluuveden lämpötila, jolla tehot ovat yhtä suuret. /14; 17./

Jäädytyspalkin lamellipatterin vesipuolen painehäviö riippuu palkin tehollisesta eli patterin pituudesta sekä sen tyypistä, veden massavirrasta sekä jäädytyspalkin tyypistä. Jokaiselle palkkityypille on määritetty vesipuolen painehäviöön vaikuttavat kertoimet jäädytys- ja lämmitystilanteessa. Jäädytyspalkkien patterien painehäviö vesipuolella lasketaan kaavan 9 /18/ mukaisesti

$$\Delta p_w = (a + b \cdot l_{eff}) \cdot q_m^z \quad (9)$$

jossa

Δp_w	patterin vesipuolen painehäviö (kPa)
a, b ja z	valitun palkin kertoimet
l_{eff}	valitun palkin tehollinen eli patterin pituus (mm)
q_m	veden massavirta (kg/s)

Termi $(a+b \cdot l_{eff})$ voidaan merkitä lyhyemmin myös lyhenteellä k_{coil} . Taulukossa 8 on esitetty yhteen suuntaan puhaltavan vapaan asennuksen CBH –aktiivipalkin kertoimet painehäviön laskemiseen patterissa. /18./

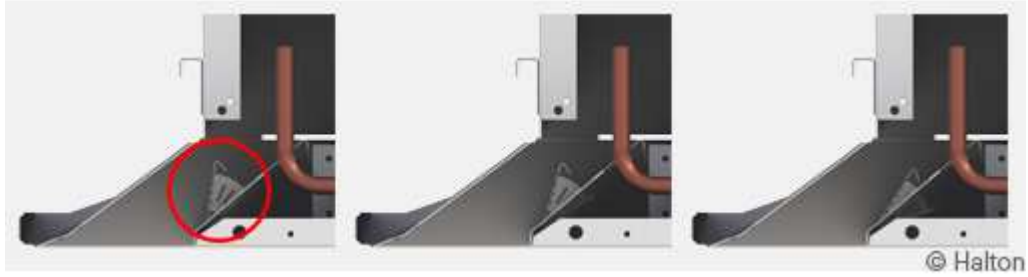
TAULUKKO 8. CBH -aktiivipalkin patterin painehäviölaskennan kertoimet /18/

Kerroin	Jäähdytys	Lämmitys
a	87,07	275,21
b	0,2293	0,7464
z	1,87	1,87

HIT Design -valintatyökalulla saadaan CBH-palkin, jonka tehollinen pituus on 2,1 metriä, painehäviöksi jäähdytystilanteessa patterissa 2,1kPa, kun veden massavirta on 0,05kg/s. Tarkistettuna kaavalla 9

$$\Delta p_w = (87,07 + 0,2293 \cdot 2100) \cdot 0,05^{1,87} = 2,098kPa \approx 2,1kPa$$

Suunnittelutietojen dialogissa (kuva 15) oikeassa laidassa näkyy valitun tuotteen tai tuotteiden sijainti huoneessa. Tuotteiden lukumäärää ja sijaintia voi muuttaa, mutta asennuskorkeus on huonekorkeuteen sidonnainen. Dialogissa voi myös muuttaa HVC –nopeussäätimen asentoa (Halton Velocity Control). HVC –säätimellä pystytään vaikuttamaan ilmasuihkun nopeuteen ja myös jäähdytys- ja lämmitystehoon. HVC –säätimen asento nimittäin vaikuttaa jäähdytyspalkin patterin läpi indusoituneen sekundääri-ilmamäärän suuruuteen. Kuvassa 10 on esitetty HVC –säätimen asennot, itse säädin on merkitty punaisella ympyrällä. Kuvassa 16 on vasemmalta oikealle esitetty asennot 1, 2 ja 3. Asennossa 1 HVC –säädin rajoittaa palkista lähtevän ilmasuihkun nopeutta, asento 2 on normaaliasento ja asennossa 3 nopeutta lisätään. /17./

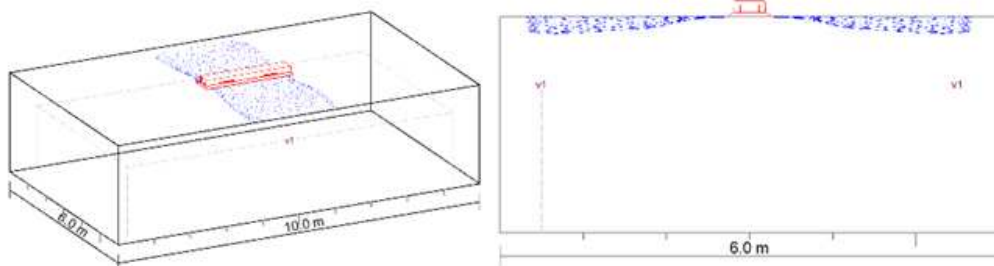


KUVA 16. Haltonin HVC –säädin ja sen eri asennot /17/

5.3 Tuloste ja ilmasuihkun mallinnus

Kun haluttu tuote on valittu ja tarvittava jäähdytys- tai lämmitysteho määritetty, saadaan tuotteesta A4-arkin kokoinen tuloste, jossa näkyvät sekä suunnittelu- että laskentatiedot. Tulosteessa näkyy myös tuotteiden sijainti tilassa. Kuva 17 esittää saatavaa tulostetta, mutta poikkeuksena on, että varsinaisessa tulosteessa huoneesta näkyy joko 3D- tai sivuprofiili.

Cooling		RE6/B-2400-2100-R2N+N		2015 09	
Room:		Supply air flow rate:	21 l/s		
Room size:	10.0 x 6.0 x 2.6 m		0.3 l/(sm ²)		
Occupied zone:	h=1.8 m / dw=0.5 m	Supply air temperature:	18.0 °C		
Room air:	24.0 °C / 50 %	Total pressure drop:	105 Pa		
Heat gain:	-	Unit sound pressure level:	< 20 dB(A) 10m ² sab		
Installation height:	2.60 m	Total sound pressure level:	< 20 dB(A)		
Inlet water temperature:	14.5 °C	Primary air capacity:	151 W		
Outlet water temperature:	18.2 °C	Total cooling capacity:	928 W		
Water flow rate:	0.050 kg/s		442 W/m, 15 W/m ²		
Coil capacity:	778 W	Dew point temperature:	12.9 °C		
	370 W/m	Velocity control:	left=3, right=3		
Water pressure drop:	2.1 kPa	Flow damper opening:	-		
		L _d :	-		
Velocity point	v1				
Nozzle jet	-0.10 m/s				
Nozzle jet, isothermal	-0.10 m/s				
dt (nozzle jet-room air)	-0.2 °C				
Heat sources and their location may influence the velocity and direction of the jet					
v _{lim} = 0.20 m/s					



KUVA 17. Tulosteen tiedot sekä huoneen 3D- ja sivuprofiili /17/

Kuvassa 17 näkyy ilmasuihkun mallinnus sinisenä pistekuviona. Ilmasuihkun pituus tulosteessa riippuu suunnittelutietodialogissa määritellyssä vlim-arvosta. Kun ilmasuihkun nopeus laskee tämän arvon alle, suihkun pistekuviota ei enää piirretä. Tulosteen tiedoissa näkyy myös ilman nopeuden arvoja tietyissä pisteissä. Yllä olevassa kuvassa näkyy vain v1-arvo, joka on ilmasuihkun nopeus sen törmätessä oleskeluvyöhykkeen määritellyyn ylärajaan. Jos valittuna olisi useampia laitteita samaan tilaan, näkyisi tulosteessa muun muassa ilman nopeus kahden ilmasuihkun törmätessä.

6 ERIKOISTUOTTEIDEN MITOITUSOHJELMISTO

Edellisessä luvussa kuvailtu valinta- ja mitoitustyökalu on siis vakiotuotteita varten. Asiakasprojektista riippuen vakiotuotteella ei aina välttämättä päästä asiakkaan asettamiin vaatimuksiin. Esimerkkinä on tapaus, jossa asiakkaalla on suunnitteilla vakio paineikanavisto ja ilmanvaihdon ja ilmastoinnin päätelaitteilta vaaditaan tietty painetaso. Vaaditulla primääri-ilmavirralla ja eri suutinvaihtoehdoilla ei kuitenkaan saavuteta haluttua kokonaispainehäviö- tai kammio painetasoa, jolloin ratkaisuna joudutaan muuttamaan suutinväliä päästääkseen haluttuun lopputulokseen. /15./ Näille erikoistuotteille tarkoitettu mitoitushjelmisto ETOHIT laskee erikoissuutinvälin sekä sen vaikutuksen muihin tekijöihin kuten jäähdytystehoon ja jäähdytyspalkissa sekoittuneen ilman lämpötilaan. ETOHIT:n tarkoitus on nopeuttaa erikoistuotteiden määrittämistä sekä valintaa ja samalla koko myyntiprosessia. Mitoitustyökalusta täytyykin tehdä mahdollisimman helppo, nopea ja yksinkertainen käyttää, jotta työkalun käyttäminen asiakaspalvelussa ja myynnissä sujuisi ongemitta. Tässä luvussa esitetään erikoissuutinvälin määrittäminen sekä sen vaikutukset mitoitushjelmiston laskentaan.

6.1 Laskenta

Erikoistuotteen määrittäminen perustuu vakiotuotteille tarkoitettun valintaohjelmiston HIT Designin pohjalla olevaan tuotetietokantaan ja myös sen laskentaan ja siitä saataviin laskentatuloksiin. Seuraavaksi esitellään suutinvälin laskeminen ja sen vaikutus sekundääri-ilmän määrään ja lämpötilaan sekä jäähdytyspalkin patterin tehoon. Tehon muuttuessa muuttuu myös veden massavirta tai vastaavasti veden lämpötilaero. Lisäksi kerrotaan suutinvälin muuttumisen vaikutus äänitasoihin sekä

esitellään uudet ominaisuudet, jotka lisätään ETOHIT:iin verrattuna Halton HIT Designiin.

6.1.1 Erikoissuutinväli

Tyypillinen tapaus on siis, että halutulla suutinilmavirralla ei saavuteta haluttua staattista kammiopainetta, jolloin suutinväliä joudutaan muuttamaan. Määritellään erikoissuutinväli seuraavan esimerkin avulla. Olkoon esimerkissä jäähdytyspalkki Rex 600, jonka pituus on 2,4 metriä ja tehollinen pituus 2,1 metriä. Haluttu kammiopaine on 120Pa ja suutinilmavirta 20l/s. Kyseisellä ilmavirralla kammiopaine on vakiotuotteiden valintaohjelman mukaan A-suuttimella 182Pa ja B-suuttimella 93Pa. Lasketaan uusi suutinväli jokaiselle kyseisen palkin suutinvaihtoehdolle. Liitteessä 1 on ilmoitettu eri aktiivipalkkien suuttimien tietoja. Suuttimille määritettyjen k/metri-arvojen perustella voidaan laskea suuttimien määrän metriä kohden vakiotuotteessa, kun tiedetään eri suuttimien vakiosuutinväli (taulukko 6). Kahteen suuntaan puhaltavissa palkeissa kerrotaan suutinten määrä per metri kahdella, jolloin otetaan huomioon palkin molemmat sivut, joilla suuttimia on, koska k/metri-arvo on myös määritelty ottaen huomioon palkin molemmat sivut kahteen suuntaan puhaltavissa palkeissa. CBX –jäähdytyspalkissa (neljään suuntaan puhallus) k-arvo on määritelty laitetta kohden, samoin on myös suutinten määrä. Jakamalla k/metri-arvot suutinten määrällä metriä kohden saadaan yhden suuttimen k-arvo. Seuraavassa vaiheessa lasketaan uusi k/metri-arvo halutulla kammiopaineella ja suutinilmavirralla kaavan 7 tai 8 mukaan

$$k = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p_m} \cdot l_{eff}} = \frac{20l/s}{\sqrt{120Pa} \cdot 2,1} = 0,87$$

Uusi k/metri-arvo on siis sama kaikille suutintyypeille. Kun jaetaan uusi laskettu k/metri-arvo k/suutin-arvolla, saadaan suuttimien määrä metriä kohden uudella suutinvälillä. Kertomalla suuttimien määrä tehollisella eli patterin pituudella (suuttimia on patterin pituisella matkalla jäähdytyspalkissa) saadaan puolestaan suuttimien yhteismäärä palkissa uudella suutinvälillä. Suutinmäärä ilmoitetaan kahteen suuntaan puhaltavissa palkeissa lähimpään parilliseen kokonaislukuun pyöristettynä, jotta molemmille palkkisivuille tulee sama suutinmäärä. Uusi suutinväli lasketaan jakamalla molempien sivujen tehollinen pituus yhteensä (esimerkissä

kahteen suuntaan puhaltava jäähdytyspalkki) suutinten yhteismäärällä. Suutinväli ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella millimetreinä alaspäin pyöristettynä. Taulukkoon 9 on merkitty esimerkkitilanteessa lasketut tiedot.

TAULUKKO 9. Esimerkkitilanteessa lasketut tiedot erikoissuutinväliä varten

Suutin	Suuttimia/metri	Suuttimia	Uusi suutinväli (mm)
A	82	172	24,4
B	59	124	33,8
C	43	90	46,6
D	28	58	72,4
E	17	36	116,6

Kuten aiemmin todettiin, HIT Designilla saadut kammiopaineet antoivat olettaa, että valinta osuu A- ja B-suuttimen välille. Tämän esimerkin tulosten perusteella päädytään B-suuttimen valintaan, sillä uusi suutinväli on lähimpänä vakiosuutinväliä. Tämä voidaan jo päätellä myös uudesta k/metri-arvosta, joka on vastaavasti lähinnä B-suuttimen vakiotuotteen k/metri-arvoa. Taulukkoon 9 on merkitty muiden suutintyyppien erikoissuutinväli esimerkkitapauksessa punaisella, koska suutinväli ei ole raja-arvojen välillä. Taulukossa 6 on kerrottu suutinvälien raja-arvot aktiivipalkin mallista riippuen. Minimisuutinvälit on määriteltä tuotannollisista syistä. Niitä pienempiä suutinvälejä ei voida valmistaa. Maksimisuutinvälin ylittyessä voidaan valita jo toinen suutin. /15./

6.1.2 Induktiosuhde

Suutinvälin muuttuminen vaikuttaa myös induktiosuhteeseen ja -asteeseen. Induktiosuhde laskettuna kaavalla 5 on sekundääri-ilman ja primääri-ilman yhteismäärän suhde primääri-ilmamäärään. Suutinvälin muuttuessa muuttuu myös suutinten lukumäärä. Induktiosuhteen voi laskea myös kaavan 10 /9, s. 52/ mukaisesti ulospuhallusaukon ja suuttimen halkaisijan suhteesta

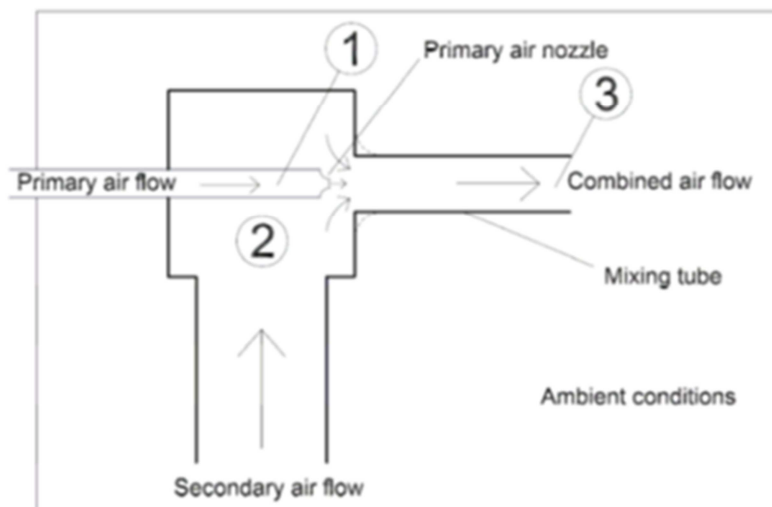
$$\lambda = \sqrt{\frac{A_{up}}{A_s}} \quad (10)$$

jossa

A_s suuttimen pinta-ala (m^2)

A_{up} ulospuhallusaukon pinta-ala (m^2)

Kuvassa 18 on havainnollistettu esimerkkinä suuttimen toimintaa.



KUVA 18. Periaatekuva suuttimen toiminnasta /9, s. 53/

Lasketaan edellisessä kohdassa lasketulla B-suuttimen erikoissuutinvälillä uusi induktiosuhde. Ensimmäiseksi lasketaan yhden suuttimen poikkipinta-ala. Suutintyyppien halkaisijat on ilmoitettu liitteessä 1. Halkaisijan avulla lasketaan pinta-ala kaavalla 11

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (11)$$

jossa

A pinta-ala (m^2)

d halkaisija (m)

Yhden B-suuttimen poikkipinta-ala Rex 600 –palkissa on siis

$$A = \frac{\pi \cdot (0,0041m)^2}{4} = 1,32 \cdot 10^{-5} m^2$$

Kun vakiosuutinväli on 30mm, saadaan metriä kohden suuttimia

$$\frac{1000\text{mm}}{30\text{mm}} = 33,3\text{kpl}$$

Seuraavaksi voidaan laskea ulospuhallusaukon pinta-ala palkissa, kun tiedetään kyseisen vakiosuutinvälillä olevan jäähdytyspalkin induktiosuhde, jos suutinilmavirta on 20l/s. Tämä tieto saadaan Halton HIT Designin tiedostosta, joka ilmoittaa ilmasuihkulaskennan tiedot. Kuvassa 19 on kuvakaappaus kyseisestä tekstitiedostosta esimerkin mukaisella palkilla, jossa induktiosuhdetta on merkitty nimellä induction coeff.

```
= DEVICE DATA =
INST H: 2.6
TEMP : 24.0
```

```
JetIndex      = 0
VelocityZone  = 0.20
Initial qv    = 51.73 l/s (includes induction airflow)
Outlet area   = 0.0630 m2
Initial angle = 0.0 deg
Induction coeff= 5.0000
Initial c-coeff= 0.0900
```

KUVA 19. Kuvakaappaus ilmasuihkulaskennan tiedoista /17/

Suutinten yhteispinta-ala metriä kohden saadaan kertomalla suutinten määrä metriä kohden yhden suuttimen pinta-alalla

$$1,32 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot 33,3\text{kpl} = 4,4 \cdot 10^{-4} m^2$$

Ulospuhallusaukon pinta-ala lasketaan kaavasta 10 seuraavalla tavalla

$$A_{up} = A_1 \cdot \lambda^2 = 4,4 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 5^2 = 0,011 m^2$$

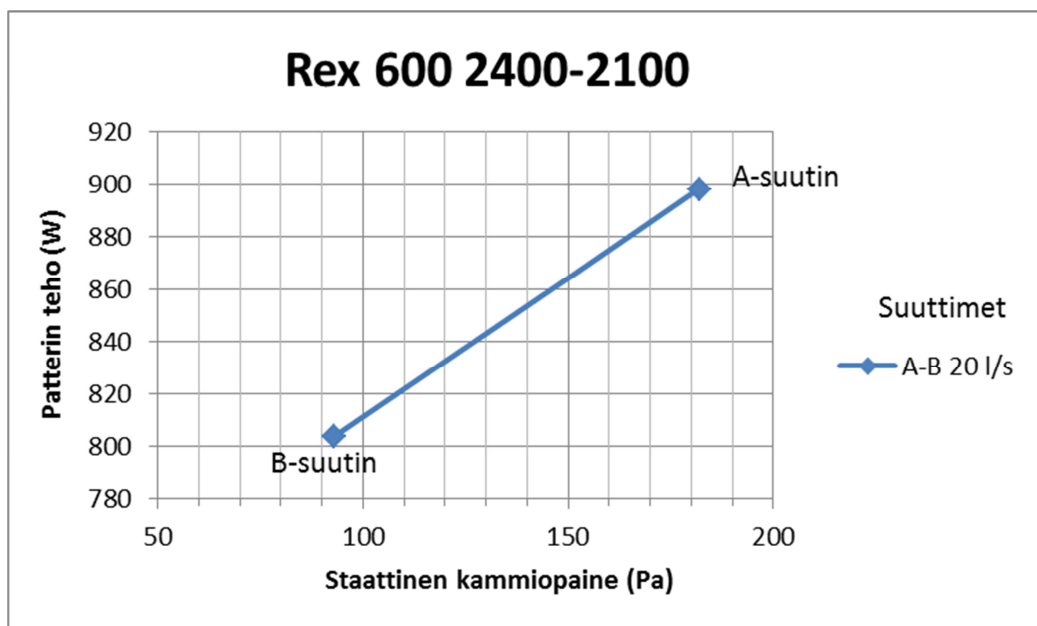
Uudella erikoissuutinvälillä 33,8mm saadaan suuttimia metriä kohden 29,6kpl. Uudeksi suuttimien yhteispinta-alaksi metriä kohden saadaan täten $3,906 \cdot 10^{-4} m^2$. Kun jäähdytyspalkin pituus ei itsessään muutu, pysyy myös ulospuhallusaukon pinta-ala muuttumattomana. Uusi induktiosuhde on siis

$$\lambda = \sqrt{\frac{0,011 m^2}{3,906 \cdot 10^{-4} m^2}} = 5,307$$

Induktiosuhteen muuttuminen on suoritettu tässä esimerkissä jäädytyspalkin tehollista metriä kohti. Samaan tulokseen päästään, jos käytetään kokonaistehollispituutta 2,1 metriä, sillä laskettu ulospuhallusaukon pinta-ala ja suutinten yhteispoikkipinta-ala muuttuvat samassa suhteessa. Tuloksista nähdään, että suutinvälin kasvaessa eli suuttimien määrän vähentyessä induktiosuhde kasvaa.

6.1.3 Jäädytyspalkin patterin tehon määrittäminen

Jäädytyspalkin tehon määrittäminen perustuu ETOHIT:ssä kahden peräkkäisen suuttimen tarkasteluun halutuilla suunnitteluarvoilla (suutinilmavirta ja staattinen kammiopaine). Tässäkin laskennassa ja tarkastelussa saatavat pohjatiedot perustuvat vakiotuotteille tarkoitetun HIT Designin laskemiin arvoihin. Tehon määrittämisen periaate on esitetty kuvassa 20 esimerkin avulla.



KUVA 20. Patterin tehon määrittäminen halutuilla suunnitteluarvoilla jäädytystilanteessa

Kuvassa 20 on suunniteltuna suutinilmamääränä käytetty 20l/s ja valittu palkkimalli on Rex 600, jonka pituus on 2,4 metriä ja tehollinen pituus 2,1 metriä. Halton HIT Design antaa A- ja B-suuttimille kammiopaineiksi 182Pa ja 93Pa. Vastaavat jäädytystehot ovat 898 ja 804 wattia, kun menoveden lämpötila on 14,5 astetta ja veden massavirta on vakio 0,06kg/s. Vakiomassavirran tilalla voidaan käyttää myös

vakiona jäädytysveden lämpötilaeroa. Olkoon esimerkissä haluttu kammioaine 120 pascalia, kun muut suunnitteluarvot pysyvät vakioina. Halutuilla suunnitteluarvoilla ETOHIT valitsee kaksi suutinta, tässä tapauksessa A- ja B-suuttimet, joiden välille valinta osuu ja tehon määrittäminen tapahtuu interpoloinnin avulla. Interpolointi tapahtuu kaavan 12 /19/ mukaan

$$\phi_{patteri} = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) \quad (12)$$

jossa

$\phi_{patteri}$	interpoloinnilla saatava patterin teho (W)
y_1	vakiotuotteen teho B-suuttimella (W)
y_2	vakiotuotteen teho A-suuttimella (W)
x	haluttu kammioaine (Pa)
x_1	vakiotuotteen kammioaine B-suuttimella (Pa)
x_2	vakiotuotteen kammioaine A-suuttimella (Pa)

Kaavassa 12 on laskenta tehty B-suuttimesta päin. Patterin tehon voi myös laskea A-suuttimesta päin, jolloin kaava on muotoa

$$\phi_{patteri} = y_2 - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x_2 - x)$$

Molemmilla kaavoilla lopputulos on sama. Ideana on siis, että ratkaistaan kulmakerroin, eli kuinka paljon teho muuttuu, kun kammioaine muuttuu yhden pascalin. Kulmakerroin kerrotaan halutun kammioaineen ja vakiotuotteen suuttimella saatavan kammioaineen erotuksella ja lisätään tai vähennetään vakiotuotteella saatavaan patterin tehoon suuttimesta riippuen. Edellä mainituin arvoin saadaan siis patterin tehoksi molemmilla kaavoilla laskettuina

$$\phi_{patteri} = 804W + \frac{898W - 804W}{182Pa - 93Pa} \cdot (120Pa - 93Pa) = 832W$$

$$\phi_{patteri} = 898W - \frac{898W - 804W}{182Pa - 93Pa} \cdot (182Pa - 120Pa) = 832W$$

Kuvasta 20 voidaan silmämääräisesti tarkistaa, että laskettu patterin teho täsmää, kun kammiopaineen halutaan olevan 120Pa. Kuvan 20 arvot ja esimerkin tiedot on jäädytystilanteesta. Patterin lämmitystehon määrittäminen tapahtuu samalla tavalla.

Käyttäjän valinnasta riippuen saadun tehon perusteella määritetään uusi vesivirta tai veden lämpötilaero. Tämä riippuu siitä kumpi on asetettu dialogissa valintakriteeriksi. Jos patterin tehon määrittäminen tapahtuu vakio- lämpötilaeron ollessa valintakriteeri eli dialogissa on asetettu halutut meno- ja paluueden lämpötilat, saadaan veden massavirta laskettua tehon kaavalla eli kaavalla 1 seuraavasti

$$q_m = \frac{\phi_{patteri}}{c_{pw} \cdot (t_{w,out} - t_{w,in})}$$

jossa

c_{pw} veden massavirta (J/kg°C)

Vastaavasti paluueden lämpötila voidaan laskea samalla kaavalla, jos veden massavirta on asetettu dialogissa valintakriteeriksi

$$t_{w,out} = \frac{\phi_{patteri}}{c_{pw} \cdot q_m} + t_{w,in}$$

Tämän kappaleen esimerkissä interpoloiduksi tehoksi saatiin 832W, kun veden massavirta on 0,06kg/s ja menoveden lämpötila 14,5°C. Käytetään laskennassa veden ominaislämpökapasiteettia normaalissa huonelämpötilassa eli noin 4200J/kg°C. Paluueden lämpötilaksi saadaan

$$t_{w,out} = \frac{832W}{4200J / kg^{\circ}C \cdot 0,06kg / s} + 14,5^{\circ}C = 17,8^{\circ}C$$

Kun paluueden lämpötila ja samalla veden lämpötilaero pidetään vakiona, muuttuu veden massavirran lisäksi myös patterin painehäviö erikoistuotteessa vakiotuotteeseen verrattuna. Patterin painehäviön laskeminen tapahtuu samalla tavalla kuten

kappaleessa 5.2 kerrotaan, kun uusi veden massavirta saadaan määritettyä edellä mainitulla tavalla.

6.1.4 Jäähdytyspalkissa sekoittuvan ilman lämpötila

Kun saadaan laskettua erikoissuutinvälin vaikutus induktiosuhteeseen, voidaan uudella induktiosuhteella laskea patterin läpi indusoituneen sekundääri-ilmamäärä kertomalla induktiosuhde primääri-ilmamäärällä ja vähentämällä tulosta primääri-ilmamäärä. Interpoloidun tehon perusteella voidaan laskea sekundääri-ilman lämpötila patterin jälkeen. Täten pystytään määrittämään sekoittuneen primääri-ilman ja sekundääri-ilman lämpötila painotetulla keskiarvolla /20, s. 89-90/. Tässä tapauksessa ilmavirtojen lämpötiloja painotetaan niitä vastaavilla ilmamäärillä.

Indusoituneen sekundääri-ilman lämpötila jäähdytyspalkin patterin jälkeen ilman virtaussuunnassa saadaan laskettua niin ikään tehon kaavan (kaava 1) avulla seuraavasti

$$t_{\text{sekundääri-ilma}} = \frac{-\phi_{\text{patteri}}}{c_{pa} \cdot \rho_i \cdot q_{v,i}} + t_1$$

jossa

ϕ_{patteri}	interpoloitu jäähdytyspalkin patterin teho (W), negatiivinen etumerkki johtuu lämpövirran suunnasta
$t_{\text{sekundääri-ilma}}$	indusoituneen sekundääri-ilman lämpötila patterin jälkeen (°C)
t_1	ilman lämpötila ennen patteria, käytännössä huonelämpötila (°C)
c_{pa}	ilman ominaislämpökapasiteetti (J/kg°C)
ρ_i	ilman tiheys (kg/m ³)
$q_{v,\text{sekundääri-ilma}}$	patterin läpi indusoituneen sekundääri-ilmamäärä (m ³ /s)

Huoneeseen puhallettavan jäähdytyspalkissa sekoittuvan ilmasuihkun lämpötila on siis primääri-ilman ja sekundääri-ilman lämpötilojen keskiarvo ilmamäärillä painotettuna kaavan 13 mukaan

$$t_{sekoittunut} = \frac{t_{sekundääri-ilma} \cdot q_{v,sekundääri-ilma} + t_{primääri-ilma} \cdot q_{v,primääri-ilma}}{q_{v,sekundääri-ilma} + q_{v,primääri-ilma}} \quad (13)$$

jossa

$t_{sekoittunut}$	jäähdytyspalkissa sekoittuvan ilman lämpötila (°C)
$t_{primääri-ilma}$	primääri-ilman lämpötila (°C)
$q_{v,primääri-ilma}$	primääri-ilmamäärä (m ³ /s)

Kahteen suuntaan puhaltavissa aktiivijäähdytyspalkkeissa primääri-ilmamäärän ja sekundääri-ilmamäärän oletetaan jakautuvan tasaisesti molemmille palkkisivuille, kun sekoittuneen ilman huoneeseen puhallus tapahtuu symmetrisesti.

6.1.5 Staattisen kammiopaineen muutoksen vaikutus kokonaispainehäviöön

Kun käyttäjä määrittelee erikoistuotteen, jossa staattinen kammiopaine muuttuu poikkeavaksi vakiotuotteen kammiopaineesta, muuttuu myös ilmapuolella tuotteen kokonaispainehäviö. Suutinilmamäärän pysyessä vakiona, muuttuu kokonaispainehäviö samassa suhteessa kuin kammiopainetta muutetaan. /15./ Esimerkkinä käytettäköön edelleen samaa Rex 600 –aktiivipalkkia kuin aiemmin. Kun suutinilmavirta on 20l/s Halton HIT Design –valintaohjelma antaa A-suuttimelle staattiseksi kammiopaineeksi 182Pa ja kokonaispainehäviöksi 184Pa. B-suuttimen arvot ovat 93Pa kammiopainetta ja 95Pa kokonaispainehäviöksi. Jos staattinen kammiopaine halutaan olevan 120 pascalia ja valittaisiin A-suutin, olisivat arvot A-suuttimella seuraavat

Staattisen kammiopaineen muutos: 182Pa – 120Pa = 62Pa

Kokonaispainehäviön muutos on saman verran: 184Pa – 62Pa = 122Pa

Eli uudet arvot olisivat 120Pa kammiopainetta ja 122Pa kokonaispainehäviö. Jos valinta osuisi B-suuttimeen, olisivat uudet arvot

Staattisen kammiopaineen muutos: 120Pa – 93Pa = 27Pa

Kokonaispainehäviön muutos on saman verran: 95Pa + 27Pa = 122Pa

Eli uudet arvot olisivat samat 120Pa ja 122Pa.

6.1.6 Äänitasotiedot

Halton HIT Designissa äänenpainetasotiedot on määritelty mittauksin. Vakiotuotteiden äänitasotiedot on mitattu kolmella eri palkkipituudella: lyhyin ja pisin valittavissa oleva palkkipituus sekä keskipitkä palkkipituus. Näiden palkkien mittaustulosten perusteella on määritelty muiden palkkien äänenpainetasotiedot. ETOHIT:ssä äänenpainetasojen määrittäminen tapahtuu suutinmääriä vertaamalla vakiotuotteisiin, kun äänimittaustietoja erikoistuotteista erikoissuutinvälillä ei ole mitattu. Eli, kun erikoissuutinväli on laskettu ETOHIT:llä, saadaan sitä vastaava suuttimien määrä palkissa. Äänenpainetasotiedot haetaan sen pituisesta vakiotuotteesta samalla suutinilmavirralla, jossa suutintyyppi ja suutinmäärä vastaavat erikoistuotteen suutintyyppiä ja suutinmäärää. /15./

6.1.7 Muut uudet toiminnot verrattuna vakiotuotteiden valintatyökaluun

Uudessa ETOHIT:ssä käyttäjä pystyy määrittämään erikseen huoneen lämpötilan sekä lämpötilan lähellä kattoa, jotta mahdollinen lämpötilakerrostuminen voidaan ottaa huomioon. Huoneilman lämpötila lähellä kattoa vaikuttaa laskentoihin ja se otetaan niissä huomioon huonelämpötilan paikalla, jos se on asetettu dialogiin. Lisäksi käyttäjä pystyy itse määrittämään haluamansa raja-arvot suunnittelukriteereille, kuten ilmamäärälle, veden massavirralle sekä eri lämpötiloille. Muut suunnittelutietodialogiin tulevat muutokset ovat painikkeet tuotetietokantaan pääsemiseksi sekä ilmasuihkulaskennan tietojen avautuminen suoraan ETOHIT:stä. Tätä ennen ilmasuihkulaskennan tiedot päivittyvät erilliseen tekstitiedostoon aina, kun jotain suunnittelutietoja muutetaan ja jäähdytys- tai lämmitysteho lasketaan uudestaan. Näkyvin lisäominaisuus suunnittelutietodialogiin tulevien muutosten lisäksi on tuloste, johon tulevat suutinten lukumäärä ja erikoissuutinväli, jos se halutaan määrittää.

7 ERIKOISTUOTTEIDEN MITOITUSOHJELMISTON TESTAUS

Mitoitus- ja valintaohjelman huolellinen testaaminen on tärkeää, jotta sillä saadaan oikeita tuloksia ja sen käyttöönotto tapahtuisi mahdollisimman nopeasti ja sitä voidaan hyödyntää oikeissa asiakasprojekteissa. Tässä luvussa testataan ohjelmistoyrityksen valmistamaa testiversiota ETOHIT:stä edellä mainituin laskentaesimerkein sekä myös

oikeissa jäähdytystehomittauksissa käytetyin mittausrvoin. Lisäksi verrataan vielä uutta ohjelmistoa vakiotuotteiden valintaohjelmistoon todetakseen, että suunnitellut lisäominaisuudet on myös lisätty ja ne toimivat.

Kuvassa 21 on ETOHIT:n suunnittelutietodialogi, jossa on laskettu luvussa 6 kerrottujen suunnittelutietojen perusteella jäähdytysteho, suutinväli ja suutinmäärä.

Halton HIT Design - Unit selection design data - ETO Product - Custom nozzle: B (A-B) / 124 pcs / 33.8 mm

GENERAL
Code:
Name:

ROOM TYPE
Office
Absorption...

DIMENSIONS
Length (L): 10.0 m
Width (W): 6.0 m
Height (H): 2.6 m

OCCUPIED ZONE
Height: 1.8 m
Distance from walls: 0.5 m

DESIGN CRITERIA

Cooling	
Temperature:	24.0 °C
Temperature near ceiling:	24.0 °C
Relative humidity:	50 %
Heat gain/loss:	0 W

Heating	
Temperature:	20.0 °C
Temperature near ceiling:	20.0 °C
Relative humidity:	50 %
Heat gain/loss:	0 W

DESIGN DATA FOR COOLING

Total air flow rate: 20 l/s
 Min. total airflow rate: 0 l/s
 Nozzle airflow rate: 20 l/s
 Static chamber pressure: 120 Pa
 Total pressure drop: 122 Pa
 Find custom nozzle

Supply air temperature: 18.0 °C
Inlet water temperature: 14.5 °C
 Outlet water temperature: 17.8 °C
 Water mass flow rate: 0.060 kg/s
 Lock summer+winter airflows

SPACE RESULTS

Air flow:	20 l/s
Room temperature:	24.0 °C
Heat gain:	0 W
Primary air capacity:	143 W
Coil capacity:	832 W
Total capacity:	975 W

UNIT PERFORMANCE

Air flow:	20 l/s
Nozzle airflow rate:	20 l/s
Primary air capacity:	143 W
Coil capacity:	832 W
Total capacity:	975 W
Water mass flow rate:	0.060 kg/s
Water pressure drop:	3.0 kPa
Outlet water temperature:	17.8 °C
Sound pressure level:	<20 dB(A)

VELOCITY CONTROL
Left: 3 Right: 3

VIEW
 3D Side vlim: 0.20 m/s

DESIGN STATUS
Total capacity is 464 W/m. Check air velocities.

ETO TOOLS
Set limits... Jet calc... Q-base...
Update results Optimise...
Ok Cancel

KUVA 21. ETOHIT:n suunnittelutietodialogi

Kuvan 21 dialogiin on siis syötetty arvot, joita on käytetty edellä mainituissa laskentaesimerkeissä. Dialogissa on asetettu valinnaksi "Find custom nozzle", jolloin käyttäjä voi syöttää haluamansa suutinilmavirran ja staattisen kammiopaineen. Kun muut suunnitellut arvot on myös syötetty, ohjelmisto määrittää patterin tehon interpoloimalla luvussa 6 esitetyllä tavalla. Tulokseksi on saatu sama 832 wattia ja massavirta asetettuna vakioksi paluuveden lämpötila on myös sama kuin laskettu 17,8°C. Myös staattisen kammiopaineen ja kokonaispainehäviön suhde pysyy samana, kuten kohdassa 6.1.5 määriteltiin. Halton HIT Designilla saatu patterin vesipuolen painehäviö on 3,0kPa, joka on sama myös tässä erikoistuotteessa, koska veden

massavirta on haluttu pysyvän vakiona. Erikoistuotteen äänenpainetaso on tarpeeksi alhainen (<20dB(A)). Rex 600 –aktiivipalkissa, jossa on lähin määrä suuttimia verrattuna määriteltyyn erikoistuotteeseen (124kpl), on palkki, jonka tehollinen pituus on 1,9 metriä (tarkistettu Halton HIT Designilla). Suuttimia on 126kpl, joka on lähinnä oleva suutinmäärä. Suutinmäärä on laskettu jakamalla molempien sivujen yhteistehollispituus eli 3,8 metriä vakiosuutinvälillä, joka on 30 millimetriä. Tässä vakiotuotteessa äänenpainetaso on myös alle 20dB(A), kun ilmavirta on 20l/s (kammiopaine 114Pa).

Kuvassa 21 on optimoitu suutintyyppi, suutinmäärä ja erikoissuutinväli ilmoitettu dialogin ylälaudassa. Suutinmäärä ja –väli ovat vastaavat 124kpl ja 33,8mm, jotka luvun 6 esimerkissä määriteltiin. Lisäksi ETOHIT-mitoitusohjelmisto on optimoinut oikean suutintyyppin, joka myös esimerkeissä todettiin parhaaksi valinnaksi. Ylälaudassa ilmoitettu suutintyyppien väli A-B ilmoittaa, minkä suuttimien väliltä valinta on tehty. Jos dialogissa valitaan huonetilaan useampi samanlainen laite, päivittyy tila- ja yksikkötiedot erikseen samanlailla kuin HIT Designissa eli suunnittelutiedoilla määritetään koko tilan laskenta eikä vain yhden laitteen.

”Temperature near ceiling”-kohdassa käyttäjä voi asettaa huoneilman lämpötilan lähellä kattoa. Sen arvon voi asettaa välillä huonelämpötila ± 2 celcius-astetta. Kuvassa 22 näkyy suunnittelutietojen raja-arvojen määrittämisen ikkuna, johon päästään kuvassa 21 näkyvässä suunnittelutietodialogissa ”Set limits...”-painikkeesta.

Parameter	Value	Unit
Min pressure:	0	Pa
Max pressure:	99999	Pa
Qmw min:	0.020	kg/s
Qmw max:	0.100	kg/s
Tw1 min:	14.0	°C
Tw1 max:	30.0	°C
Qv min:	14	l/s
Qv max:	30	l/s

KUVA 22. Raja-arvojen muuttaminen ETOHIT:ssä

Avatessa kuvan 22 ikkuna ensimmäistä kertaa, siinä näkyy tietokannassa määritetyt raja-arvot. Käyttäjä voi muokata raja-arvoja vaikuttamatta tietokannassa oleviin raja-arvoihin. Raja-arvojen palautus normaaleiksi tapahtuu Reset-painikkeen avulla. ETOHIT:ssä pääsee myös suoraan tuotetietokantaan ”Q-base”-toiminnon kautta. Ilmasuihkulaskennan tiedot avatuvat ”Jet calc...”-painikkeesta ja tiedot ovat samat kuin erillisessä tekstitiedostossa, mutta kerrallaan näkyvät vain kyseisen tilanteen tiedot, kun HIT Designissa näkyvät kaikkien laskettujen tilanteiden laskentatiedot peräkkäin. Tällä tavalla oikeat ilmasuihkulaskennan tiedot ovat heti saatavilla, eikä niitä tarvitse etsiä erillisestä tekstitiedostosta. Kuvassa 23 näkyy kuvan 21 tilanteen mukaisen ilmasuihkun tiedot. Kuvassa suihkun tiedot ovat alilämpöisen suihkun tietoja eli ilmasuihku on viileämpi kuin huoneilma.

```

----- NEW RE6/B-2400-2100-R2N -----

= ROOM DATA =
WIDTH      : 6.0
LENGTH     : 10.0
HEIGHT     : 2.6
OCCU H     : 1.8
RTEMP      : 24.0
STEMP      : 18.0
QV         : 20.0
DIFF W     : 0.0
DIFF L     : 0.0
#DIFF W    : 1
#DIFF L    : 1
OPPO STS   : 0

= DEVICE DATA =
INST H: 2.6
TEMP  : 17.9

JetIndex      = 0
VelocityZone  = 0.20
Initial qv    = 53.07 l/s (includes induction airflow)
Outlet area   = 0.0630 m2
Initial angle = 0.0 deg
Induction coeff= 5.3072
Initial c-coeff= 0.0900

i      s[m]  x[m]  z[m]  qv[l/s]  v[m/s]  thick  gr[m/s]  sts  dt[C]  m  c  kc  ks  ki
0      0.00  0.00  2.60  53.07   0.8424  0.0000 0.0000  0  -6.0742 2.50 0.09 1.00 1.00 1.00
1      0.20  0.20  2.60  109.51  0.8424  0.0014 0.0000  1  -2.9437 2.50 0.09 0.91 1.41 1.00
2      0.40  0.40  2.60  165.95  0.7375  0.0103 0.0000  1  -1.9425 2.50 0.09 0.90 1.41 1.00
3      0.60  0.60  2.60  215.37  0.5988  0.0320 0.0000  1  -1.4968 2.50 0.09 0.90 1.41 1.00
4      0.80  0.80  2.60  255.49  0.5156  0.0705 0.0000  1  -1.2618 2.50 0.09 0.89 1.41 1.00
5      1.00  1.00  2.60  290.03  0.4585  0.1288 0.0000  1  -1.1115 2.50 0.09 0.89 1.41 1.00
6      1.20  1.20  2.60  320.75  0.4162  0.1453 0.0000  1  -1.0050 2.50 0.09 0.88 1.41 1.00
7      1.40  1.40  2.60  348.63  0.3833  0.1597 -0.0147  2  -0.9247 2.50 0.09 0.88 1.41 1.00
8      1.60  1.60  2.59  374.39  0.3563  0.1719 -0.0295  2  -0.8611 2.50 0.09 0.87 1.41 1.00
9      1.80  1.80  2.58  398.79  0.3285  0.1793 -0.0445  2  -0.8084 2.50 0.09 0.86 1.38 1.00
10     2.00  2.00  2.55  422.51  0.2943  0.1758 -0.0598  2  -0.7630 2.50 0.09 0.85 1.31 1.00
11     2.20  2.19  2.51  445.89  0.2539  0.1520 -0.0761  2  -0.7230 2.50 0.09 0.83 1.19 1.00
12     2.40  2.38  2.45  468.44  0.2188  0.1017 -0.0940  2  -0.6882 2.50 0.09 0.81 1.07 1.00
13     2.60  2.56  2.36  489.01  0.2038  0.0507 -0.1139  2  -0.6592 2.50 0.09 0.78 1.01 1.00
14     2.80  2.70  2.25  508.32  0.2024  0.0430 -0.1344  2  -0.6342 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
15     3.00  2.67  2.16  527.50  0.2024  0.0461 -0.1544  3  -0.6111 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
16     3.20  2.70  1.92  546.67  0.2024  0.0492 -0.1736  3  -0.5897 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
17     3.40  2.70  1.72  565.85  0.2024  0.0522 -0.1922  3  -0.5697 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
18     3.60  2.70  1.52  585.02  0.2024  0.0553 -0.2102  3  -0.5510 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
19     3.80  2.70  1.32  604.20  0.2024  0.0584 -0.2276  3  -0.5336 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
20     4.00  2.70  1.12  623.37  0.2024  0.0614 -0.2445  3  -0.5171 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
21     4.20  2.70  0.92  642.55  0.2024  0.0645 -0.2609  3  -0.5017 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
22     4.40  2.70  0.72  661.72  0.2024  0.0676 -0.2768  3  -0.4872 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
23     4.60  2.70  0.52  680.90  0.2024  0.0707 -0.2923  3  -0.4735 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00
24     4.80  2.70  0.32  700.07  0.2024  0.0737 -0.3073  3  -0.4605 2.50 0.09 0.77 1.00 1.00

```

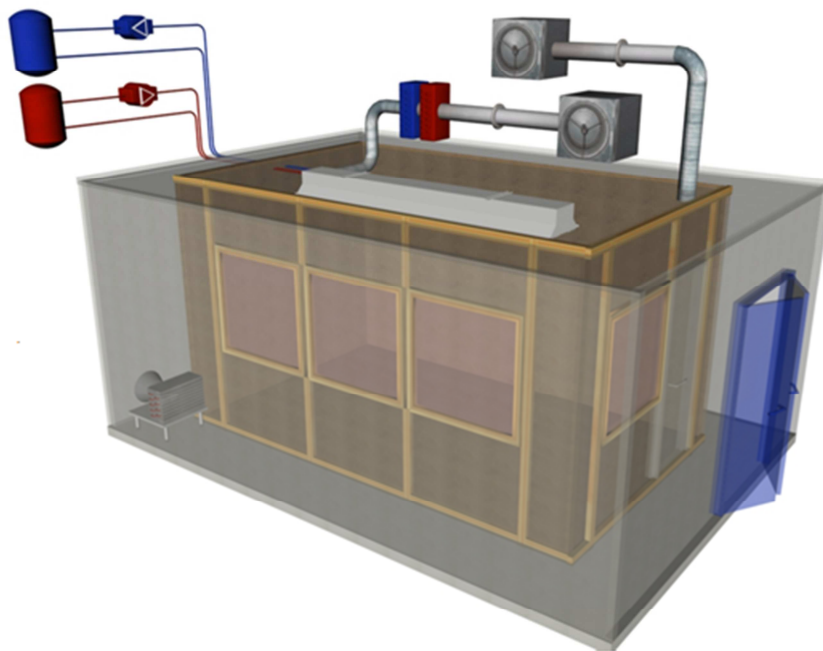
KUVA 23. Ilmasuihkulaskennan tiedot ETOHIT:ssä

Kuvasta 23 nähdään, että induktiosuhde on 5,3072. Luvussa 6 esimerkissä laskettu induktiosuhde erikoistuotteelle on 5,307. Kohdassa ”Device data” ilmoitettu lämpötila 17,9°C on jäähdytyspalkista lähtevän suihkun lämpötila.

Eroa ulkonäöllisesti siis vakiotuotteiden valintaohjelman Halton HIT Designin ja ETOHIT:n välillä ei ole kuin suunnittelutietodialogissa ja ohjelmista saatavista tulosteista. Liitteessä 2 on molemmista ohjelmista saatava tuloste. ETOHIT:n tulosteeseen on lisätty ”vesileima” ”ETO product” taustalle, jos erikoisia raja-arvoja on käytetty tai erikoissuutinväli laskettu. Tulosteen tietoihin on myös ETOHIT:ssä lisätty suutinten lukumäärä valitussa tuotteessa, suutinväli sekä lämpötila lähellä kattoa, jos se on erikseen asetettu.

7.1 Jäähdytystehon laskenta tehomittausten perusteella

Haltonilla on mitattu joitakin jäähdytystehomittauksia palkeilla, joissa on käytetty erikoissuutinväliä. Jäähdytystehot on mitattu tehonmittaushuoneessa, joka on mallinnettu kuvassa 24.



KUVA 24. Tehonmittaushuoneen 3D-periaatemalli

Tehomittauksissa huoneeseen luodaan tasapainotila pitämällä huone, jossa jäähdytyspalkki sijaitsee, ja sitä ympäröivä välitila yhtä lämpiminä. Tehomittauksissa tärkeimmät mitattavat suureet ovat palkin patterille menevän ilman eli sekundääri-ilman lämpötila, primääri-ilman määrä ja lämpötila, huoneilman ja poistoilman lämpötila, staattinen kammiopaine jäähdytyspalkin tuloilmakammiossa ja veden

massavirta sekä sen meno- ja paluulämpötilat. Näiden arvojen perusteella voidaan laskea ensinnäkin huonelämpötilan ero keskimääräiseen veden lämpötilaan ja tämän kautta palkin patterin teho edellä mainitusta lasketusta lämpötilaerosta ja ilmavirrasta riippuvaisena. /15./

7.1.1 Jäähdytystehomittaukset ja niiden tulokset

Liitteessä 3 on esitetty Haltonilla suoritettuja jäähdytystehomittauksia erikoissuutinvälillä sekä verrattu niitä ETOHIT:llä saataviin jäähdytystehoihin. Taulukoon 10 on listattu mitatut jäähdytystehot keskipituisella jäähdytyspalkilla ja niiden perusteena olevat mittaussuureet.

TAULUKKO 10. Jäähdytystehomittausten tulokset

Tilanne	Mittaus nro	tcoil	tsp	text	t1,1	Qv	Δpm	Qmw	tw in	tw out	Δt (r-w)	Δtw	Pw
Tilanne 1	1	23,42	20,94	24,48	23,39	33,84	120,84	0,0701	15,88	18,84	5,90	-2,97	869
	2	23,53	21,06	24,67	23,52	33,84	120,82	0,0604	15,88	19,20	5,85	-3,32	838
	3	23,55	21,38	25,04	23,59	33,84	120,82	0,0500	15,39	19,37	6,05	-3,98	831
	4	23,79	21,65	25,42	23,82	33,81	120,76	0,0399	15,21	19,92	6,11	-4,71	786
	5	23,70	21,60	25,31	23,70	33,82	120,71	0,0301	14,95	20,29	5,97	-5,33	671
	6	24,21	21,73	25,80	24,18	33,82	120,78	0,0200	14,51	21,42	6,15	-6,90	576
Tilanne 2	1	25,64	21,86	26,44	25,28	23,36	59,89	0,1012	15,02	17,57	9,43	-2,55	1079
	2	24,39	21,40	25,75	24,49	33,34	120,03	0,1010	14,02	17,23	8,80	-3,21	1357
	3	22,87	20,95	23,85	22,97	33,58	120,35	0,0502	15,06	18,94	5,87	-3,88	814
	4	23,78	21,34	24,52	23,74	23,63	60,37	0,0504	16,05	19,23	6,18	-3,18	670
	5	27,86	22,42	28,59	27,55	23,60	60,53	0,0506	17,03	21,46	8,70	-4,42	935
	6	26,30	21,81	27,64	26,41	33,58	120,79	0,0506	15,05	20,63	8,48	-5,58	1180
Tilanne 3	1	24,93	20,08	26,03	24,83	25,32	112,43	0,0997	14,00	17,01	9,43	-3,02	1257
	2	25,11	19,91	25,44	25,17	25,03	110,58	0,0270	20,00	23,02	3,60	-3,02	340
	3	24,88	19,90	25,26	24,94	25,01	110,42	0,0364	19,99	22,56	3,60	-2,57	391
	4	24,07	19,72	24,40	24,02	24,96	111,42	0,1000	19,96	20,99	3,60	-1,03	429
	5	25,07	19,76	25,39	25,04	25,58	117,00	0,0279	19,99	23,02	3,57	-3,03	353
	6	24,93	20,00	25,25	24,91	25,17	113,97	0,0390	19,99	22,48	3,69	-2,50	407
Tilanne 4	1	23,94	20,05	25,13	23,74	24,30	100,12	0,0993	14,00	16,32	8,78	-2,32	961
	2	23,66	19,95	24,69	23,60	24,30	100,19	0,0591	14,03	17,38	7,95	-3,35	826
	3	25,12	20,04	24,96	25,12	24,07	98,61	0,0204	20,01	23,02	3,60	-3,02	257
	4	25,13	20,01	25,18	25,20	24,11	99,03	0,0337	19,98	22,53	3,88	-2,55	359
Tilanne 5	1	27,00	20,79	27,84	26,89	20,76	121,18	0,0200	14,16	22,12	8,86	-7,96	664
	2	24,15	20,24	25,43	23,92	20,78	121,04	0,1199	14,00	16,13	9,08	-2,13	1067
	3	24,99	20,37	26,22	24,79	20,66	120,43	0,0601	14,03	17,93	9,01	-3,90	979
	4	24,62	20,53	25,69	24,36	15,63	69,64	0,0600	14,03	17,12	9,05	-3,09	775
	5	24,16	20,23	24,68	24,13	15,65	70,15	0,0597	19,98	21,20	3,57	-1,22	305
	6	24,95	20,13	24,94	24,97	20,57	120,15	0,0201	20,02	23,03	3,43	-3,00	253
	7	24,22	20,01	24,66	24,25	20,53	119,59	0,0599	19,97	21,48	3,50	-1,51	378
	8	24,22	20,02	24,65	24,25	20,52	119,56	0,0599	19,98	21,49	3,48	-1,51	376
	9	23,94	19,99	24,47	23,96	20,60	120,09	0,1210	19,95	20,78	3,57	-0,82	415
Tilanne 6	1	24,95	20,44	25,55	24,80	19,87	105,25	0,0856	14,01	16,98	9,46	-2,97	1061
	2	25,12	20,10	25,43	25,15	19,81	104,66	0,0219	20,04	22,98	3,61	-2,94	269
	3	25,05	20,11	25,49	25,06	19,82	104,64	0,0339	20,01	22,54	3,78	-2,53	358
Tilanne 7	1	27,84	23,54	29,18	27,95	33,30	119,48	0,0296	14,60	23,70	8,67	-9,10	1125
	2	26,31	23,34	28,08	26,35	33,34	119,55	0,0700	15,08	19,85	8,89	-4,77	1395
	3	26,20	23,34	27,99	26,24	33,36	119,60	0,0606	14,10	19,76	9,32	-5,66	1433
	4	26,13	23,34	27,86	26,19	33,35	119,62	0,0609	14,10	19,69	9,28	-5,60	1423
	5	27,07	23,48	28,72	27,15	33,35	119,76	0,0402	14,12	21,82	9,10	-7,70	1294
	6	28,54	23,55	29,57	28,60	33,39	120,07	0,0193	14,15	25,36	8,75	-11,22	903

Taulukossa 10 listattu seitsemän eri mittaustilannetta, kussakin tietty määrä mittauksia. Taulukon mittaussuureet tarkoittavat seuraavaa

t_{coil}	jäähdytyspalkin patterille menevän ilman lämpötila (°C)
t_{sp}	primääri-ilman lämpötila (°C)
t_{ext}	huoneen poistoilman lämpötila (°C)
$t_{1,1}$	huoneessa 1,1 metrin korkeudella mitattu lämpötila (°C)
Q_v	primääri-ilmamäärä (l/s)
Δp_m	mitattu staattinen kammiopaine (Pa)
Q_{mw}	jäähdytysveden massavirta (kg/s)
$t_{w in}$	menoveden lämpötila (°C)
$t_{w out}$	paluueden lämpötila (°C)
$\Delta t_{(r-w)}$	huonelämpötilan ja jäähdytysveden keskilämpötilan erotus (°C)
Δt_w	jäähdytysveden lämpötilaero (°C)
P_w	jäähdytyspalkin patterin teho (W)

7.1.2 Mitattujen jäähdytystehojen laskenta ETOHIT:llä

Taulukossa 10 saatujen jäähdytystehojen laskeminen ETOHIT:llä onnistuu, kun kaikki tarvittavat suunnittelutietoina käytettävät mittaussuureet ovat selvillä. Huonelämpötilana ETOHIT:ssä käytetään taulukon 10 t_{coil} -arvoja, koska se on oikea lämpötila tehon laskemiseksi (patterin läpi indusoituvan sekundääri-ilman lämpötila ennen patteria). Myös huoneen keskeltä 1,1 metrin korkeudelta mitattua lämpötilaa voi käyttää, koska taulukosta 10 huomataan, että sen arvot ovat melkein vastaavat t_{coil} -lämpötilojen kanssa. Taulukossa 11 on ETOHIT:llä saadut jäähdytystehot yllä olevien mittausten mukaisilla tiedoilla.

TAULUKKO 11. ETOHIT:llä lasketut jäädytystehomittausten tilanteita vastaavat tehot

Tilanne	Mittaus nro	Pw	Teho ETOHIT:llä	Ero (W)	Ero (%)	Mittaus
Tilanne 1	1	869	865	-4	-0,5 %	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100
	2	838	836	-2	-0,3 %	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100
	3	831	821	-10	-1,2 %	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100
	4	786	771	-15	-1,9 %	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100
	5	671	678	7	1,0 %	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100
	6	576	595	19	3,2 %	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100
Tilanne 2	1	1079	1029	-50	-4,8 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100
	2	1357	1250	-107	-8,5 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100
	3	814	761	-53	-7,0 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100
	4	670	619	-51	-8,2 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100
	5	935	871	-64	-7,4 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100
	6	1180	1082	-98	-9,0 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100
Tilanne 3	1	1257	1173	-84	-7,2 %	Palkki X / B c-c 26 2400/2100
	2	340	347	7	2,1 %	Palkki X / B c-c 26 2400/2100
	3	391	378	-13	-3,6 %	Palkki X / B c-c 26 2400/2100
	4	429	425	-4	-0,8 %	Palkki X / B c-c 26 2400/2100
	5	353	351	-2	-0,7 %	Palkki X / B c-c 26 2400/2100
	6	407	394	-13	-3,3 %	Palkki X / B c-c 26 2400/2100
Tilanne 4	1	961	1007	46	4,6 %	Palkki X / C c-c 35 2400/2100
	2	826	855	29	3,4 %	Palkki X / C c-c 35 2400/2100
	3	257	296	39	13,2 %	Palkki X / C c-c 35 2400/2100
	4	359	370	11	3,1 %	Palkki X / C c-c 35 2400/2100
Tilanne 5	1	664	743	79	10,6 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	2	1067	1053	-14	-1,3 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	3	979	975	-4	-0,4 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	4	775	798	23	2,9 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	5	305	310	5	1,7 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	6	253	288	35	12,3 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	7	378	377	-1	-0,2 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	8	376	377	1	0,2 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
	9	415	418	3	0,6 %	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm
Tilanne 6	1	1061	1052	-9	-0,8 %	Palkki X / C c-c 33 2400/2100, korkeus 195mm
	2	269	287	18	6,4 %	Palkki X / C c-c 33 2400/2100, korkeus 195mm
	3	358	357	-1	-0,4 %	Palkki X / C c-c 33 2400/2100, korkeus 195mm
Tilanne 7	1	1125	1117	-8	-0,7 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri
	2	1395	1336	-59	-4,5 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri
	3	1433	1365	-68	-5,0 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri
	4	1423	1365	-58	-4,2 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri
	5	1294	1257	-37	-2,9 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri
	6	903	994	91	9,2 %	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri

8 TULOSTEN TARKASTELU

Testausosiossa eli tämän työn luvussa 7 esitettyjen kuvien sekä perusteluiden ja luvussa 6 esitettyjen esimerkkien perusteella voidaan todeta, että ETOHIT -mitoitus- ja valintaohjelmisto toimii niin kuin on suunniteltu ja halutut lisäominaisuudet on lisätty myös onnistuneesti. Kappaleessa 7.1.2 määritettiin ETOHIT:llä jäähdytystehot oikeiden mittaustilanteiden pohjalta ja tehoja on vertailtu keskenään prosentuaalisesti. Taulukosta 11 huomataan, että muutamaa mittausta lukuunottamatta kaikki ETOHIT:llä saadut jäähdytystehot ovat alle 10 prosentin sisällä oikeasta tehomittauksesta saadusta jäähdytystehosta. Suurin osa on myös alle 5 prosentin sisällä. Kuva 25 havainnollistaa edellä mainittua. Tässä luvussa jäähdytysteholla tarkoitetaan jäähdytyspalkin patterin jäähdytystehokapasiteettia.



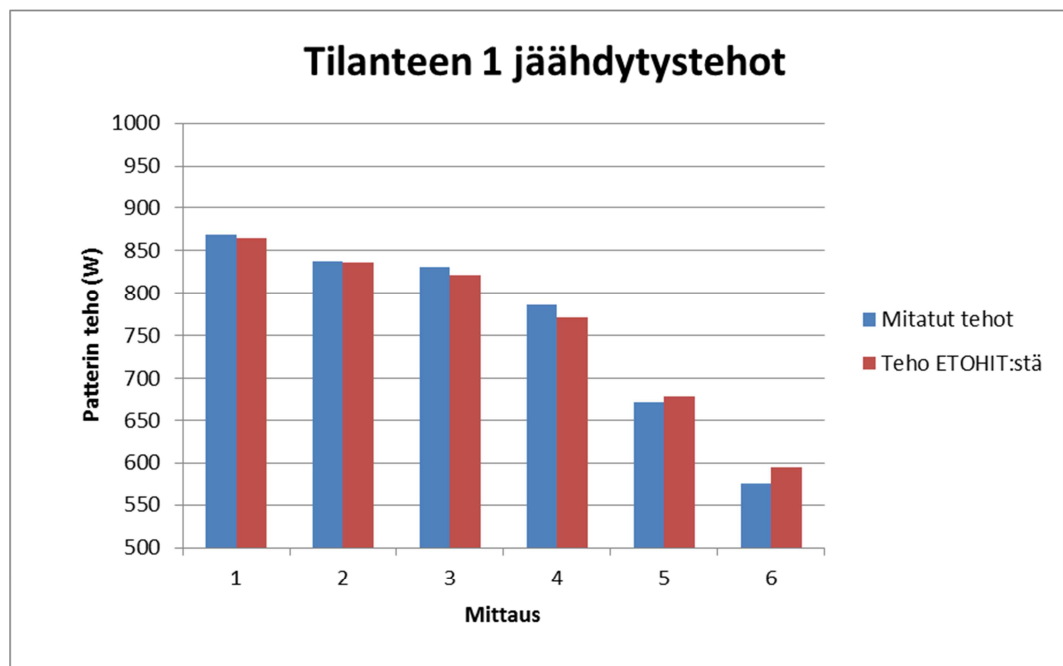
KUVA 25. Jäähdytystehotulosten jakautuminen prosentuaalisen eron perusteella

Kuvassa 25 on esitetty taulukon 11 tulosten jakautuminen prosentuaalisen eron perusteella oikeisiin jäähdytystehomittauksiin. Kuvasta nähdään, että suurin osa, lähes kolme neljännestä ETOHIT:llä saaduista tuloksista on korkeintaan viiden prosentin sisällä vastaavasta oikeasta jäähdytystehomittauksesta. Taulukossa 11 on yhteensä 40 eri mittausta.

Teoreettisen vertailun voi tehdä myös Eurovent-sertifikaattimittauskriteereiden perusteella. Mittauksissa Eurovent-järjestö valitsee laitevalmistajan tuotteita satunnaisesti ja mittaa itse sille luvatut arvot, tässä tapauksessa jäähdytystehon.

Eurovent-sertifikaatti on merkki siitä, että laite toimii niin kuin on luvattu ja suunniteltu. Eurovent on julkaissut huhtikuussa 2016 päivitetty toleranssit jäähdytysteholle sekä jäähdytyspalkin patterin vesipuolen painehäviölle. Yksittäisen jäähdytystehomittauksen tulos ei saa olla yli 12 prosenttia pienempi ja yli 24 prosenttia suurempi kuin laitevalmistajan lupaama teho, joka on tässä tapauksessa ETOHIT:n ilmoittama jäähdytysteho. Lisäksi kolmen mittauksen yhteisero prosentuaalisesti ei saa olla enempää kuin -6%, kun mittaukset suoritetaan 60, 100 ja 140 pascalin kammiopaineella. Eurovent-sertifikaatti on kuitenkin tarkoitettu niin sanotuille vakiotuotteille, eikä erikoistuotteille ole asetettu vaatimusta. /15; 21./ Taulukosta 11 huomataan, että kaikki ETOHIT:n antamat yksittäiset jäähdytystehon tulokset ovat Eurovent-sertifikaattivaatimusten sisällä.

Luotettavin taulukon 11 mittaustilanteista on tilanne 1. Liitteestä 3 saadaan jäähdytyspalkin patterin tieto. Kyseisessä tilanteessa mitatun jäähdytyspalkin patterin valmistaja on sama valmistaja kuin nykyään. Lisäksi tilanteen 1 mittaukset ovat ”tuoreimmat” mittaukset, jotka on tehty erikoissuutinvälillä. Tilanteen 1 mittausten ja ETOHIT:n vastaavien jäähdytystehojen ero on maksimissaan 3,2% ja erot watteina ovat huomaamattoman pieniä. Kuvassa 26 esitetty taulukon 11 ensimmäisen tilanteen erot jäähdytystehoissa pylväsdiagrammeina.



KUVA 26. Tilanteen 1 mukaiset jäähdytyspalkin patterin jäähdytystehot mittauksista ja ETOHIT:stä

Eroavuudet taulukon 10 ja 11 ja liitteen 3 mukaisissa jäähdystesteissä riippuvat tilanteesta riippuen eri syistä. Tuloksista voidaan huomata, että useassa tapauksessa veden massavirran ollessa lähellä raja-arvoa 0,02 tai 0,1kg/s, ero saatujen tehojen välillä on suurempi kuin vesivirran ollessa keskellä arvoaluetta. Lisäksi huonelämpötilan korkea arvo vaikuttaa olevan yksi syy suurempiin eroihin. ETOHIT:llä patterin jäähdystehoä määritettäessä on siis käytetty huonelämpötilana t_{coil} -lämpötilaa. Myös jäähdystyksen lämpötilaeron Δt_w ollessa normaalia suurempi (reilusti yli 3°C) on sillä suurentava vaikutus saatujen tehojen eroon. Oikeissa jäähdystehon mittaustilanteissa voivat häiriötekijät, kuten mittajasta johtuva luonnollinen virheherkkyys, vaikuttaa mitatun jäähdystehon suuruuteen. Suurimmat virheet prosentuaalisesti (yli 10%) ovat pienien jäähdystehojen mittaauksissa, jolloin virhemarginaali on suhteessa suurempi. Toisaalta ETOHIT:ssä suunnittelutietojen asettaminen onnistuu vain kokonaislukuina ilmamäärien ja paineiden osalta, joilla voi olla pieni vaikutus, noin 10 wattia, ohjelman laskemaan jäähdystehoon. Mainitsemisen arvoinen on, että tilanteen 6 mittaussuureet asetettuina ETOHIT:iin, antoi se parhaaksi suutinvalinnaksi B-suuttimen (suutinväli 31,8mm), kun itse mittaukset on mittauspöytäkirjojen mukaan tehty C-suuttimella. ETOHIT:llä ilmoittama patterin jäähdysteho tässä tapauksessa on siis B-suuttimella laskettu.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää mitoitus- ja valintaohjelmisto, jolla saadaan määriteltyä aktiivijäähdystyspalkkeille ja samalla periaatteella toimiville laitteille erikoissuutinväli, kun siihen päädytään asiakkaan asettamien suunnittelutietojen johdosta. Työssä määriteltiin laskentamenetelmät erikoissuutinvälille sekä sen vaikutukset jäähdystyspalkin tehokapasiteettiin, induktiovoimaan, painehäviöihin, palkissa sekoittuvaan ilmavirran lämpötilaan sekä veden massavirtaan ja lämpötilaeroon. ETOHIT:n toiminnallisuudet ohjelmoi ohjelmistoyritys Q-soft. Esitetyin esimerkein voidaan todeta, että ETOHIT - mitoitusohjelmisto toimii halutulla tavalla ja tehon määrittäminen interpoloinnin avulla pätee riittävän hyvällä tarkkuudella vertailtaviin oikeisiin mittaustuloksiin.

ETOHIT:stä on hyötyä Haltonin asiakaspalvelulle, myynnille ja myynnintuelle. Erikoistuotteiden määrittäminen ETOHIT:n avulla nopeuttaa myynti- ja tilausprosessia sekä vapauttaa henkilöresursseja muihin tehtäviin.

Ongelmakohtana on mittausdatan puute jäähdytyspalkeista erikoissuutinvälillä. Mittauksia tulisi suorittaa kaikilla eri tuotteilla, joissa suutinväliä voidaan muuttaa. Lisäksi mittauksia tulisi suorittaa eri palkin tehollisella pituudella eri suutinvaihtoehtoilla jäähdytys- ja lämmitystilanteissa. Mittaukset suoritettaisiin myös eri huonelämpötiloissa ja primääri-ilmavirtaa, veden massavirtaa sekä lämpötilaeroa muutettaessa. Kuten liitteestä 3 huomataan, mittauksia on suoritettu vain jäähdytystilanteissa yhdellä palkkimallilla ja kahdella suutintyypillä palkin tehollisen pituuden pysyessä muuttumattomana. Riittävän mittaustietojen perusteella olisi teoriassa mahdollista luoda vielä tarkemmat laskentatoiminnot palkkien tehokapasiteetin määrittämiseen.

ETOHIT:n jatkokehitys tulee jatkumaan varmasti uusien tuotteiden lisäämisen yhteydessä ja mahdollisuus laajentaa myös toimintoja muihin tuoteryhmiin kuin aktiivipalkeihin on olemassa. Tähän opinnäytetyöhön ei kuulunut HAQ- ja OMD – säätimien mitoitus erikoistuotteiden määrittämisen yhteydessä, joten jatkokehitystä on luvassa siltäkin osin. HAQ-säätimen avulla pystytään raitisilman määrää lisäämään tilassa riittävän ilmanvaihdon varmistamiseksi ja OMD-säädin on tilan käyttäjämäärään sidottu ilmavirtasäädin Haltonin aktiivipalkeissa, joten näiden yhteensovittaminen ETOHIT:iin on varmasti jatkokehityksen kohde.

Omasta mielestäni opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja opin paljon uutta myös perusasioista kuten jäähdytyspalkin toiminnasta. Opinnäytetyön tekeminen lvi-alan laitevalmistajalle oli hyödyllistä, ja omasta mielestäni opinnäytetyön tekeminen paikan päällä yrityksen tiloissa oli erittäin hyvä asia, koska pääsin tutustumaan työelämään lähietäisyydeltä laitevalmistajan alaisuudessa.

LÄHTEET

1. Sandberg, Esa. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.
2. Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D2. 2012. Ympäristöministeriö. Pdf-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Päivitetty 24.5.2016. Luettu 24.5.2016.
3. Ilmanvaihtojärjestelmät. Hengitysliitto. WWW-sivut. <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>. Päivitetty 24.5.2016. Luettu 24.5.2016.
4. Sandberg, Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.
5. RT 07-10946. Sisäilmastoluokitus 2008. Rakennustieto Oy. Pdf-dokumentti. Päivitetty 29.3.2012. Luettu 24.5.2016.
6. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto Ry. 1995.
7. Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2004.
8. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmän yleisarviointi. 2016. Suomen LVI-liitto SuLVI Ry. Pdf-dokumentti. http://www.sulvi.fi/wp-content/uploads/2016/01/IVKT_2016_Ohje-2_Ilmanvaihto_ja_ilmastointijarjestelman_yleisarviointi.pdf. Päivitetty 20.3.2016. Luettu 9.5.2016.
9. Ruponen, Mika. Operation and thermal comfort provision using induction units. University of Leeds. School of Civil Engineering. Väitöskirja. 2009.

10. Virta, Maija, Butler, David, Gräslund, Jonas, Hogeling, Jaap, Kristiansen, Erik Lund, Reinikainen, Mika & Svensson, Gunnar. Chilled Beam Application Guidebook. REHVA Guidebook No. 5. Brysseli: REHVA. 2007.

11. Loudermilk, Ken 2009. Designing Chilled Beams for Thermal Comfort. ASHRAE Journal October 2009, 58-64. Pdf-dokumentti. http://www.taco-hvac.com/uploads/FileLibrary/DesigningChilledBeamsforThermalComfort_Loudermilk_ASHRAEJournal_Oct2009.pdf. Päivitetty 12.7.2010. Luettu 10.5.2016.

12. Engineering Guide Active & Passive Beams 2011. Price Industries. Pdf-dokumentti. <http://www.priceindustries.com/content/uploads/assets/literature/engineering-guides/active-passive-beams-engineering-guide.pdf>. Päivitetty 18.11.2013. Luettu 10.5.2016.

13. Mustakallio, Panu 2015. Steady state and dynamic cooling/heating power model for Halton chilled beams. Pdf-dokumentti. Päivitetty 17.3.2016. Luettu 10.5.2016.

14. Halton ADD-IT-ohje 2002. Ei päivitystietoa. Luettu 16.5.2016.

15. Ulmanen, Heimo 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 21.4.-23.5.2016. Sisäilma-asantuntija, ilma-vesijärjestelmät. Halton Oy.

16. Halton Oy 2016. Yrityksen WWW-sivut. http://www.halton.com/fi_FI/halton/products/selection-tool#group=chilled-beams. Päivitetty 10.5.2016. Luettu 10.5.2016.

17. Halton HIT Design-tuotevalintaohjelmisto 2016. Halton Oy. Ladattavissa https://www.halton.com/es_US/halton/products/halton-hit-design-tool.

18. Halton CBH-aktiivipalkin tuote-esite. Halton Oy. Pdf-dokumentti. http://www.halton.com/dh/DQBo6wwFnTBEOs9f2wo1wZ7WL8YTp8Vn5Tks611CfJPfp8I4zO_6kryx2vFzPQ5o80P8rsjv8vrY867cZB6vd7ROMXa7aqVyhFjv_nA/Halton_CBH_-_fi.pdf. Päivitetty 16.5.2016. Luettu 16.5.1016.

19. Linear interpolation. www-dokumentti.
<http://www.eng.fsu.edu/~dommelen/courses/eml3100/aids/intpol/>. Päivitetty
25.2.2004. Luettu 18.5.2016.

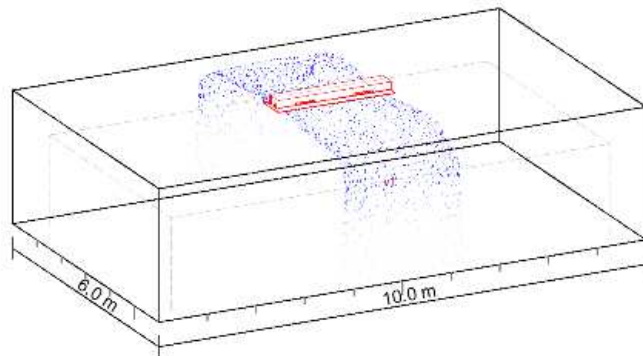
20. Karjalainen, Leila. Tilastotieteen perusteet. Ristiina: Pii-Kirjat. 2010.

21. RS 2/C/001-2016. Rating standard for the Eurovent Certification of active and passive chilled beams. 2016. Eurovent Certification Company. Pdf-dokumentti. Päivitetty 28.4.2016. Luettu 23.5.2016.

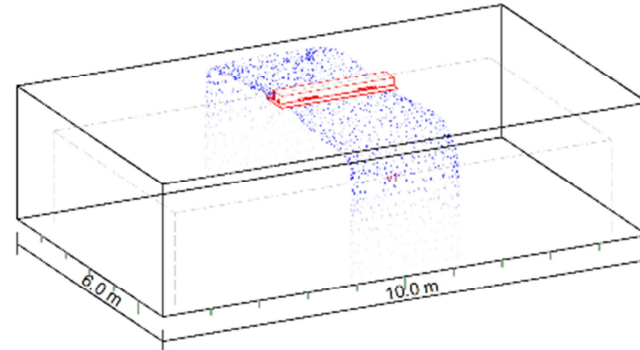
LIITE 1.
Suutintiedot

Rex 600							
Suutin	k/m (l/s)	k/m (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia/metri	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
A	0,71	2,56	30	67	0,01065	3,4	50
B	0,99	3,56	30	67	0,01485	4,1	50
C	1,36	4,90	30	67	0,0204	4,85	50
D	2,09	7,52	30	67	0,03135	5,9	50
E	3,33	11,99	30	67	0,04995	7,5	50
CBD							
Suutin	k/m (l/s)	k/m (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia/metri	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
A	0,71	2,56	27	74	0,009585	3,4	70
B	0,99	3,56	30	67	0,01485	4,1	60
C	1,33	4,79	30	67	0,01995	4,85	60
D	2,00	7,20	30	67	0,03	5,9	50
CBX 600							
Suutin	k (l/s)	k (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
A	0,64	2,30	30	56	0,011428571	3,4	60
B	0,85	3,06	30	56	0,015178571	4,1	60
C	1,16	4,18	30	56	0,020714286	4,85	60
D	1,73	6,23	30	56	0,030892857	5,9	60
E	2,87	10,33	30	56	0,05125	7,5	60
CBX 1200							
Suutin	k (l/s)	k (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
A	1,03	3,71	30	96	0,010729167	3,4	60
B	1,47	5,29	30	96	0,0153125	4,1	60
C	1,93	6,95	30	96	0,020104167	4,85	60
D	2,95	10,62	30	96	0,030729167	5,9	60
E	4,75	17,10	30	96	0,049479167	7,5	60
CBH							
Suutin	k/m (l/s)	k/m (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia/metri	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
3	0,73	2,63	28	36	0,02044	4,85	40
4	1,04	3,74	28	36	0,02912	5,9	40
CCE							
Suutin	k/m (l/s)	k/m (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia/metri	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
A	0,67	2,41	30	67	0,01005	3,4	60
B	0,96	3,46	30	67	0,0144	4,1	60
C	1,31	4,72	30	67	0,01965	4,85	60
D	1,92	6,91	30	67	0,0288	5,9	50
CBQ							
Suutin	k/m (l/s)	k/m (m ³ /s)	Vakiosuutinväli (mm)	Suuttimia/metri	k/nozzle (l/s)	Halkaisija (mm)	Min Δp _m (Pa)
A	0,72	2,59	30	67	0,038880	3,4	60
B	0,98	3,53	30	67	0,052920	4,1	60
C	1,34	4,82	30	67	0,072360	4,85	60
D	1,94	6,98	30	67	0,104760	5,9	50

Cooling		RE6/B-2400-2100-R2N+N		2015.09
Room:		Supply air flow rate:	20 l/s	
Room size:	10.0 x 6.0 x 2.6 m		0.3 l/(sm ²)	
Occupied zone:	h=1.8 m / dw=0.5 m	Supply air temperature:	18.0 °C	
Room air:	24.0 °C / 50 %	Total pressure drop:	95 Pa	
Heat gain:	-	Unit sound pressure level:	< 20 dB(A) 10m ² sab	
Installation height:	2.60 m	Total sound pressure level:	< 20 dB(A)	
Inlet water temperature:	14.5 °C	Primary air capacity:	143 W	
Outlet water temperature:	16.8 °C	Total cooling capacity:	1064 W	
Water flow rate:	0.096 kg/s		507 W/m, 18 W/m ²	
Coil capacity:	921 W	Dew point temperature:	12.9 °C	
	438 W/m	Velocity control:	left=3, right=3	
Water pressure drop:	7.1 kPa	Flow damper opening:	-	
		L _d :	2.6 m	
Velocity point	v1			
Nozzle jet	-0.10 m/s			
Nozzle jet, isothermal	-0.10 m/s			
dt (nozzle jet-room air)	-0.2 °C			
Heat sources and their location may influence the velocity and direction of the jet				
v _{lim} = 0.20 m/s				



Cooling		RE6/B-2400-2100-R2N+N		2015.09
Custom nozzle: B (A-B) / 124 pcs / 33.8 mm				
Room:		Supply air flow rate:	20 l/s	
Room size:	10.0 x 6.0 x 2.6 m		0.3 l/(sm ²)	
Occupied zone:	h=1.8 m / dw=0.5 m	Supply air temperature:	18.0 °C	
Room air:	24.0 °C / 50 %	Total pressure drop:	122 Pa	
Heat gain:	-	Unit sound pressure level:	< 20 dB(A) 10m ² sab	
Installation height:	2.60 m	Total sound pressure level:	< 20 dB(A)	
Inlet water temperature:	14.5 °C	Primary air capacity:	143 W	
Outlet water temperature:	17.8 °C	Total cooling capacity:	975 W	
Water flow rate:	0.060 kg/s		464 W/m, 16 W/m ²	
Coil capacity:	832 W	Dew point temperature:	12.9 °C	
	396 W/m	Velocity control:	left=3, right=3	
Water pressure drop:	3.0 kPa	Flow damper opening:	-	
		L _d :	-	
Velocity point	v1			
Nozzle jet	-0.05 m/s			
Nozzle jet, isothermal	-0.10 m/s			
dt (nozzle jet-room air)	-0.2 °C			
Heat sources and their location may influence the velocity and direction of the jet				
v _{lim} = 0.20 m/s				



LIITE 3.

Jäähdytystehomittaukset ja tehovertailu

Tilanne	Mittaus nro	tcoil	tsp	text	t1,1	Qv	Δpm	Qmw	tw in	tw out	Δt (r-w)	Δtw	Pw	Mittaus	Mittausvuosi	Teho ETOHIT:llä	Ero (W)	Ero (%)
Tilanne 1	1	23,42	20,94	24,48	23,39	33,84	120,84	0,0701	15,88	18,84	5,90	-2,97	869	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100	2014	865	-4	-0,5 %
	2	23,53	21,06	24,67	23,52	33,84	120,82	0,0604	15,88	19,20	5,85	-3,32	838	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100	2014	836	-2	-0,3 %
	3	23,55	21,38	25,04	23,59	33,84	120,82	0,0500	15,39	19,37	6,05	-3,98	831	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100	2014	821	-10	-1,2 %
	4	23,79	21,65	25,42	23,82	33,81	120,76	0,0399	15,21	19,92	6,11	-4,71	786	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100	2014	771	-15	-1,9 %
	5	23,70	21,60	25,31	23,70	33,82	120,71	0,0301	14,95	20,29	5,97	-5,33	671	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100	2014	678	7	1,0 %
	6	24,21	21,73	25,80	24,18	33,82	120,78	0,0200	14,51	21,42	6,15	-6,90	576	Palkki X / C c-c 28 , 2400-2100	2014	595	19	3,2 %
Tilanne 2	1	25,64	21,86	26,44	25,28	23,36	59,89	0,1012	15,02	17,57	9,43	-2,55	1079	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100	2012	1029	-50	-4,8 %
	2	24,39	21,40	25,75	24,49	33,34	120,03	0,1010	14,02	17,23	8,80	-3,21	1357	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100	2012	1250	-107	-8,5 %
	3	22,87	20,95	23,85	22,97	33,58	120,35	0,0502	15,06	18,94	5,87	-3,88	814	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100	2012	761	-53	-7,0 %
	4	23,78	21,34	24,52	23,74	23,63	60,37	0,0504	16,05	19,23	6,18	-3,18	670	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100	2012	619	-51	-8,2 %
	5	27,86	22,42	28,59	27,55	23,60	60,53	0,0506	17,03	21,46	8,70	-4,42	935	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100	2012	871	-64	-7,4 %
	6	26,30	21,81	27,64	26,41	33,58	120,79	0,0506	15,05	20,63	8,48	-5,58	1180	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100	2012	1082	-98	-9,0 %
Tilanne 3	1	24,93	20,08	26,03	24,83	25,32	112,43	0,0997	14,00	17,01	9,43	-3,02	1257	Palkki X / B c-c 26 2400/2100	2011	1173	-84	-7,2 %
	2	25,11	19,91	25,44	25,17	25,03	110,58	0,0270	20,00	23,02	3,60	-3,02	340	Palkki X / B c-c 26 2400/2100	2011	347	7	2,1 %
	3	24,88	19,90	25,26	24,94	25,01	110,42	0,0364	19,99	22,56	3,60	-2,57	391	Palkki X / B c-c 26 2400/2100	2011	378	-13	-3,6 %
	4	24,07	19,72	24,40	24,02	24,96	111,42	0,1000	19,96	20,99	3,60	-1,03	429	Palkki X / B c-c 26 2400/2100	2011	425	-4	-0,8 %
	5	25,07	19,76	25,39	25,04	25,58	117,00	0,0279	19,99	23,02	3,57	-3,03	353	Palkki X / B c-c 26 2400/2100	2011	351	-2	-0,7 %
	6	24,93	20,00	25,25	24,91	25,17	113,97	0,0390	19,99	22,48	3,69	-2,50	407	Palkki X / B c-c 26 2400/2100	2011	394	-13	-3,3 %
Tilanne 4	1	23,94	20,05	25,13	23,74	24,30	100,12	0,0993	14,00	16,32	8,78	-2,32	961	Palkki X / C c-c 35 2400/2100	2011	1007	46	4,6 %
	2	23,66	19,95	24,69	23,60	24,30	100,19	0,0591	14,03	17,38	7,95	-3,35	826	Palkki X / C c-c 35 2400/2100	2011	855	29	3,4 %
	3	25,12	20,04	24,96	25,12	24,07	98,61	0,0204	20,01	23,02	3,60	-3,02	257	Palkki X / C c-c 35 2400/2100	2011	296	39	13,2 %
	4	25,13	20,01	25,18	25,20	24,11	99,03	0,0337	19,98	22,53	3,88	-2,55	359	Palkki X / C c-c 35 2400/2100	2011	370	11	3,1 %
Tilanne 5	1	27,00	20,79	27,84	26,89	20,76	121,18	0,0200	14,16	22,12	8,86	-7,96	664	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	743	79	10,6 %
	2	24,15	20,24	25,43	23,92	20,78	121,04	0,1199	14,00	16,13	9,08	-2,13	1067	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	1053	-14	-1,3 %
	3	24,99	20,37	26,22	24,79	20,66	120,43	0,0601	14,03	17,93	9,01	-3,90	979	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	975	-4	-0,4 %
	4	24,62	20,53	25,69	24,36	15,63	69,64	0,0600	14,03	17,12	9,05	-3,09	775	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	798	23	2,9 %
	5	24,16	20,23	24,68	24,13	15,65	70,15	0,0597	19,98	21,20	3,57	-1,22	305	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	310	5	1,7 %
	6	24,95	20,13	24,94	24,97	20,57	120,15	0,0201	20,02	23,03	3,43	-3,00	253	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	288	35	12,3 %
	7	24,22	20,01	24,66	24,25	20,53	119,59	0,0599	19,97	21,48	3,50	-1,51	378	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	377	-1	-0,2 %
	8	24,22	20,02	24,65	24,25	20,52	119,56	0,0599	19,98	21,49	3,48	-1,51	376	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	377	1	0,2 %
	9	23,94	19,99	24,47	23,96	20,60	120,09	0,1210	19,95	20,78	3,57	-0,82	415	Palkki X / B c-c 33 2400/2100, korkeus 220mm	2011	418	3	0,6 %
Tilanne 6	1	24,95	20,44	25,55	24,80	19,87	105,25	0,0856	14,01	16,98	9,46	-2,97	1061	Palkki X / C c-c 33 2400/2100, korkeus 195mm	2011	1052	-9	-0,8 %
	2	25,12	20,10	25,43	25,15	19,81	104,66	0,0219	20,04	22,98	3,61	-2,94	269	Palkki X / C c-c 33 2400/2100, korkeus 195mm	2011	287	18	6,4 %
	3	25,05	20,11	25,49	25,06	19,82	104,64	0,0339	20,01	22,54	3,78	-2,53	358	Palkki X / C c-c 33 2400/2100, korkeus 195mm	2011	357	-1	-0,4 %
Tilanne 7	1	27,84	23,54	29,18	27,95	33,30	119,48	0,0296	14,60	23,70	8,67	-9,10	1125	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri	2013	1117	-8	-0,7 %
	2	26,31	23,34	28,08	26,35	33,34	119,55	0,0700	15,08	19,85	8,89	-4,77	1395	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri	2013	1336	-59	-4,5 %
	3	26,20	23,34	27,99	26,24	33,36	119,60	0,0606	14,10	19,76	9,32	-5,66	1433	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri	2013	1365	-68	-5,0 %
	4	26,13	23,34	27,86	26,19	33,35	119,62	0,0609	14,10	19,69	9,28	-5,60	1423	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri	2013	1365	-58	-4,2 %
	5	27,07	23,48	28,72	27,15	33,35	119,76	0,0402	14,12	21,82	9,10	-7,70	1294	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri	2013	1257	-37	-2,9 %
	6	28,54	23,55	29,57	28,60	33,39	120,07	0,0193	14,15	25,36	8,75	-11,22	903	Palkki X / C c-c 28, 2400/2100 + sest patteri	2013	994	91	9,2 %