



ORAKSEN RAUMAN TEHTAAN MUOVIPUOLEN HUKKALÄMPÖ- JEN TALTEENOTTO

Ilari Karimäki

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2014
LVI-talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

KARIMÄKI, ILARI:

Oraksen Rauman tehtaan muovipuolen hukkalämpöjen talteenotto

Opinnäytetyö 82 sivua, joista liitteitä 29 sivua
Maaliskuu 2014

Työn tarkoituksena oli suunnitella ratkaisu, jolla saataisiin käytettyä hyväksi Oraksen Rauman tehtaan muovipuolella syntyvää suurta ylilämpöä. Työssä käytiin läpi eri järjestelmävaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia, minkä jälkeen valittiin kohteeseen sopivin järjestelmä tarkempaa tarkastelua varten.

Muovipuolella valmistetaan hanoiin tarvittavat muoviosat. Jotta muovia voidaan muokata, se täytyy sulattaa. Prosessista karkaa halliin valtava määrä ylilämpöä, jota voitaisiin käyttää hyödyksi muissa tiloissa. Hallissa on tulo- ja poistoilmakone nestekiertoisella lämmöntalteenotolla, joten ilmanvaihdon LTO:ta ei ollut tarpeen lisätä.

Muovipuolen läheisyydessä sijaitseva varasto/lähetämö (halli 1) on tehtaan viileimpiä tiloja, koska hallissa ei ole lämpökuormaa tuottavia laitteita ja sieltä on kulku lastauslaiturille, mistä karkaa lämpöä ulos. Halli 1 osoittautui otollisimmaksi paikaksi muovipuolelta saatavalle lämmölle.

Vertailtavia lämmönsiirtotapoja olivat lämmön siirto ilmalla, lämmön siirto vedellä, lämmön siirto kylmäaineella ilmaan ja lämmön siirto kylmäaineella veteen. Parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui lämmön siirto kylmäaineella ilmaan. Ylilämpimään tilaan asennetaan lämpöpumppu, joka sitoo ilmasta lämpöä kylmäaineeseen ja luovuttaa sen halli 1:ssä kiertoilmaan. Järjestelmästä tehtiin tarkat suunnitelmat ja sille laskettiin kustannusarvio sekä säästölaskelmat.

Asiasanat: lämmöntalteenotto, ylilämpö, lämpöpumppu

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Services

KARIMÄKI, ILARI:

Waste Heat Recovery in the Plastic Manufacturing Area of Oras in Rauma

Bachelor's thesis 82 pages, appendices 29 pages
March 2014

The purpose of the thesis was to plan a solution that would use the extra heat developed in the plastic manufacturing area of Oras. The thesis examined the advantages and disadvantages of various solutions, whereafter the solution best suited for the target was picked for more detailed inspection.

All the plastic parts needed in water taps are produced in the plastic manufacturing area. In order to process plastic it has to be melted. The extra heat developed in the process could be used in other areas of the factory. The hall has supply and exhaust air units with liquid circulation heat recovery, so the heat recovery of the ventilation was not needed.

The warehouse/dispatch department (Hall 1) turned out to be the best place for the extra heat recovered from the plastic manufacturing area. It is one of the coolest places in the factory, because there are no devices that produce heat and it is located next to the loading platform that lets the heat escape outdoors.

The heat transfer systems compared were: heat transfer with air, heat transfer with water, heat transfer with refrigerant into air, and heat transfer with refrigerant into water. The option that suited best was heat transfer with refrigerant into air. A heat pump will be installed in the overheated area to absorb the heat from the air and transfer it into the recirculation air in Hall 1. Detailed plans, a cost estimate and savings calculations were made of the system.

Key words: heat recovery, extra heat, heat pump

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	ENERGIATEHOKKUUS	8
2.1	Energiatehokkuus & Oras	8
2.2	Ohjeet ja määräykset.....	8
2.2.1	Työ- ja elinkeinoministeriö sekä EU.....	8
2.2.2	Työsuojelu.....	9
3	KOHDE	10
3.1	Oras Oy:n historiaa	10
3.2	Rauman tehdas	10
4	LÄHTÖTIEDOT	13
4.1	Halli 1	13
4.1.1	Valmisvarasto ja lähettämö.....	13
4.2	Halli 3, muovipuoli.....	14
4.2.1	Ruiskupalukoneen toiminta.....	16
5	LÄMMÖNJAKOTAPOJEN VERTAILU	17
5.1	Lämmön siirto vedellä	17
5.1.1	Järjestelmän kuvaus	17
5.1.2	Edut	18
5.1.3	Haitat ja ongelmat	18
5.2	Lämmön siirto ilmalla.....	18
5.2.1	Järjestelmän kuvaus	18
5.2.2	Edut	19
5.2.3	Haitat ja ongelmat	19
5.3	Lämmön siirto kylmäaineella kiertoilmaan	19
5.3.1	Järjestelmän kuvaus	19
5.3.2	Edut	20
5.3.3	Haitat ja ongelmat	21
5.4	Lämmön siirto kylmäaineella veteen	22
5.4.1	Järjestelmän kuvaus	22
5.4.2	Edut	22
5.4.3	Haitat ja ongelmat	23
5.5	Vaihtoehtojen vertailun tulos.....	23
6	KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	24
6.1	Toteutuskuvaus kylmäaineella kiertoilmaan -järjestelmästä	24
6.2	Järjestelmä kesäjähdytyksellä	27
6.3	Valvonta.....	27

7	LÄMPÖPUMPUN TOIMINTA.....	29
8	SUUNNITELMAT	32
	8.1 Mitoitusilmavirrat	32
	8.2 Kiertoilmakanaviston painehäviö	34
	8.3 Kondenssiveden määrä sekä ilman jäähtymä	34
	8.4 Puhaltimen ja lauhdutus patterin valinta.....	38
	8.5 Suodattimet	39
	8.6 Piirustukset, sekä muut dokumentit	39
9	KUSTANNUSARVIO, SÄÄSTÖVAIHTOEHDOT JA TAKAISINMAKSUAJAT	40
	9.1 Kustannusarvio	40
	9.2 Eri säästömahdollisuudet ja takaisinmaksuaika.....	40
	9.2.1 Energiansäästö tuloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla.....	41
	9.2.2 Energiansäästö tuloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla sekä tuloilmakoneiden käyntiaikoja vähentämällä	44
	9.2.3 Kesäjähdytys	50
	9.3 Lisäehtodus päätelaitteiden ilmavirtojen säädettävyyden kannalta	51
10	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	54
	Liite 1. Panasonic U-20ME1E81 tekniset tiedot	54
	Liite 2. Panasonic Air handling unit kit tekniset tiedot	56
	Liite 3. Fläkt Woods KHDA päätelaitteen tekniset tiedot.....	60
	Liite 4. Järjestelmän log p,h- tilapiirros.....	64
	Liite 5. Fläkt Woods pyöreiden kanavien painehäviö käyrästöt	65
	Liite 6. Suorakaidekanavien kitkapainehäviöt	69
	Liite 7. Lauhdutus patterin tekniset tiedot.....	70
	Liite 8. Aksiaalipuhaltimen tekniset tiedot.....	71
	Liite 9. Suunnitteludokumentit järjestelmästä ilman kesäjähdytystä	73
	Liite 10. Suunnitteludokumentit järjestelmästä kesäjähdytyksellä.....	77
	Liite 11. Rauman energian säätietojen pohjalta tehty lämpötilan pysyvyys vuonna 2012.....	81
	Liite 12. Halton PRA päate/säätölaite	82

LYHENTEET JA TERMIT

LTO	Lämmöntalteenotto
Termistori	Vastus, jonka resistanssi riippuu lämpötilasta. Käytetään yleisesti lämpötilan mittauksessa ja säädössä
Lamellipatteri	Patteri, jonka rakenne koostuu putkista ja lamelleista
Kiertoilmakone	Puhaltimesta ja lämmönsiirtolaitteesta tms. koostuva laite, joka kierrättää ilmaa
COP	Lämpöpumppujen yhteydessä käytettävä kerroin, joka kuvaa kuinka paljon lämpötehoa (tai vastaavasti jäähdytystehoa) saadaan yhdellä kilowatilla sähköä
SFP –arvo	Puhaltimen käyttämä sähköenergian määrä tiettyä ilmamäärää kohden. Esimerkiksi 1 kW/m^3 tarkoittaa, että puhallin kuluttaa 1 kW sähköä tuottaessaan 1 m^3 ilmaa
Entalpia	Aineen lämpösisältö (kJ/kg)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on ideoida, laskea ja suunnitella parannusehdotus Oraksen Rauman tehtaan muovipuolen hukkalämpöjen hyötykäyttöön ja hallitsemiseen. Työn tavoite on parantaa tiloissa energiatehokkuutta ja työskentelyolosuhteita, sekä saada aikaan säästöjä. Työ tehtiin Sataservice Oy:n alaisuudessa ja ohjauksessa, sekä yhteistyössä Kaukomarkkinat Oy:n Tero Lindenin kanssa.

Muovipuolella on 22 ruiskuvalukonetta, joista syntyy suuri määrä yllämpöä halliin. Tätä hukkalämpöä olisi tarkoitus lähteä siirtämään lähellä sijaitsevaan halli 1:een, joka toimii varastona/lähtämönä. Hallissa 1 lämmölle on tarvetta, koska siellä ei ole ollenkaan lämmöntalteenottoa, ja se sijaitsee lastauslaiturin vieressä. Näin ollen saataisiin mahdollisesti aikaan suuria säästöjä halli 1:n lämmityskuluissa.

Työssä tullaan pohtimaan eri lämmönsiirtojärjestelmien etuja ja haittoja, joiden pohjalta valitaan paras vaihtoehto. Tälle vaihtoehdolle tehdään tarkat säästö- ja takaisinmaksulaskelmat, sekä toteutussuunnitelmadokumentit.

2 ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Energiatehokkuus & Oras

Oras on jo pitkään panostanut hanoissa ja suihkuissa energian- ja vedensäästöön, sekä käyttäjäturvallisuuteen. Lainaus Oraksen internetsivuilta: ” Korkea teknologia ja ekologisuus ovat Oras-älyhanojen menestystarinan päätekijöitä. Pitkäjänteisen tutkimus- ja kehitystyön tuloksena tarjoamme markkinoille uusia innovatiivisia veden ja energian säästöön sekä käyttäjäturvallisuuden perustuvia ratkaisuja.”

1970-luvulla Oras toi markkinoille ensimmäiset vettä ja energiaa säästävät hanat (pieni nappi hanan kahvan takaosassa, joka rajoitti veden tuloa, ellei nappia painanut pohjaan kääntäessä kahvaa). Tämän jälkeen, 1990-luvulla, tulivat elektroniset älyhanat, jotka estävät hanan auki jäämisen ja lisäävät käsihygieniää. Vaikka ensimmäiset kosketusvaapaat hanat saatiin markkinoille jo 1990-luvulla, tulivat ne vasta 2000-luvulla ensisijaiseksi vaihtoehdoksi julkisiin tiloihin. 2010-luvulla älyhanat tulivat kotitalouksiin.

Oras on myös liittynyt energiatehokkuussopimukseen. Keskisuuren teollisuuden (energian käyttö alle 100 GWh vuodessa) toimenpideohjelman tavoitteena on vähentää energiankulutusta 9 % vuoteen 2016 mennessä (Energiatehokkuussopimukset, energiatehokkuussopimusten tavoitteet).

2.2 Ohjeet ja määräykset

2.2.1 Työ- ja elinkeinoministeriö sekä EU

Lainaus työ- ja elinkeinoministeriön sivuilta: ”Työ- ja elinkeinoministeriö on Suomen edustaja energiatehokkuuteen liittyvissä asioissa EU:ssa ja myös muussa kansainvälisessä yhteistyössä. Tavoitteena on edistää tehokasta energian käyttöä. TEM koordinoi kansallista energiatehokkuuspolitiikkaa, mikä tarkoittaa aktiivista alan kehityksen seuraamista.”

EU:n yhteisenä tavoitteena on energiatehokkuuden parantaminen 20 % vuoteen 2020 mennessä. Energiatehokkuuden parantaminen on erittäin tärkeää ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta, mutta lisäksi myös energian saatavuuden turvaamisen, tuontienergian tarpeen vähentämisen, energiakustannusten alentamisen ja muiden ympäristösyiden, kuten ympäristön- ja ilmansuojelun kannalta. EU:n asettamat tavoitteet edistävät myös uusiutuvan energian osuuden kasvattamista.

Suomessa lämmitysenergia edustaa noin neljännestä energian loppukulutuksessa, mutta tavoitteena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta (Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiatehokkuus). Energiatehokkaat ratkaisut vähentävät lämmön ja jäädytyksen tarvetta. Energiatehokkuuden parantaminen on Suomelle mahdollisuus, sillä maasta löytyy ammattitaitoa. Suomi on monissa energiansäästötoimissa ja energiankäytön tehokkuudessa kansainvälisesti johtavia maita. Tämä on saavutettu kustannustehokkailla ratkaisuilla ja vapaaehtoisuuteen perustuvalla energiatehokkuussopimusjärjestelmällä.

2.2.2 Työsuojelu

Työturvallisuuslaki (23.8.2002/738, 39 §) määrää seuraavaa: ”Työntekijän altistuminen turvallisuudelle tai terveydelle haittaa tai vaaraa aiheuttaville lämpöolosuhteille, melulle, paineelle, värinälle, säteilylle tai muille fyysikaalisille tekijöille on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei näistä tekijöistä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle.” Työnantajan velvollisuuksiin kuuluu huolehtia teknisin toimenpitein, ettei lämpötila työpaikalla ylitä +28 astetta, kun ulkolämpötila on alle +25 astetta (Työsuojeluhallinto, lämpöolot). Jos näin pääsee tapahtumaan, täytyy työtä alkaa tauottaa. Jos työpaikan lämpötila on 28 – 33 astetta, täytyy altistumisesta kuumuudelle rajoittaa 50 minuuttiin työtuntia kohden (työntekijä pitää 10 minuutin tauon viileässä tilassa). Jos lämpötila ylittää +33 asteen rajan, pitenee tauko 15 minuuttiin.

3 KOHDE

3.1 Oras Oy:n historiaa

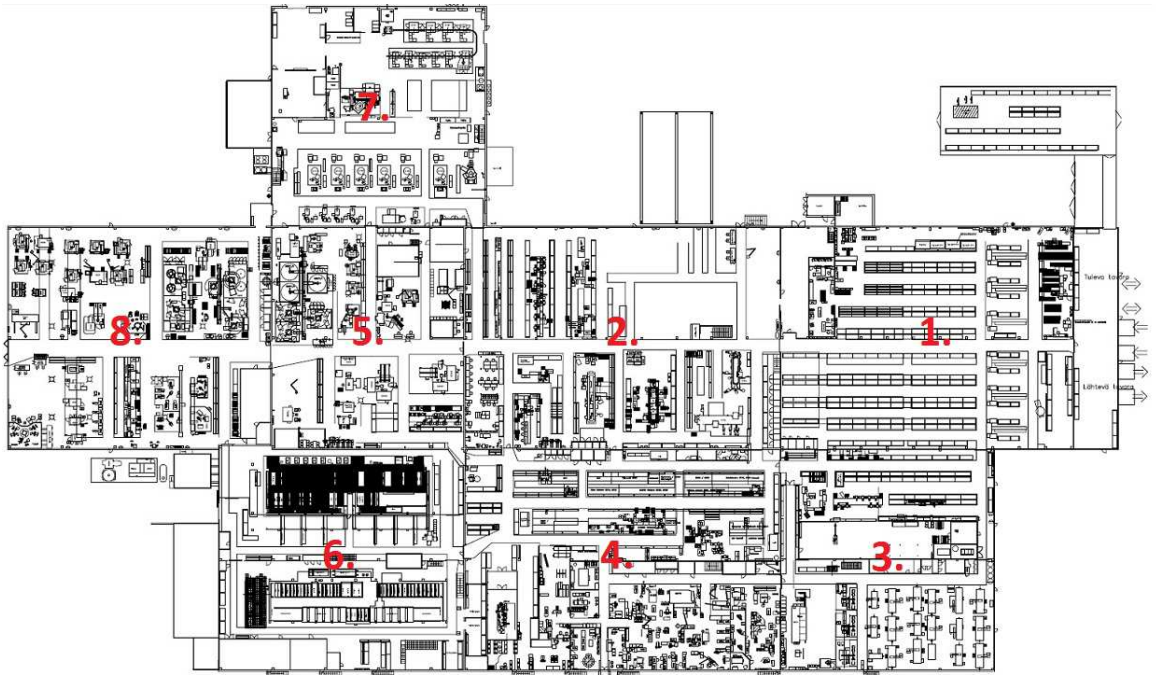
Oras Oy perustettiin vuonna 1945 ja sen omistaa perheyritys Oras Invest. Oras osti syyskuussa 2013 saksalaisen hanavalmistaja Hansa Metallwerke AG:n tytäryhtiöineen. Hansa ja Oras muodostavat yhdessä uuden Oras Groupin. Konsernin pääkonttori on Raumalla ja sillä on neljä tuotantolaitosta: Raumalla, Saksan Burglengenfeldissä, Tsekin Kralovicessä ja Puolan Olesnossa. Vuonna 2013 konsernin liikevaihto oli 156,7 miljoonaa euroa ja tilikauden lopussa konserni työllisti 1400 henkilöä (Oras, Oras Group lyhyesti).

Oras toi 1950-luvulla markkinoille ensimmäiset kaksiotehansa. 1970-luvulla siirryttiin muoviteknologiaan, jolloin ensimmäinen vipuhana, jossa on kromattu muovinen kahva, näki päivänvalonsa. Ensimmäiset termostaattihanansa Oras teki 1980-luvulla. 1990-luvulla kuvioihin tuli elektroniikka ja ensimmäiset kosketusvapaat hanat. Tämän jälkeen Oraksen tavoitteena on ollut olla elektronisten hanojen markkinoiden todellinen omistaja Euroopassa.

3.2 Rauman tehdas

Kiinteistön osoite on Isometsäntie 2, 26100 Rauma. Kiinteistöön kuuluu tehdas ja konttoritilat (pääkonttori), jotka ovat yhteydessä toisiinsa niin sanotulla ”napanuoralla”, eli yhdyskäytävällä. Tehdasrakennuksen alakerrassa ovat sosiaalilat, ruokala, keittiö ja varastotiloja.

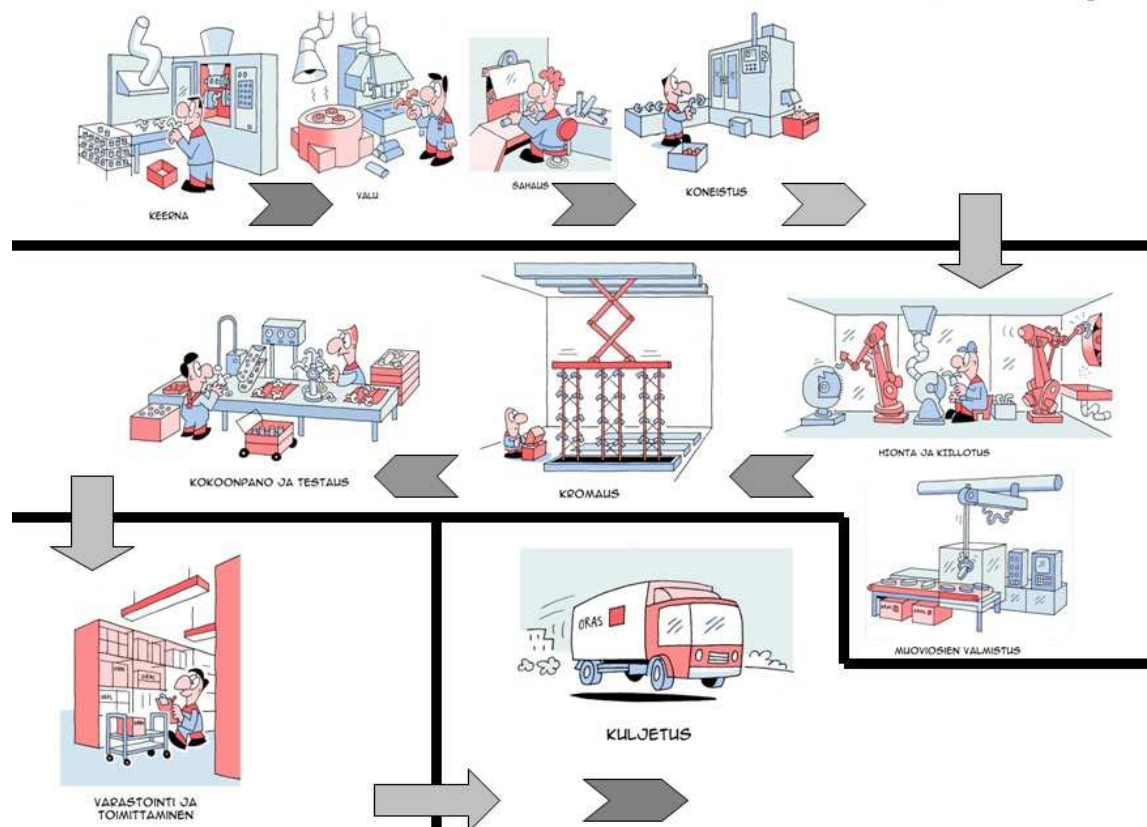
Tehdastiloihin kuuluu kahdeksan eri hallia (kuva 1), jotka ovat numeroitu valmistumisjärjestyksen mukaan. Tehdashallit on rakennettu vuosina 1969 - 95. Tehdashallien rajat ovat myös paloalueiden rajat.



KUVA 1. Oraksen Rauman tehdastilojen pohjakuva (Oras)

Rauman tehtaalla valmistetaan (kuva 2) elektronisia hanoja, kylpyhuonehanoja, keittiöhanoja, designhanoja, suihkuvarusteita (juoksuputket yms.), muoviosia sekä erilaisia venttiileitä.

HANATEHDAS



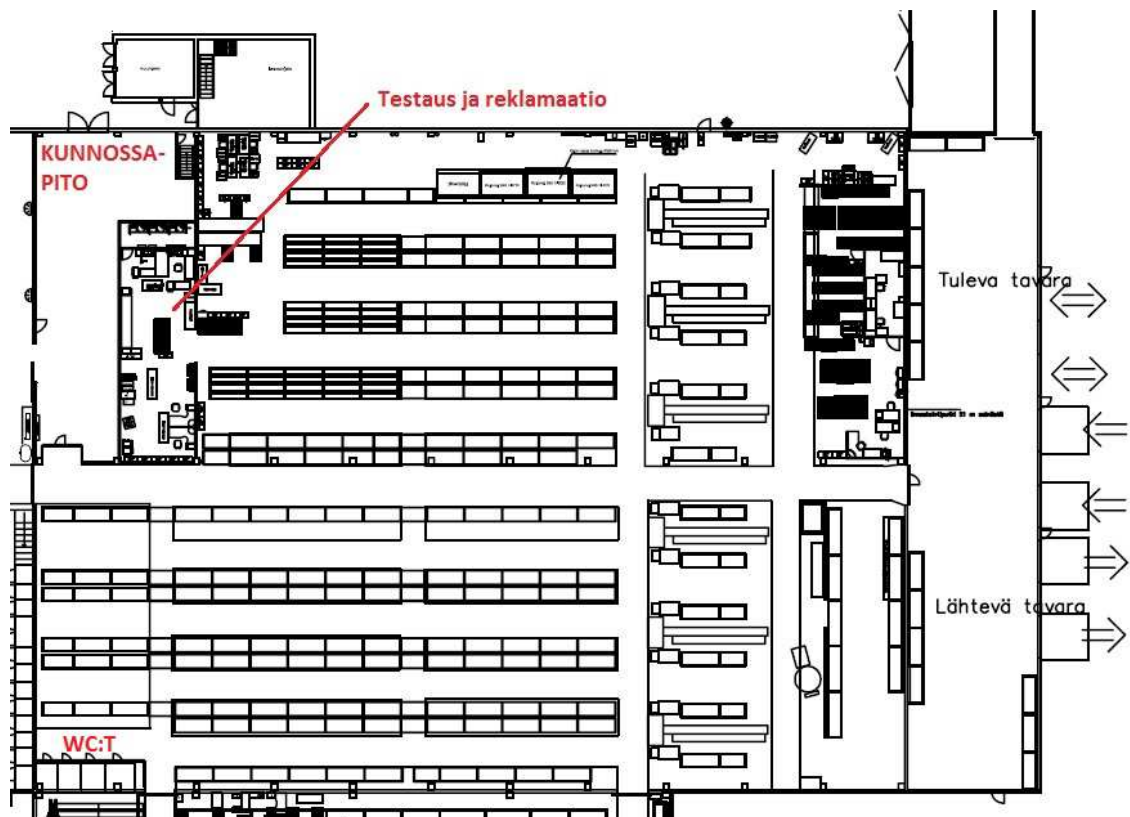
KUVA 2. Hanan valmistusprosessi (Oras)

4 LÄHTÖTIEDOT

Kohteen lähtötiedot on suurimmaksi osaksi kerätty paikanpäällä kiertäen, mutta myös mahdollisia arkistoja ja sähköisiä tietoja hyväksikäyttäen.

4.1 Halli 1

Halli 1:ssä on varastohyllyjä, pakkaamo, tuotteiden testaus sekä reklamaatiopiste ja nurkassa kunnossapidon erilliset tilat (kuva 3). Toisessa nurkassa sijaitsee WC:t. Hallin pinta-ala on noin 3352 m².



KUVA 3. Halli 1

4.1.1 Valmisvarasto ja lähettämö

Valmisvarasto ja lähettämö ovat samassa avoimessa tilassa. Tilojen tuloilma hoidetaan kahdella vanhalla tuloilmakoneella (01TK01 ja 01TK02). Molempien koneiden tuloil-

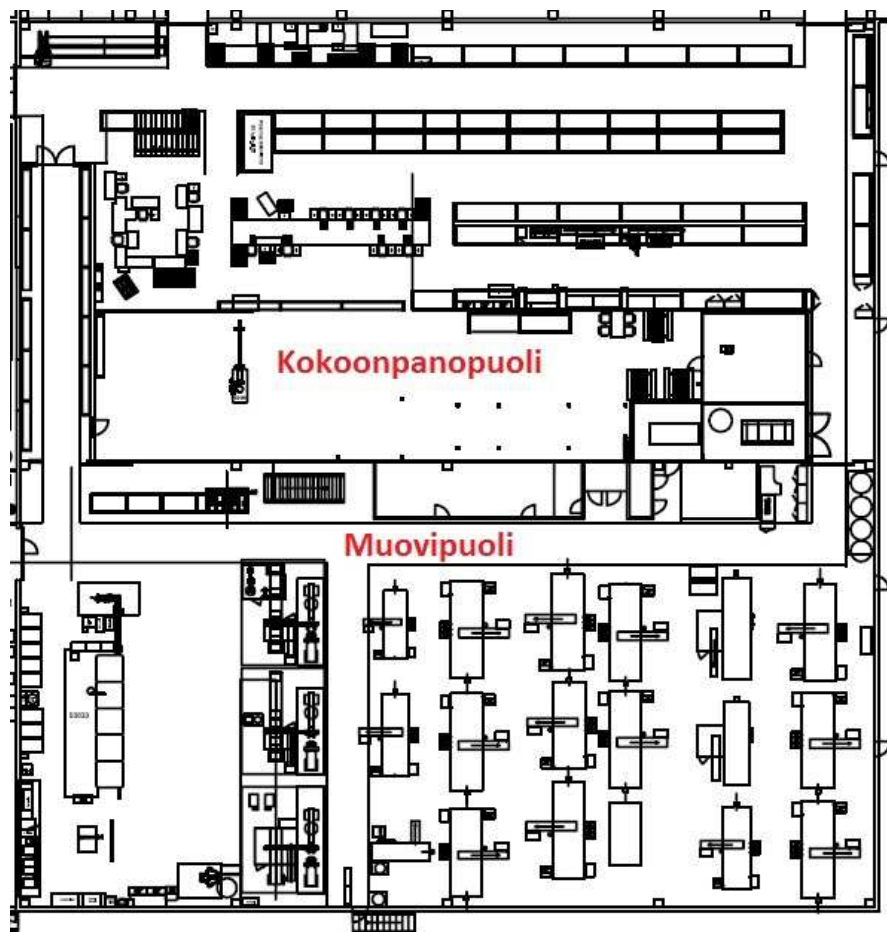
mavirta on noin 4,2 m³/s (yhteensä 8,4 m³/s) ja ne käyvät jatkuvasti täydellä teholla. Koneissa ei ole lämmöntalteenotto-osaa, ne eivät ole taajuusmuuttajaohjattuja, eikä niitä ole liitetty valvonnan alakeskukseen (tehtaalla on Siemensin järjestelmä). Tilan ilmanjakotapa on sekoittava. Ainoat poistoilmalaitteet sijaitsevat WC-tiloissa, joista huippuimuri imee ilmaa vesikatolle. Hallin ulkoseinällä on myös yksi kiertoilmakone, jolla hoidetaan tarvittava lisälämmitys.

Koska tilassa ei valmisteta mitään, eikä tehdä muita epäpuhtauksia aiheuttavia töitä, on se näin ollen puhtaampi tila suhteessa muihin tiloihin. Tämän takia tiloissa ei ole (WC-tilojen poiston lisäksi) ollenkaan poistoilmaa, sillä ilman olisi tarkoitus kulkea halli 1:stä kohti alipaineisia halleja (hallit 6, 7 ja 8).

Tilan ongelmana talvisin on viileät työolosuhteet, koska vieressä on lastauslaituri, josta pääsee kulkeutumaan kylmää ilmaa tiloihin.

4.2 Halli 3, muovipuoli

Halli 3 koostuu kahdesta eri osasta: muovipuolesta ja kokoonpanotiloista (kuva 4). Tilat jakaa vahva betoniseinä ja molempia tiloja palvelevat omat ilmanvaihtokoneet. Koko hallin tehdastilojen pinta-ala on 2436 m². Työssä keskitytään ainoastaan muovipuoleen.



KUVA 4. Halli 3

Muovipuolella valmistetaan hanoihin, suihkuvarusteisiin ja venttiileihin tarvittavat muoviosat. Tiloissa on useita ruiskuvalukoneita, jotka tuottavat suuren määrän lämpöä. Muovipuolen pinta-ala on 1230 m². Muovipuoli toimii kolmessa vuorossa (ei viikonloppuisin), joista jokaisessa on kahdeksan henkeä töissä.

Muovipuolen ongelmana on ollut suuri ylikuumeneminen. Kovillakin pakkasilla lämpötila nousee viikon edetessä jopa 26 asteeseen, vaikka tiloihin ajetaan kahdeksan asteista tuloilmaa. Sisäilman lämpötila nouseekin usein vuoden aikana yli sallittujen arvojen ja työtä on jouduttu tästä syystä tauottamaan. Ilman lämpötilakerrostuminen on myös erittäin suurta. Suuri ylikuumeneminen johtuu ruiskuvalukoneiden tuottamasta lämmöstä. Koneissa sijaitsevat vastukset sulattavat muovin, jotta siitä saadaan valettua tuotteisiin tarvittavia osia. Prosessissa syntyy hallitsemattomia määriä ylikuumenemistä, joka lämmittää tilaa. Koneiden tuottamaa lämpöä on mahdoton arvioida, koska lämpöteho vaihtelee käytettävän muotin mukaan, ja eri muotteja on kymmeniä. Suuren ylikuumenemisen takia muovipuolella pidetään usein hallin kattoikkunoita auki, josta lämpö karkaa ulos.

Tilojen ilmanvaihtokoneet ovat väliseinän takana katonrajassa omassa konehuoneessaan. Tilassa on erilliset tulo- ja poistoilmakoneet (03TK02TF01 ja 03TK02PF01), joissa on lämmöntalteenottopatterit. Molempia puhaltimia pyörittää kaksi sähkömoottoria; toinen koneen puhaltaessa puolella teholla, ja toinen täydellä teholla. Koneiden ilmavirrat, kyljessä olevien kylttien mukaan, ovat täydellä teholla 11,2 m³/s (tulo) ja 11,6 m³/s (poisto). Puolitehomoottorien käydessä koneiden ilmavirta on 5,6 m³/s. Tulokoneessa on esilämmityspatteri, joka saa lämpönsä lähellä olevan vedenjäähdyttimen lauhdutusvedestä. Koneet ovat erittäin vanhoja. Muovipuolen ilmanvaihtokoneita ei ole kytketty kiinteistövalvonnan alakeskukseen.

Muovipuolen ilmanjakotapa on sekoittava. Tulopuolen päätelaitteet ovat mallia Fläkt Woods Activent, ja poistopuolen päätelaitteet ovat imukartioita. Activentit on sijoitettu työskentelyalueiden yläpuolelle niin, että ne puhaltavat ilmaa ylöspäin. Tilassa on myös hallinosturi, joka rajoittaa laitteiden sijoittelua.

4.2.1 Ruiskuvalukoneen toiminta

Ruiskuvalukoneita on 22 kappaletta, joista samaan aikaan on yleensä päällä 19 kappaletta. Muovipuolen tuotannonesimies kuvaili ruiskuvalukoneen toiminnan pääpiirteet: ”koneessa on ruiskuvalumuotti, joka pidetään noin 70-asteisena temperointilaitteen avulla. Muotti ajetaan kiinni, jonka jälkeen 250-asteinen muovi ruiskutetaan noin 800 bar:in paineella muottiin. Kun muotti on noin 95 % täynnä, alkaa jälkipaine (noin 700 bar:ia). Jälkipaine pitää paineen muotissa, joka varmistaa kappaleen muodot ja mitat. Kun kappale ei enää täyty, alkaa jäähdytysaika. Jäähdytysaika määrittyy kappaleen paksuudesta ja pintalämmöstä. Muotti avataan ja ulos työnnetään kappale.”

Ylilämpöä syntyy hydrauliiikkapumpusta (öljynlämmitys), muotin temperointi (muotti noin 70 astetta, ja temperointilaitte hohkaa myös lämpöä), raaka-aineen sulatus (240 - 260 astetta, putki eristetty, mutta lämpöä pääsee silti karkaamaan).

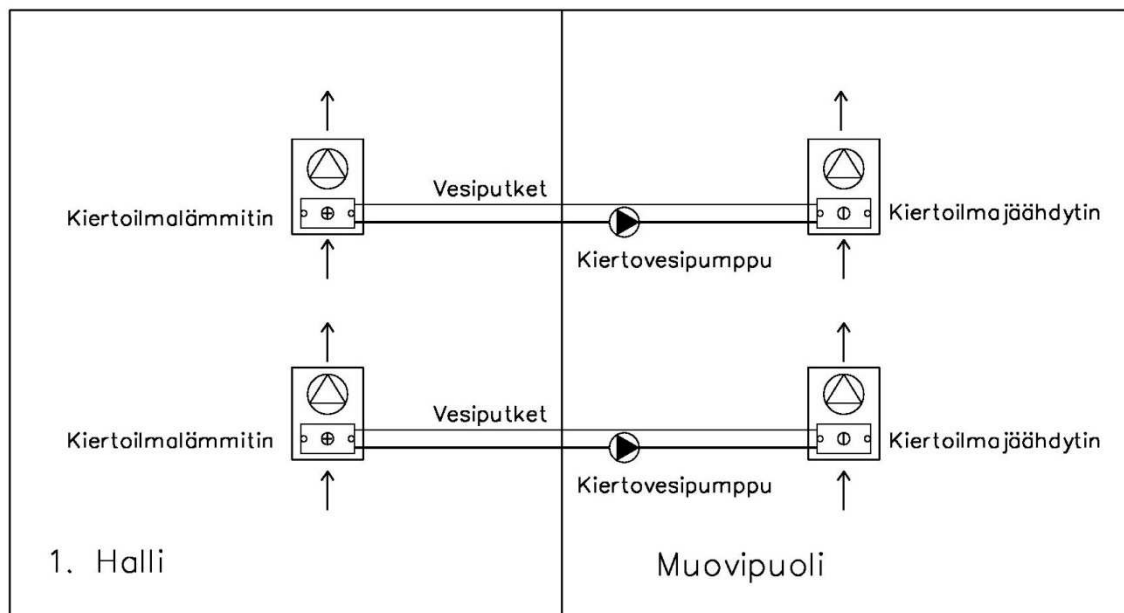
5 LÄMMÖNJAKOTAPOJEN VERTAILU

Lämpöä on mahdollista siirtää monella eri tavalla ja eri järjestelmällä. Seuraavassa osiossa pohditaan eri vaihtoehtojen etuja ja haittoja.

5.1 Lämmön siirto vedellä

5.1.1 Järjestelmän kuvaus

Muovipuolen kattoon asennetaan kiertoilmakoneita, joissa on vesikiertoinen lamellipatteri. Pattereissa kiertää vesi, joka sitoo lämpöenergiaa patterin läpi virtaavasta ilmasta. Lämpö kuljetetaan veden avulla putkistoa pitkin halliin 1, jossa se luovutetaan hallin ilmaan samanlaisilla kiertoilmakoneilla kuin muovipuolella. Ohessa yksinkertainen periaatekaavio järjestelmästä (kuva 5).



KUVA 5. Periaatekaavio lämmön siirrosta vedellä

5.1.2 Edut

Käytettäessä vettä lämmön siirtämiseen järjestelmä tulisi yksinkertaiseksi toteuttaa.

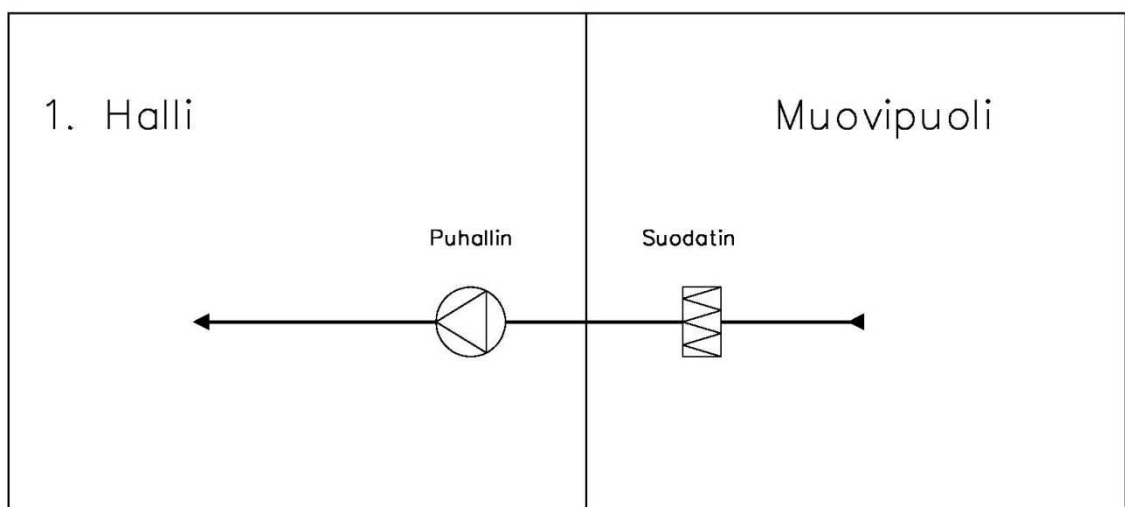
5.1.3 Haitat ja ongelmat

Kun käytetään vettä, joudutaan ilmaa puhaltamaan patterin läpi suuria määriä, jotta lämpöä saataisiin luovutettua. Vesijärjestelmällä ei myöskään päästäisi riittävän suuriin lämpötilaeroihin, koska vettä ei mitenkään saada lämpimämmäksi, tai viileämmäksi, kuin hallin lämpötila. Tämä tarkoittaa sitä, että kiertoilmakoneet olisivat suuria, ja niitä tarvittaisiin paljon, jotta saataisiin siirrettyä suuria määriä lämpöä. Ja kun teho nousee, nousee myös putkikoko, joka taas nostaa investoinnin suuruutta.

5.2 Lämmön siirto ilmalla

5.2.1 Järjestelmän kuvaus

Hallien välille asennetaan ilmanvaihtokanava, joka imee muovipuolen katon rajasta lämmintä ilmaa ja puhaltaa sen halliin 1. Ohessa yksinkertainen periaatekaavio järjestelmästä (kuva 6).



KUVA 6. Periaatekaavio lämmön siirrosta ilmalla

5.2.2 Edut

Järjestelmä on yksinkertainen ja edullinen.

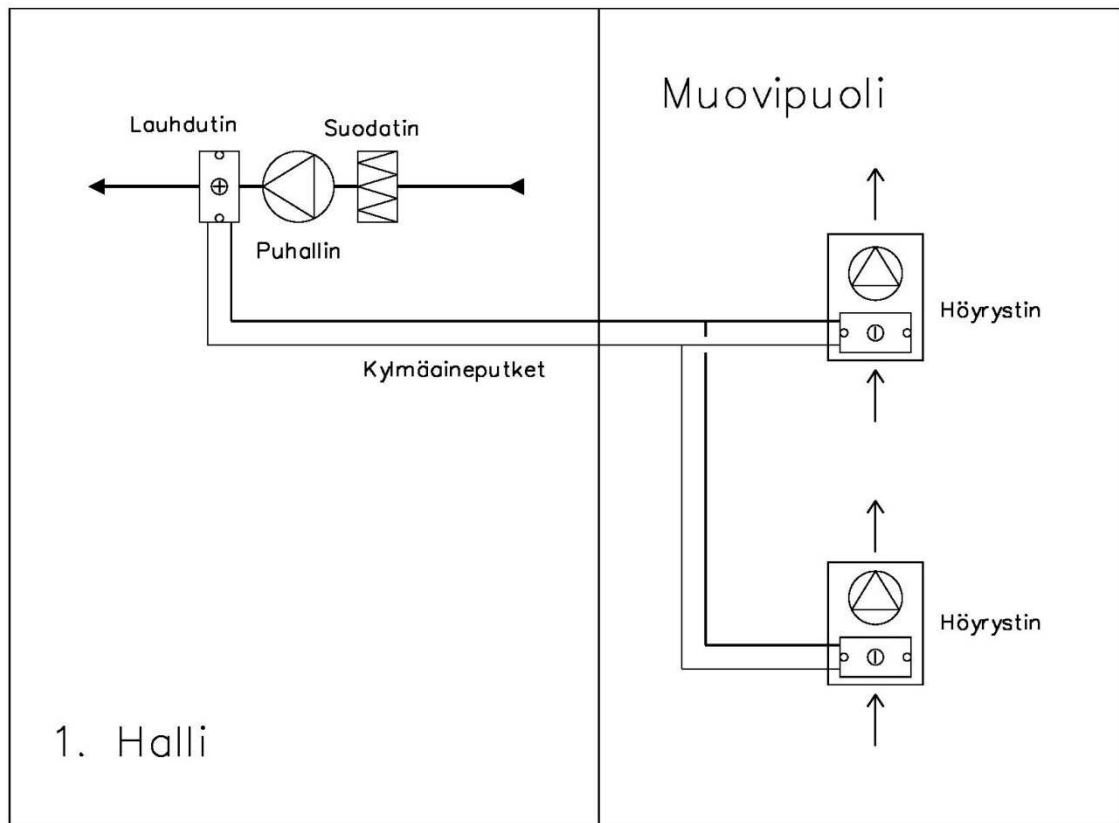
5.2.3 Haitat ja ongelmat

Ilma siirtäisi muovipuolelta, joka on likainen tila, epäpuhtauksia halliin 1, joka taas on puhdas tila. Lisäksi järjestelmä vaikuttaisi liikaa rakennuksen ilmatasapainoon; muovipuolesta tulisi liian alipaineinen, ja hallista 1 liian ylipaineinen.

5.3 Lämmön siirto kylmäaineella kiertoilmaan

5.3.1 Järjestelmän kuvaus

Muovipuolen kattoon asennetaan höyrystinyksiköitä, jotka sitovat lämpöenergiaa ilmas-
ta kylmäaineeseen. Lämpö siirretään kylmäaineen avulla halliin 1, jonne rakennetaan
kiertoilmakone. Kiertoilmakone varustetaan suoralahdutteisella patterilla, jonka avulla
lämpö luovutetaan kylmäaineesta ilmaan. Lämmin ilma jaetaan haluttuihin paikkoihin.
Hallien välinen putkisto on kupariputkea, juotos- tai pikaliitoksilla. Ohessa yksinkertai-
nen periaatekaavio järjestelmästä (kuva 7).

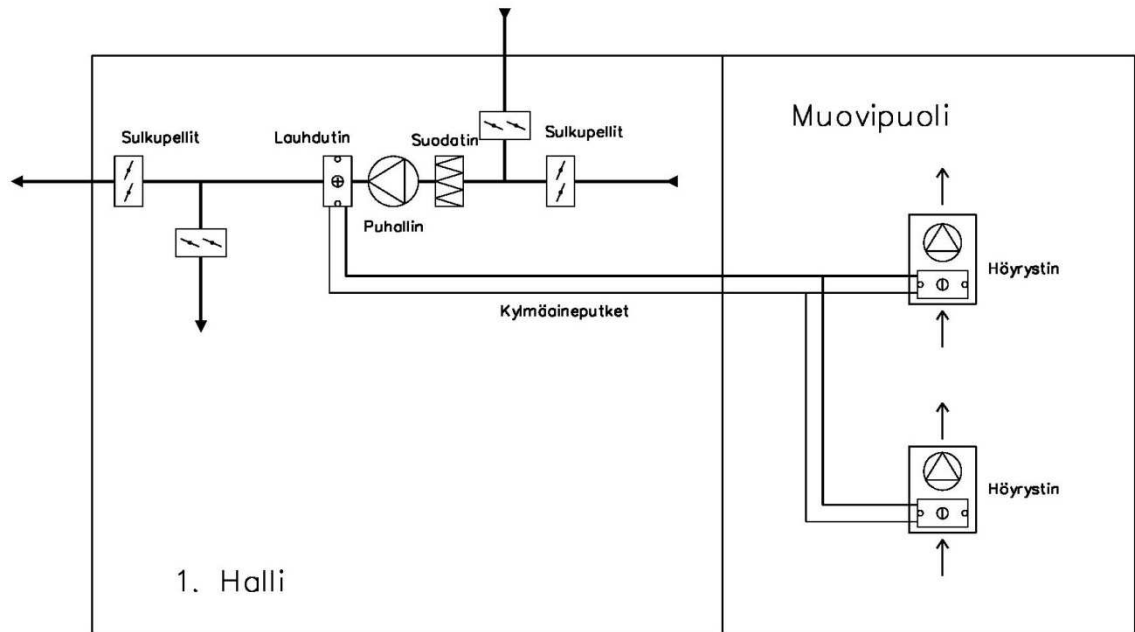


KUVA 7. Periaatekaavio lämmön siirrosta kylmäaineella kiertoilmaan

5.3.2 Edut

Ehdotetussa järjestelmässä saadaan pienillä kylmäainemäärillä siirrettyä suuria määriä lämpöenergiaa. Myös hallien välisen putkiston koko saataisiin pidettyä pienenä, sekä koneiden määrä vähäisenä. Hyödynnettäessä lämpöpumpputekniikkaa saadaan aikaiseksi myös suurempia lämpötilaeroja kuin muissa järjestelmissä, mikä taas helpottaa lämmönluovutusta ja -sitomista. Koska muovipuolen lämpötila on melko tasainen ja korkea, saataisiin lämpöä tehtyä isolla ja vakaalla COP -kertoimella.

Tällä järjestelmällä pystyttäisiin muovipuolta myös jäähdyttämään kesällä niin, ettei hallin 1 lämpötila nouse. Kun halli 1 ei tarvitse enää lisälämpöä, ottaa kiertoilmakone ilmansa ulkoa. Patteri luovuttaa muovipuolelta tulleen lämmön ilmaan, ja kiertoilmakone puhalttaa sen ulos. Ohessa yksinkertainen periaatekaavio järjestelmästä (kuva 8). Investoinnin lisäkustannuksia tulee vain vähän; neljä sulkupeltiä, vähän kanavatöitä sekä peltien automaatiikka.



KUVA 8. Periaatekaavio lämmön siirrosta kylmäaineella kiertoilmaan, lisättynä kesäjäähdytyksen mahdollisuudella

Kesäjäähdytys tuo järjestelmälle lisäarvoa kesällä, koska silloin muovipuolen lämpötila nousee paikoitellen jopa yli 28 asteeseen. Tällöin työtä täytyy alkaa tauottaa (kymmenen minuutin tauko työtuntia kohden), joka taas lisää kuluja. Jos lämpötila pystytään pitämään alle 28 asteen, ei työaikaa tarvitse tauottaa.

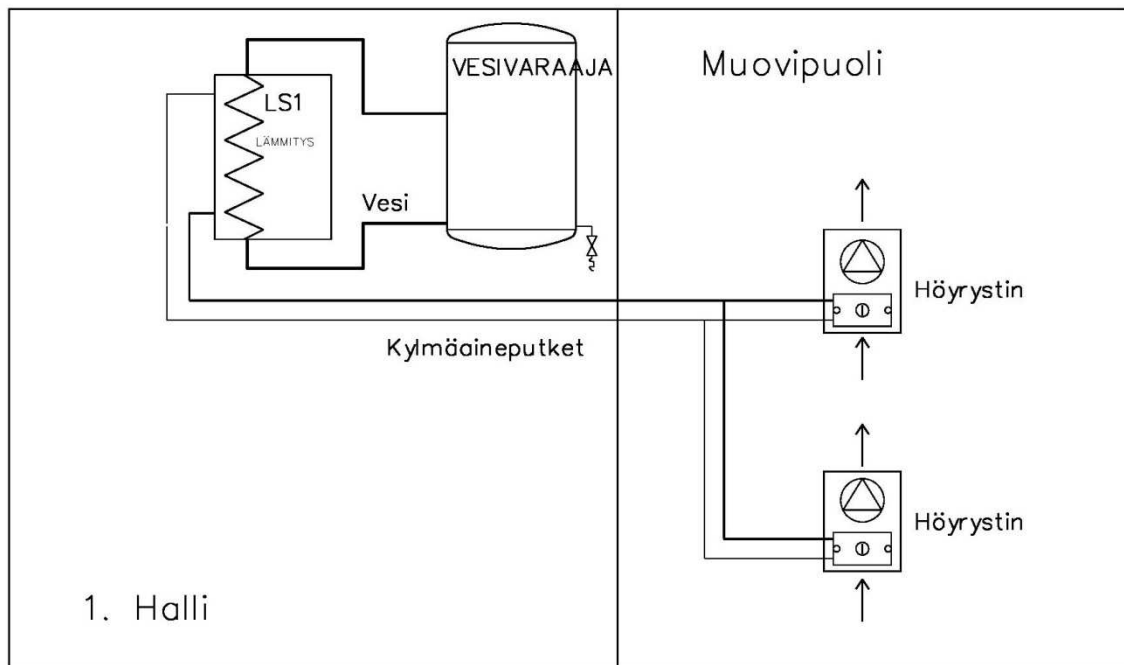
5.3.3 Haitat ja ongelmat

Järjestelmän investointikustannukset kasvavat suuriksi, koska lämpöpumput ovat vielä kalliita. Investointikustannuksien takia järjestelmän takaisinmaksuaika pitenee. Järjestelmä olisi myös ensimmäinen laatuaan, joten oikeiden asetusten löytäminen voi viedä oman aikansa.

5.4 Lämmön siirto kylmäaineella veteen

5.4.1 Järjestelmän kuvaus

Järjestelmä on muuten samanlainen kuin edellinen, mutta kiertoilman sijaan lämpö siirretäisiin lämmönsiirtimillä suureen vesisäiliöön, joka sijaitsee halli 1:n nurkassa. Vesisäiliö toimii tässä tilanteessa varaajana. Ohessa yksinkertainen periaatekaavio järjestelmästä (kuva 9). Lämpöä voitaisiin jakaa säiliöltä eteenpäin vedellä joko ilmaan tai käytöveden esilämmittämiseen.



KUVA 9. Periaatekaavio lämmön siirrosta kylmäaineella veteen

5.4.2 Edut

Kohdassa 5.3 kuvatun järjestelmän etujen lisäksi etuna tulee monipuolisuuden lisääntyminen, koska lämpöä voitaisiin käyttää useampaan tarkoitukseen.

5.4.3 Haitat ja ongelmat

Tässä järjestelmässä on samat ongelmat kuin kohdassa 5.3 kuvatussa, mutta tämän hinnaksi tulee vielä sitäkin suurempi. Hintaa lisää vesisäiliö, sekä laitteistot joilla lämpö siirretään säiliöltä eteenpäin. Kyseinen järjestelmä on tähän kohteeseen huono vaihtoehto, koska käyttöveden tarve on todella pieni, eli ei päästä hyödyntämään monipuolisuutta.

5.5 Vaihtoehtojen vertailun tulos

Kyseiseen kohteeseen parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin lämmönsiirto kylmäaineella. Tulokseen päädyttiin siksi, koska kylmäaineella saadaan aikaiseksi tarvittava lämpötilaero. Lisäksi lämpöä saadaan tuotettua tehokkaalla hyötysuhteella, koska lämpötila pysyy tasaisen korkeana läpi vuoden. Myös investointikustannukset ja olemassa olevien ilmanvaihtokanavien hyötykäyttö vaikuttivat valintaan. Järjestelmällä on myös muitakin käyttömahdollisuuksia kuin lämmöntalteenotto (muovipuolen jäähdytys kesällä).

6 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

6.1 Toteutuskuvaus kylmäaineella kiertoilmaan -järjestelmästä

Muovipuolella lämpö jakaantuu pystysuunnassa melko tasaisesti, kun siirrytään kohti katonrajaa. Tämän takia paras vaihtoehto olisi asentaa kaksi tai kolme pientä konetta ottamaan lämpöä, mutta ongelmaksi tulee pienien koneiden yhteenlaskettu hinta. Yhden 63 kW:n konekoonpanon (lämpöpumppu sekä säätöyksikkö) hintaero verrattuna kahden 31,5 kW:n konekoonpanoon on noin 11000 euroa (63 kW:n lämpöpumppu halvempi). Tästä syystä päädyttiin käyttämään yhtä 63 kW:n konetta.

Muovipuolen katonrajaan sijoitetaan Panasonic U-20ME1E81 –lämpöpumppu (liite 1), joka ottaa ilmasta lämpöä talteen. Lämpöpumpun lämmitysteho on 63 kW. Kone sijoitetaan keskellä olevien kattoikkunoiden alapuolelle (kuva 10), koska tällä kohtaa on parhaiten tilaa. Koneiden sijoitusta rajoittaa hallinosturi, joka kulkee kattotuolien alareunaa hipoen. Lämpöpumppu ottaa ilman koneen sivusta, ja puhaltaa sen suoraan ylös. Koneen päälle joudutaan tekemään ilmanohjauspelti, koska koneelta lähtevä ilma on kylmää koneen otettua siitä lämpöä. Tällöin ilmaa saadaan ohjattua haluttuihin paikkoihin.

Lämpöpumppu jäädyttää ilmaa suurella teholla. Kun patteri siirtää lämpöä ilmasta kylmäaineeseen jäädyttäen patterin pintalämpötilan alhaiseksi, tiivistyy patterin pinnalle vettä. Kondenssivettä syntyy paljon, joten koneen alle joudutaan tekemään allas, joka viemäroidään.

Putki- ja kaapelipituudet, niiden reitit sekä koneen paikka käytiin mittaamassa ja valitsemassa tehtaalla. Samalla tehtiin arvio työn määrästä. Lämpöpumpun paikan muovipuolella määritti päästävyys, tila ja kannakointi. Näillä tarkoitetaan sitä, että koneen pääsee nostamaan trukilla paikalleen, sen saa tukevasti kannakoitua sekä sen tiellä ei ole muita laitteita tai LVI-tekniikkaa. Lämpöpumppu painaa 410 kg, joten se tarvitsee tukevan tukirakenteen. Pumpulle tehdään 100*100 mm rautapalkista ”peti”, joka kiinnitetään betoniseen kattotuoliin. Lämpöpumpun sijoitus käydään tarkemmin läpi rakennesuunnittelijan kanssa, jos urakka toteutetaan.

Putkimatkaksi lämpöpumpun ja suoralauhteisen patterin välille tulee noin 90 metriä. Höyrystimeltä lähtevä putki on kooltaan 1 1/8" ja palaava putki 5/8". Putket ovat kylmäasennuksiin tarkoitettua kupariputkea ja ne eristetään 13 mm solukumieristeellä. Putkiliitokset sekä -käyrät tehdään pikaliitoksilla, jolloin vältetään tulitöiden teko. Sähkökaapin ja lämpöpumpun välisen kaapelireitin pituudeksi tulee noin 42 metriä.



KUVA 10. Muovipuolen katto (29.3.2013)

Lämpö viedään R410A -kylmäaineella putkistoa pisin halli 1:een, jossa lämpö siirtyy ilmaan. Kylmäaine luovuttaa lämmön ilmaan suoralauhdutteisessa ilmanvaihtopatterissa. Järjestelmää säätää kaksi Panasonic Air Handling Unit Kit CZ-560MAH1 –säätöyksikköä (liite 2), jotka säätävät älykkäästi ilman ja kylmäaineen lämpötilaa. Säätöyksikön mukana tulee paisuntaventtiili, neljä termostaattia (kaksi ilman ja kaksi kylmäaineen lämpötilaa mittaamaan), itse säätöyksikkö sekä kaukosäädin.

Lastauslaiturin oven yläpuolella on vanha käyttämätön 800 mm halkaisijaltaan oleva ilmastointikanava (kuvat 11 ja 12), jota pitkin ennen ajettiin paineilmakompressoreista tuleva yllilämpö halliin. Kompressorit on purettu joitain vuosia sitten, mutta kanava on jätetty kattoon siltä varalta, että sille olisi joskus käyttöä. Runkokanavasta lähtee kym-

menen 400 mm halkaisijaltaan olevaa haaraa, joiden päässä on Fläkt Woodsin KHDA ilmanhajotin (liite 3). Hajottimista kaksi kappaletta on lastauslaiturin oven yläpuolella ja loput ovat työskentelyalueiden päällä. Tätä kanavaa käytetään hyödyksi, jolloin saadaan säästettyä investointikuluissa. Kanavaan asennetaan suoralauhdutteen tuloilmapatteri, jossa kylmäaine lauhtuu ja luovuttaa lämpönsä ilmaan. Patterin eteen tulee aksiaalipuhallin, joka kierrättää hallin ilmaa kanavan lävitse. Puhaltimen eteen rakennetaan suodatinlaatikko, jonne tulee suodattimet.

Kone ottaa ilmansa hallin nurkasta katonrajasta, ja puhalttaa sen lastauslaiturin oven eteen ja työskentelyalueille. Tarvittaessa kanavointia voi jatkaa tai haaroja lisätä.



KUVA 11. Lähettämössä oleva vanha ilmastointikanava (17.10.2013)



KUVA 12. Lähettämössä oleva vanha ilmastointikanava (17.10.2013)

6.2 Järjestelmä kesäjähdytyksellä

Järjestelmä on myös mahdollista rakentaa niin, että muovipuolta jäähdytetään kesällä. Mikäli kesäjähdytystäkin halutaan, järjestelmään ehdotetaan lisättäväksi kaksi haaraa; toinen ennen puhallinta (ilmanotto ulkoa) ja toinen patterin jälkeen (ulostruphallus). Kun halli 1:ssä ei enää tarvita lisälämpöä, ottaa puhallin ilmansa ulkoa, jolloin muovipuolelta otettava ylimääräinen lämpö siirretään ulkoa otettuun ilmaan. Tämän jälkeen se puhalletaan patterin jälkeen olevasta haarasta ulos. Ilma täytyy ottaa ulkoa, ettei ilmatasapaino hallissa muutu. Kaikki haarat varustetaan moottorisulkupelleillä, joilla ohjataan ilman kulkua. Tällä vaihtoehdolla lisätään muovipuolella työmukavuutta.

6.3 Valvonta

Jotta energiasäästöjä saataisiin aikaiseksi, on olemassa olevien tuloilmakoneiden tuloilman lämpötilan asetusta laskettava. Tästä syystä hallien laitteet sekä lämpötilaa mittaavat lämpötila-anturit olisi hyvä liittää olemassa olevaan kiinteistövalvonnan alakeskukseen. Tällöin hallien, tuloilmojen, sekä kiertoilman lämpötilojen tarkkailu ja säätö olisi hallittua ja helppoa. Kun tuloilmakoneet on kytketty valvontajärjestelmään, on niihin

myös mahdollista ohjelmoida tarpeenmukaiset käyttöajat, mikä jo yksinään tuo valtavasti säästöä, koska tällöin ei kaukolämpöä kulu tuloilman lämmittämiseen.

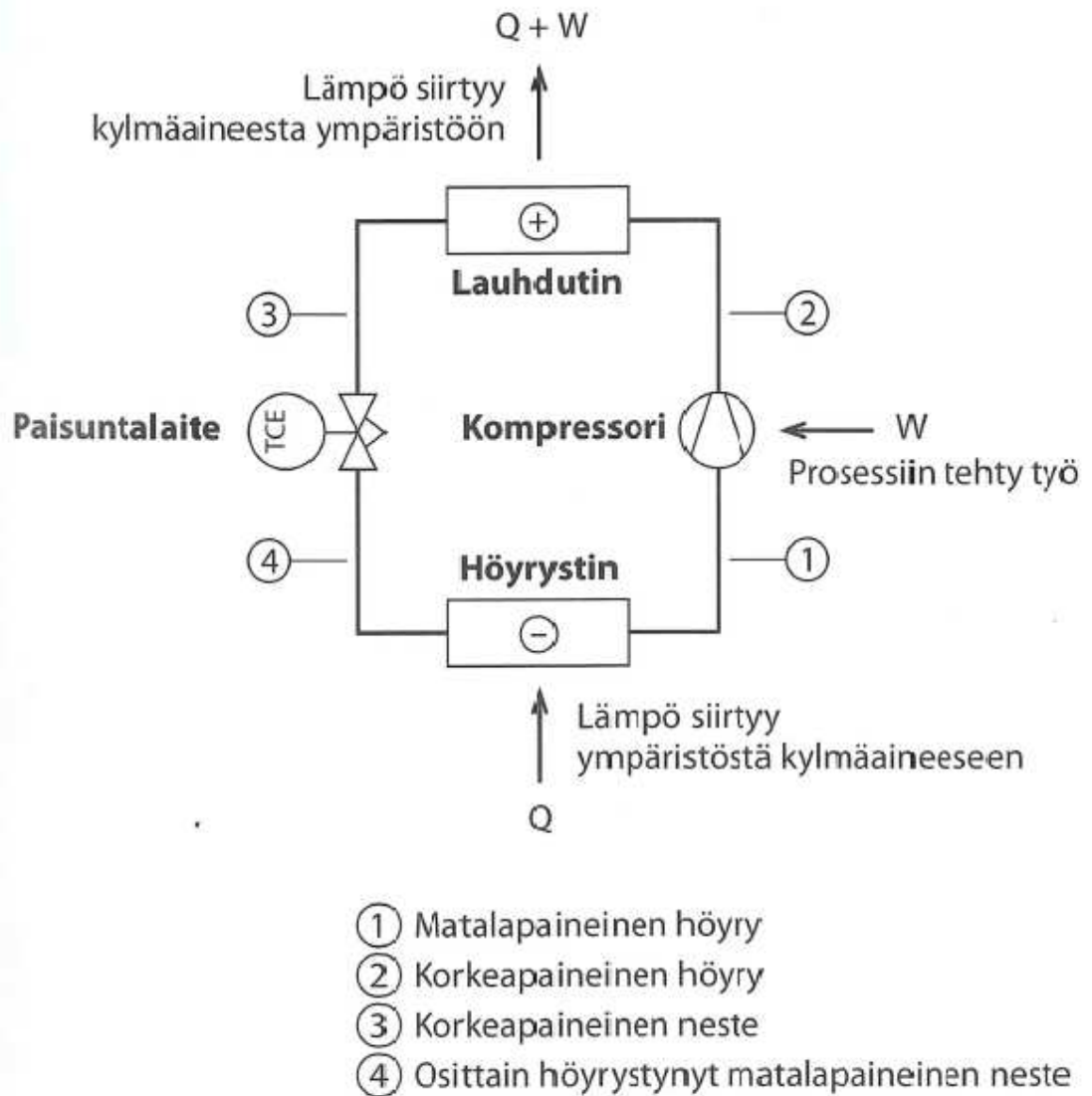
Kesäjähdytysjärjestelmä vaatii myös moottoripeltien liittämistä valvontaan, jotta niitä voidaan ohjata mahdollisimman hallitusti.

7 LÄMPÖPUMPUN TOIMINTA

Lainaus Kylmätekniiikan perusteet –kirjasta (Kylmätekniiikan perusteet, Opetushallitus):
”Kylmäaineiden tehokas lämmönsiirtokyky ja koko nykyinen jäähdytystekniikka perustuu niiden olomuotojen muutokseen. Nestemäinen kylmäaine höyrystyy jäähdytettävässä kohteessa sitoen sieltä itseensä lämpöenergiaa. Vastaavasti kylmäainehöyry nesteytyy (lauhtuu) lämpenevässä kohteessa luovuttaen lämpöenergiaa.”

Tässä tapauksessa siis kylmäaine höyrystyy muovipuolella olevissa höyrystinyksiköissä, jolloin se sitoo itseensä energiaa ympärillä olevasta ilmasta. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine imetään yksikössä olevaan kompressoriin, joka puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen. Kylmäaine tulistuu puristuksen aikana ja sen lämpötila nousee merkittävästi. Seuraavaksi korkeapaineinen höyry johdetaan lauhdutinpatteriin, joka sijaitsee halli 1:ssä kiertoilmakoneen ilmanvaihtokanavassa. Lauhduttimessa kylmäaine tiivistyy (lauhtuu) takaisin nesteeksi samalla luovuttaen lämpöä patterin läpi kulkevaan ilmaan. Lauhduttimesta kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat, ja osa siitä höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa alusta.

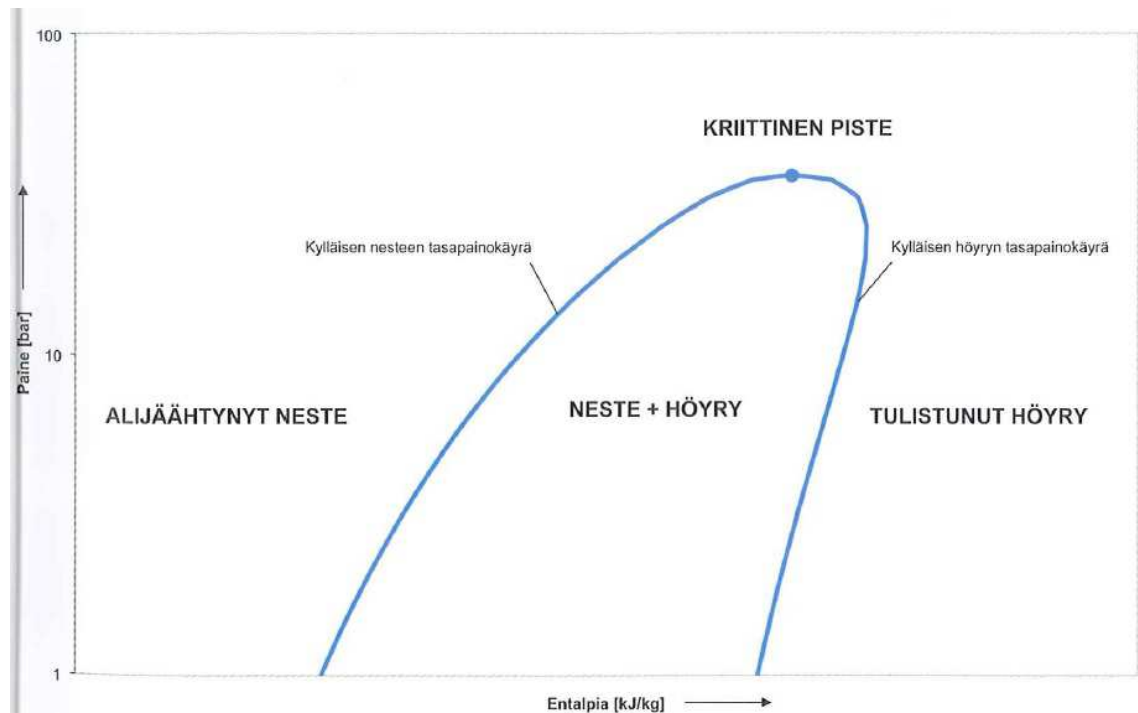
Kuvattaessa lämpöpumpun suorituskerrointa, käytetään sille tarkoitettua omaa COP -kerrointa (Coefficient of Performance). Kerroin kuvaa suoraan kuinka paljon saadaan lämpötehoa (tai vastaavasti jäähdytystehoa) yhdellä kilowatilla sähköä. Eli jos lämpöpumpun COP on neljä, saadaan yhdellä kilowatilla sähköä tuotettua neljä kilowattia lämpöä. Lämpöpumpun COP laskee ulkolämpötilan mukaan: mitä kylmempää ilma (josta lämpöä otetaan) on, sitä pienempi on pumpun COP -kerroin. Jäähdytyskäytössä kerroin on yleensä noin yhden pienempi, koska lämmitystilanteessa kompressorissa syntyvä lämpö saadaan hyödynnettyä, kun taas jäähdytyksessä ei. Eli jos lämmitystilanteessa COP on neljä, niin jäähdytyksessä se on kolme.



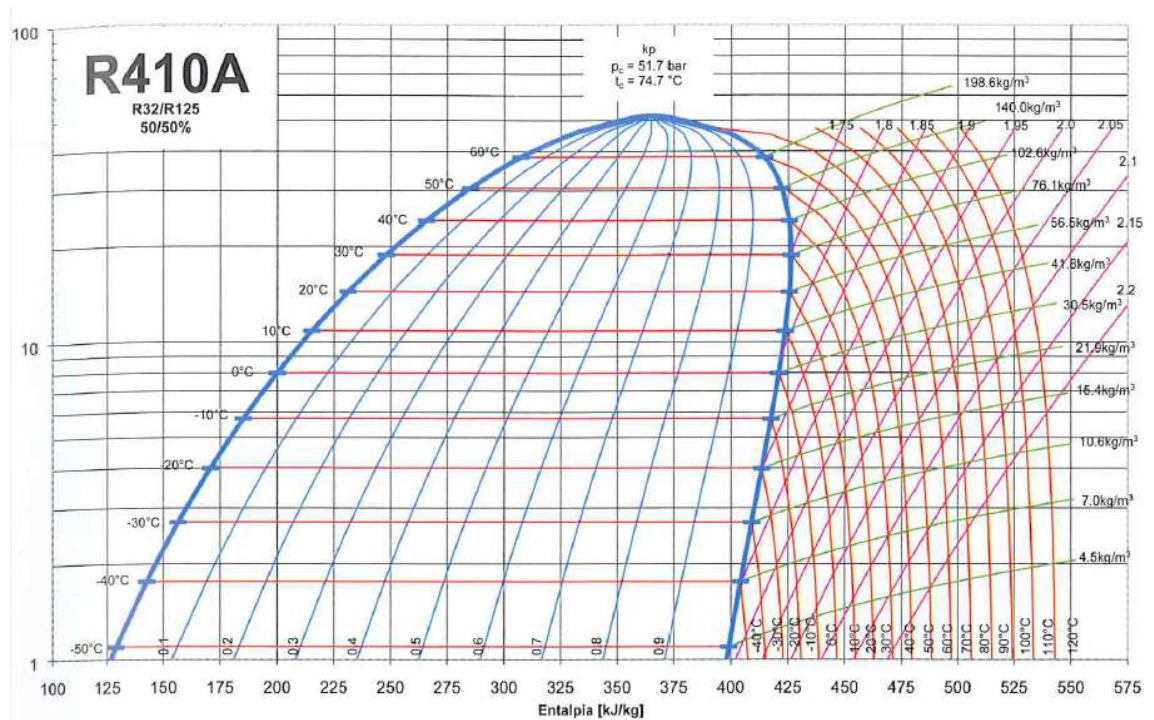
KUVA 13. Kylmäprosessi (Kylmätekniiikan perusteet, Opetushallitus)

Yksittäisen lämpöpumpun kiertoprosessi esitetään jokaiselle kylmäaineelle ominaisella log p,h- tilapiirroksella. Tilapiirroksessa x- akselilla on esitetty entalpiian (h) arvot, ja y- akselilla paineen (p) arvot. Kohteeseen suunniteltavan järjestelmän log p,h- tilapiirros löytyy liitteestä 4.

Tilapiirroksessa oleva rajakäyrä rajaa kylmäaineen eri olomuotoihin (kuva 14): vasemmalla alijäähtynyt neste, rajan sisällä neste sekä höyry, ja oikealla tulistunut höyry. Kylmäaineen kriittinen piste jakaa rajakäyrän kahteen osaan: kylmäisen nesteen ja kylmäisen höyryn tasapainokäyriin. Ohessa kuva kylmäaineen R410A log p,h- tilapiirroksesta (kuva 15).



KUVA 14. Log p,h- tilapiirroksen rajakäyrä ja kylmäaineen olomuodot (Kylmäteknii-
kan perusteet, Opetushallitus)



KUVA 15. Kylmäaineen R410A log p,h- tilapiirros (Kylmäteknii-
kan perusteet, Opetushallitus)

8 SUUNNITELMAT

8.1 Mitoitusilmavirrat

Ilmavirran suuruuden mitoittaa tässä tapauksessa siirrettävän lämmön määrä ja olemassa oleva kanavisto. Lämpömäärä vaikuttaa ilmavirran suuruuteen siten, että mitä pienempi lämpötilan muutos kiertoilmassa tapahtuu, sitä parempi hyötysuhde lämpöpumpulla on. Tämä myös tuntuu työntekijästä epämukavalta, jos puhallettava ilma on liian kuumaa. Kanavistoa on myös mahdollista jatkaa kunnossapidon tiloja kohti. Näin ollen kanavaan saadaan asennettua lisää päätelaitteita ja voidaan lisätä ilmavirtaa. Ilmavirta saadaan laskettua seuraavan kaavan avulla:

$$\phi_{\text{lämpöpumppu}} = q_{v,\text{ilma}} * \rho_{\text{ilma}} * c_{p,\text{ilma}} * \Delta t_{\text{ilma}}$$

Kun lasketaan ilmavirran suuruutta, saa kaava seuraavanlaisen muodon:

$$q_{v,\text{ilma}} = \frac{\phi_{\text{lämpöpumppu}}}{\rho_{\text{ilma}} * c_{p,\text{ilma}} * \Delta t_{\text{ilma}}}$$

jossa

$q_{v,\text{ilma}}$ = ilmavirta, m³/s

$\phi_{\text{lämpöpumppu}}$ = lämpöpumpulla siirrettävän lämmön määrä, kW

ρ_{ilma} = ilman tiheys, kg/m³

$c_{p,\text{ilma}}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

Δt_{ilma} = kiertoilman lämpötilan muutos, °C

Koska tässä vaiheessa vasta haetaan sopivaa ilmavirran suuruutta, joudutaan laskemaan ilmavirta usealla eri lämpötilan muutoksella. Esimerkkilaskussa käytetään seitsemää astetta:

$$q_{v,\text{ilma}} = \frac{63 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (30 - 20)^\circ\text{C}} = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kymmenen asteen kiertoilman lämpenemällä ilmavirta olisi 5,25 m³/s. Taulukossa 1 näkyy ilmavirrat muilla lämpötilaeroilla.

TAULUKKO 1. Kiertoilman ilmavirta eri lämpötilaeroilla

Kiertoilman lämpenemä, °C	lämmönsiirto, kW	Ilmavirta, m ³ /s
5	63	10,50
6	63	8,75
7	63	7,50
8	63	6,56
9	63	5,83
10	63	5,25
11	63	4,77
12	63	4,38
13	63	4,04
14	63	3,75
15	63	3,50

Koska ilmavirtaan vaikuttaa myös olemassa olevan kanaviston ja päätelaitteiden koko, ei lämpötilan muutosta ja ilmavirran suuruutta voida valita pelkästään ilman lämpenemän perusteella. Runkokanava on halkaisijaltaan 800 mm, josta lähtee omilla haaroillaan kymmenen kappaletta KHDA-40 päätelaitteita. Koska päätelaitteita on paljon, ne eivät ole rajoittava tekijä. Esimerkiksi kymmenen asteen ilman lämpenemällä yksittäisen päätelaitteen ilmavirran tulisi 0,525 m³/s. Tällä ilmavirralla ja leveällä heittokuvilla yhden päätelaitteen äänitaso on noin 30 dB ja painehäviö 13 Pa (liite 3), jotka eivät ole vielä liikaa.

Tässä tapauksessa mitoittavaksi tekijäksi tulee runkokanava. Teollisuudessa voidaan yleisesti käyttää mitoittavana tekijänä noin 7 m/s ilmannoeputta kanavassa. Jos tämä ylitetään, saattaa ongelmaksi tulla painehäviö ja ääniongelmia. Tässä tapauksessa tilanne on hieman kaksijakoinen. Ilmavirta tulisi pitää suhteellisen suurena, ettei ilman lämpenemä nouse liian suureksi, mikä taas vaikuttaa järjestelmän hyötysuhteeseen. Mutta koska hallissa on jo olemassa halkaisijaltaan 800 mm ilmanvaihtokanava, joka ei ole käytössä, tulee tilanteesta hankalampi. Ilmannoepudella 7 m/s tulisi kanavan ilmavirraksi noin 3,6 m³/s, ja ilman lämpötilaeroksi 14,58 astetta. Jottei hyötysuhde kärsi liikaa, voidaan ilmannoeputta lisätä vielä hieman. 13 asteen ilman lämpenemällä ilmavirta runkokanavassa on 4,04 m³/s. Tällä ilmavirralla nopeus runkokanavassa on noin 7,8 m/s ja painehäviö 1,5 Pa/m.

8.2 Kiertoilmakanaviston painehäviö

Puhaltimen tarvittava paineentuotto lasketaan vaikeimman reitin mukaan. Vaikein reitti on puhaltimen päästä viimeiselle päätelaitteelle. Painehäviöiden suuruus laitetta kohti on saatu Fläkt Woodsin pyöreiden kanavien painehäviötaulukoista (liite 5), suorakaidekanavien kitkapainehäviö –taulukosta (liite 6), KHDA -pätelaitteen teknisistä tiedoista (liite 3), sekä patterin teknisistä tiedoista (liite 7). Muunto-osan (kantikkaasta kanavasta pyöreään) painehäviö jouduttiin arvioimaan.

TAULUKKO 2. Kanavaosien painehäviöt ja nopeudet

Kanavaosa	ilmavirta (dm ³ /s)	nopeus (m/s)	Määrä (kpl, m)	Painehäviö (Pa/m, Pa/kpl)	Painehäviö yhteensä (Pa)
Lauhdutuspatteri	4040	3,4	1	88	88
1200*1000 kanttikanava	4040	3,4	0,5	0,17	0,085
Muunto (1200*1000->800)	4040	3,4/7,8	1	20	20
800 mm kanava	4040	7,8	16,2	1,5	24,3
800 mm 45° kulma	4040	7,8	2	2,5	5
800 mm kanava	3636	7	1,5	1	1,5
800 mm kanava	3232	6,2	3,5	0,85	2,975
800 mm kanava	2828	5,5	3,3	0,7	2,31
800 mm kanava	2424	4,6	2,3	0,6	1,38
800 mm kanava	2020	3,9	2,3	0,45	1,035
800/630 muunto	2020	3,9/5	1	3	3
630 mm kanava	1616	5	2	0,7	1,4
630 mm kanava	1212	3,7	2,8	0,5	1,4
630 mm kanava	808	2,5	2,8	0,3	0,84
630 mm kanava	404	1,4	3,4	0,1	0,34
630/400 haara	404	1,4/3,4	1	2,5	2,5
KHDA-400 päätelaite	404	3,4	1	7,5	7,5
YHTEENSÄ					163,565

Painehäviöksi saatiin 163,6 pascalia (taulukko 2), mutta koska järjestelmää mitoitettaessa on hyvä jättää varaus mahdollisille kanavamutoksille, puhallin mitoitetaan 300 pascalilla.

8.3 Kondenssiveden määrä sekä ilman jäähtymä

Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän siihen mahtuu vettä. Lämpöpumppu jäähdyttää ilmaa, josta se ottaa lämpönsä, todella paljon. Tästä johtuen höyrystinpatterin pin-

nalle tiivistyy vettä, jota kutsutaan kondenssivedeksi. Tiivistyvän veden määrällä ei järjestelmän kannalta juurikaan ole merkitystä, koska lämpöpumpun alle tehtävä allas on joka tapauksessa viemäroitävä. Vaikkei määrällä olekaan merkitystä järjestelmän rakentamiseen, lasketaan silti tiivistyvän veden määrä esimerkkiarvoilla, sekä ilman jäähtymä.

Lämpöpumpun ilmavirta on 16980 m³/h. Arvo täytyy ensin muuttaa muotoon m³/s seuraavalla kaavalla:

$$q_{v,\text{lämpöpumppu}} = \frac{16980 \text{ m}^3/\text{h}}{3600} = 4,717 \text{ m}^3/\text{s}$$

jossa

$q_{v,\text{lämpöpumppu}}$ = lämpöpumpun ilmavirta, m³/s

3600 = kerroin, jolla muutetaan tunnit sekunneiksi

Seuraavaksi täytyy ratkaista ilman jäähtymä:

$$\phi_{\text{lämpöpumppu}} = q_{v,\text{lämpöpumppu}} * \rho_{\text{ilma}} * c_{p,\text{ilma}} * \Delta t_{\text{ilma}}$$

Koska ratkaistaan ilman jäähtymää, saa kaava seuraavanlaisen muodon:

$$\Delta t_{\text{ilma}} = \frac{\phi_{\text{lämpöpumppu}}}{q_{v,\text{lämpöpumppu}} * \rho_{\text{ilma}} * c_{p,\text{ilma}}}$$

jossa

Δt_{ilma} = kiertoilman lämpötilan muutos, °C

$\phi_{\text{lämpöpumppu}}$ = lämpöpumpun jäähdystysteho, kW

$q_{v,\text{lämpöpumppu}}$ = lämpöpumpun ilmavirta, m³/s

ρ_{ilma} = ilman tiheys, kg/m³

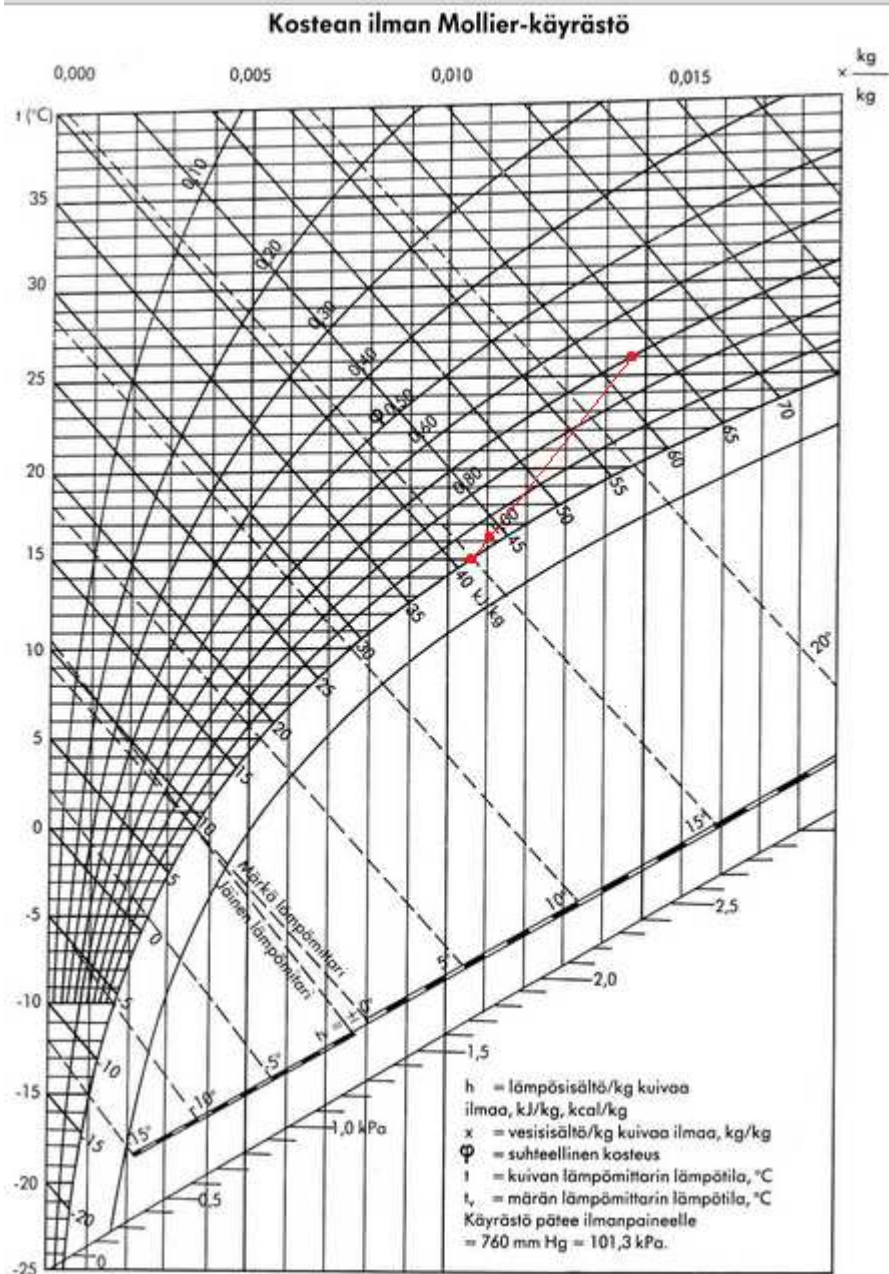
$c_{p,\text{ilma}}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

Ilman jäähtymäksi saadaan:

$$\Delta t_{ilma} = \frac{56 \text{ kW}}{4,717 \text{ m}^3/\text{s} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}} = 9,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

Lasketaan patterin pinnalle tiivistyvän veden määrä käyttäen tulevan ilman lämpötilana +26 astetta. Tällöin poistuvan ilman lämpötila on $26 \text{ }^\circ\text{C} - 9,89 \text{ }^\circ\text{C} = 16,11 \text{ }^\circ\text{C}$. Kylmäprosessin Log p,h- tilapiirroksesta (liite 4) nähdään, että höyrystimen sisällä olevan kylmäaineen lämpötila on noin +15 astetta. Mollier-diagrammista saadaan näillä arvoilla selvitettyä patterin pinnalle tiivistyvän veden määrä. Laskussa käytetään tilannetta, jolloin hallissa on todella kuumaa ja kosteaa ilmaa: lämpötila +26 °C ja suhteellinen kosteus 70 %. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi kesällä sateen aikana tai sen jälkeen.

Patterin pinnan lämpötila on noin +15 °C ja suhteellinen kosteus 100 %. Mollier-käyrästään piirretään viiva näiden kahden pisteen välille (kuva 16). Viivalta etsitään kohta, jossa lämpötila on +16,11 °C (ilman lämpötila, kun lämpöpumppu on ottanut siitä lämpöä). Kun piste on löytynyt, verrataan sen vesisisältöä alkuperäisen pisteen (+26 °C, 70 %) vesisisältöön. Ennen lämpöpumppua yhdessä kilossa ilmaa on noin 0,0147 kiloa vettä ja lämpöpumpun jälkeen 0,011 kg/kg.



KUVA 16. Ilman toimintapisteet Mollier-diagrammissa

Tiivistyvän veden määrä tunnissa saadaan seuraavalla kaavalla:

$$q_{v,vesi} = q_{v,ilma} * \rho_{ilma} * \Delta x$$

jossa

$q_{v,vesi}$ = tiivistyvän veden määrä, kg/h

$q_{v,ilma}$ = lämpöpumpun ilmavirta, m³/h

ρ_{ilma} = ilman tiheys, kg/m³

Δx = ilman vesisisällön muutos, kg/kg

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$q_{v,vesi} = 16980 \frac{m^3}{h} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * \left(0,0147 \frac{kg}{kg} - 0,011 \frac{kg}{kg} \right) = 75,39 \text{ kg/h}$$

Vettä tiivistyisi esimerkkiarvoilla patterin pinnalle 75,39 kiloa tunnissa, mutta todellisuudessa määrä vaihtelee jatkuvasti muun muassa ulkoilman olosuhteiden muuttuessa.

8.4 Puhaltimen ja lauhdutuspatterin valinta

Puhaltimen ja lauhdutuspatterin valinnassa mitoitusarvot annettiin Fläkt Woodsin yhteyshenkilölle, joka valitsi kohteeseen sopivan suoralauhdutteen ilmanvaihtopatterin sekä aksiaalipuhaltimen.

Mitoitusarvot olivat:

- patterille tulevan ilman lämpötila 18 - 20 °C
- ilman lämpenemä 13 °C
- ilmavirta 4,04 m³/s
- Painehäviö 300 Pa
- lämpöteho 63 kW
- patterille tulevan kylmäaineen lämpötila 50 °C
- kylmäaine R410A

Patterin (liite 7) ja puhaltimen (liite 8) laitetiedot löytyvät liitteistä.

8.5 Suodattimet

Kiertoilmajärjestelmään rakennetaan Sataservice Oy:n tiloissa suodatinlaatikko, johon menee neljä kappaletta 600 millimetriä leveitä ja 600 millimetriä korkeita suodattimia. Suodattimien pussien pituus on 500 millimetriä. Suodattimet ovat luokkaa F7. Suodatinluokka saa olla tiheä, koska ilma on jo valmiiksi melko puhdasta. Suodattimien yhteyteen asennettava paine-eroanturi mittaa kanavassa kulkevan ilman paine-eroa ennen ja jälkeen suodattimen. Paine-ero kertoo suodattimien aiheuttaman painehäviön suuruuden. Kun paine-ero kasvaa liian suureksi, tulee kiinteistövalvontaan ilmoitus ja suodattimet täytyy vaihtaa.

8.6 Piirustukset, sekä muut dokumentit

Järjestelmien LVI-piirustukset, säätökaaviot ja kojeluettelot ovat liitteinä 9 ja 10.

9 KUSTANNUSARVIO, SÄÄSTÖVAIHTOEHDOT JA TAKAISINMAKSUAJAT

9.1 Kustannusarvio

Urakan kokonaiskustannusarvioksi laskettiin 49000 €. Laskelma on tehty arvioimalla urakkaan kuluva työaika ja pyytämällä tarjouksia valmistajilta sekä aliurakoitsijoilta.

Hinta koostuu seuraavista osioista:

- Laitteet
 - Panasonic U-20ME1E81 –lämpöpumppu
 - Panasonicin Air handling unit kit –säätöyksiköt
 - Fläkt Woodsin aksiaalipuhallin
 - Luvatan lauhdutinpatteri
- Laitteiden asennus, sähköistys ja kannakointi
- Kanaviston asennus ja kannakointi
- Kylmäaineputkiston asennus ja kannakointi
- Järjestelmän säätö ja käyttöönotto
- Kiertoilmakoneen ja hallin 1 tuloilmakoneiden liittämisen kiinteistövalvontaan

Urakan kokonaiskustannusarvioksi muovipuolen kesäjähdytyksellä laskettiin 53000 €.

Hintaan sisältyy edellisten lisäksi:

- Moottoripellit toimilaitteineen ja niiden asennus sekä sähköistys
- Lisähaaroitusten asennus ulos
- Muutostöihin tarvittavat ilmanvaihtokanavat sekä -osat

9.2 Eri säästömahdollisuudet ja takaisinmaksuaika

Laskettaessa saavutettavia energiasäästöjä käytettiin Rauman Energian sääaseman mitaamia tuloksia vuodelta 2012, koska sääasema sijaitsee Oraksen tehtaiden läheisyydessä (noin 200 metrin päässä), kun taas Ilmatieteenlaitoksen ja Forecan tulokset mitataan Kylmäpihlajan saarella, joka sijaitsee merellä.

Energiankulutuksen vähentymisen lisäksi kustannussäästöä syntyy myös siitä, kun muovipuolen lämpötila saadaan pidettyä työturvallisuuslain säädösten mukaisissa arvoissa. Tauottamisen poistumisesta aiheutuvaa kustannussäästöä ei ole nyt otettu laskelmissa huomioon.

9.2.1 Energiansäästö tuloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla

Molempien hallin 1 tuloilmakoneiden tuloilmavirta on noin 4,2 m³/s ja lämpötilan asetusarvo 20 astetta. Panasonicin lämpöpumpulla saadaan siirrettyä lämpöä noin 63 kW (liite 1). Lämmityskuluissa säästöä saadaan aikaiseksi kun lasketaan tuloilmakoneiden ilman lämpötilan asetusarvoa.

Jos tuloilmakoneiden ilman lämpötilan asetusarvoa laskettaisiin yhtä paljon kuin ilma-
lämpöpumppu siirtää lämpöä muovipuolelta, olisi uusi asetusarvo hieman alle 14 astetta. Arvo on laskettu seuraavalla kaavalla:

$$\phi_{\text{lämpöpumppu}} = q_{v,\text{ilma}} * \rho_{\text{ilma}} * c_{p,\text{ilma}} * \Delta t_{\text{ilma}}$$

koska halutaan saada lämpötilan asetusarvon muutos, saa kaava seuraavanlaisen muodon:

$$\Delta t_{\text{ilma}} = \frac{\phi_{\text{lämpöpumppu}}}{q_{v,\text{ilma}} * \rho_{\text{ilma}} * c_{p,\text{ilma}}}$$

jossa

Δt_{ilma} = tuloilman lämpötilan asetusarvon muutos, °C

$\phi_{\text{lämpöpumppu}}$ = lämpöpumpulla siirrettävän lämmön määrä, kW

$q_{v,\text{ilma}}$ = ilmavirta, m³/s

ρ_{ilma} = ilman tiheys, kg/m³

$c_{p,\text{ilma}}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$\Delta t_{ilma} = \frac{63 \text{ kW}}{8,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}} = 6,25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Näin ollen uusi tuloilman lämpötilan asetusarvo olisi $20 - 6,25 = 13,75 \text{ }^\circ\text{C}$. Jottei syntyisi liikaa vedon tunnetta, täytyy arvo kuitenkin pitää 16 asteessa. Vaikka tuloilman lämpötilaa ei voida laskea 6,25 asteella, saadaan todennäköisesti kaikki 63 kW hyödyksi jossain muualla, koska halli 1 on ylipaineinen verrattuna muihin tiloihin.

Muovipuolella syntyy yllämpöä vain tuotannon aikana. Koska tuotantoa ei ole viikonloppuna, ei näin ollen ole myöskään ylimääräistä lämpöä. Tämän takia lämpöpumppua kannattaa käyttää vain tuotannon ollessa päällä. Tällöin pumpun viikottaiseksi käyntiajaksi tulee 120 tuntia (viisi vuorokautta). Kun käyntiaika jaetaan viikossa olevilla tunneilla (168 tuntia), saadaan pumpun käyttöaste (noin 0,714). Käyttöastetta tarvitaan siksi, että tuloilman lämpötilan asetusarvo ei voi olla 16 astetta myös viikonloppuna, jolloin lämpöpumppu ei ole päällä, koska viikonlopun jälkeen halli 1 olisi liian viileä. Käyttöasteella saadaan näin ollen laskettua asetusarvon laskusta johtuva energiansäästö vuodessa.

Lämpöpumpulla kannattaa ottaa lämpöä talteen vain silloin, kun sille on tarvetta. Eli tässä tapauksessa silloin kun ulkolämpötila on alle 16 astetta. Rauman Energian sääntöjen (liite 11) mukaan vuonna 2012 ulkolämpötila oli alle 16 astetta 7624 tunnin ajan.

Tuloilmakoneiden ilman lämmityksessä säästettävä lämpöteho saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\phi_{ilma} = q_{v,ilma} * \rho_{ilma} * c_{p,ilma} * \Delta t_{ilma}$$

jossa

ϕ_{ilma} = tuloilmakoneiden ilman lämmittämiseksi säästettävä lämpöteho, kW

$q_{v,ilma}$ = tuloilmakoneiden ilmavirta, m³/s

ρ_{ilma} = ilman tiheys, kg/m³

$c_{p,ilma}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

Δt_{ilma} = tuloilman lämpötilan asetusarvon muutos, °C

Asetetaan arvot kaavaan:

$$\phi_{ilma} = 8,4 \frac{m^3}{s} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1 \frac{kJ}{kg} °C * (20 - 16) °C = 40,32 \text{ kW}$$

Vuodessa säästettävä lämpöenergia (kWh) saadaan, kun kerrotaan säästettävä lämpöteho alle 16 asteen ulkolämpötilan tuntimäärällä:

$$E_{lämpö} = \phi_{ilma} * t_{alle 16°C} * n_{lämpöpumppu}$$

jossa

$E_{lämpö}$ = vuodessa säästettävä lämpöenergia, kWh

ϕ_{ilma} = tuloilmakoneiden ilman lämmittämisessä säästettävä lämpöteho, kW

$t_{alle 16°C}$ = aika vuodessa kun ulkolämpötila on alle 16 °C, h

$n_{lämpöpumppu}$ = lämpöpumpun käyttöaste

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$E_{lämpö} = 40,32 \text{ kW} * 7624 \text{ h} * (120/168) = 219571,2 \text{ kWh}$$

Kaukomarkkinat ilmoitti lämpöpumpun COP –kertoimeksi 5,8 +26 lämpötilassa. Lämpöpumpulla tuotetun kilowattitunnin hinta on 0,010155 € (yhden kilowatin tuottamiseen tarvittavan sähköenergian hinta), kun sen COP- kerroin on 5,8. Vuodessa säästettävän energiamäärän (219571,2 kWh) tuottaminen lämpöpumpulla verrattuna kaukolämpöön on 6728,8 € halvempaa. Tästä lukemasta täytyy vielä vähentää aksiaalipuhaltimen kuluttama sähköenergia.

Kiertoilmakoneen aksiaalipuhaltimen SFP -arvo on valmistajan mukaan 0,67 W/ dm³/s.

Aksiaalipuhaltimen vuosittainen sähkönkulutus on:

$$E_{\text{aksiaalipuhallin}} = \frac{SFP * q_v * t_{\text{alle } 16^{\circ}\text{C}} * n_{\text{aksiaalipuhallin}}}{1000}$$

jossa

$E_{\text{aksiaalipuhallin}}$ = aksiaalipuhaltimen vuotuinen sähköenergian kulutus, kWh

SFP = aksiaalipuhaltimen sähkön kulutus tuotettua ilmalitraa kohden, W/ dm³/s

q_v = aksiaalipuhaltimen ilmavirta, dm³/s

$t_{\text{alle } 16^{\circ}\text{C}}$ = aika vuodessa kun ulkolämpötila on alle 16 °C, h

$n_{\text{aksiaalipuhallin}}$ = aksiaalipuhaltimen käyttöaste

1000 = kerroin, jolla muutetaan wattitunnit kilowattitunneiksi

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$E_{\text{aksiaalipuhallin}} = \frac{0,67 \frac{\text{W}}{\text{dm}^3/\text{s}} * 4040 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} * 7624 \text{ h} * \left(\frac{120}{168}\right)}{1000} = 14740,46 \text{ kWh}$$

Aksiaalipuhaltimen vuotuinen sähkönkulutus lämmityskäytössä maksaa 868,21 €.

Neljän asteen tuloilman lämpötilan laskulla saadaan suoraa säästöä vuodessa noin 5860 euroa. Tällä säästöllä takaisinmaksuaika olisi noin 8,4 vuotta. Todellisuudessa takaisinmaksuaika on lyhyempi, koska lämpöpumppu tuottaa enemmän lämpöä kuin tuloilmakoneiden lämpötilan asetusarvon pienentämisessä voidaan käyttää hyödyksi. Koska halli 1 on ylipaineinen verrattuna viereisiin halleihin, kulkeutuu suurin osa ylimääräisestä lämmöstä ilman mukana niihin.

9.2.2 Energiansäästö tuloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla sekä tuloilmakoneiden käyntiaikoja vähentämällä

Toinen säästövaihtoehto on muuten identtinen edellisen kanssa, mutta tässä vaihtoehdossa toinen tuloilmakoneista sammutetaan, kun hallissa 1 ei ole työvuoroa. Toinen tuloilmakoneista voidaan sammuttaa, koska yhden tuloilmakoneen ilmavirta (4,2 m³/s) riittää erittäin hyvin hallin ilmanvaihtoon silloin, kun siellä ei ole ihmisiä töissä. Kun ihmisiä ei ole töissä, on ilmanvaihdon tarkoituksena pitää rakenteet kuivana (estää ho-

meen syntymistä) ja lämpöä yllä. Tällä toimenpiteellä saadaan aikaiseksi mittavia säästöjä ilman suuria lisäkustannuksia. Ainoiksi lisäkustannuksiksi tulee koneiden liittäminen valvonnan alakeskukseen, jotta koneiden käyntiajat saadaan ohjelmoitua.

Tuloilmakoneen 01TK01 tuloilman asetusarvo olisi siis arkipäivisin 16 astetta, ja viikonloppuisin 20 astetta. Tämän lisäksi se ohjelmoitaisiin sammumaan aina tunti työvuoron päättymisen jälkeen, sekä käynnistymään aina tuntia ennen työvuoron alkamista. Koneen käyntiajat löytyvät taulukoista 3 ja 4.

TAULUKKO 3. Tuloilmakoneen 01TK01 käyntiajat 16 asteen tuloilmalla

Viikontäpäivä	Käyntiaika (h)
ma	10
ti	10
ke	10
to	10
pe	10
la	0
su	0
Yhteensä	50

TAULUKKO 4. Tuloilmakoneen 01TK01 käyntiajat 20 asteen tuloilmalla

Viikontäpäivä	Käyntiaika (h)
ma	0
ti	0
ke	0
to	0
pe	0
la	24
su	24
Yhteensä	48

Vuoden 2012 säätietojen perusteella tuloilmakoneen 01TK01 vuotuinen lämmöntarve tuloilman 20 asteen lämpötilalla oli noin 686559 kWh (taulukko 5). 01TK01:sen hetkellinen lämmöntarve -26 (Rauman Energian säätietojen mukaan vuoden 2012 kylmin ulkolämpötila Raumalla) asteen pakkasella, kun tuloilman asetusarvo on 16 astetta, saadaan kaavalla:

$$\phi_{01TK01} = q_{v,01TK01} * \rho_{ilma} * c_{p,ilma} * \Delta t_{ilma}$$

jossa

ϕ_{01TK01} = tuloilmakoneen 01TK01 ilman lämmittämiseen tarvittava lämpöteho kun lämpötilanmuutos on 42 astetta, kW

$q_{v,01TK01}$ = tuloilmakoneen ilmavirta, m³/s

ρ_{ilma} = ilman tiheys, kg/m³

$c_{p,ilma}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

Δt_{ilma} = tuloilman lämpötilan muutos, °C

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$\phi_{01TK01} = 4,2 \frac{m^3}{s} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1 \frac{kJ}{kg} \text{°C} * (-26 - 16) \text{°C} = 211,68 \text{ kW}$$

Vuonna 2012 Raumalla oli noin kahden tunnin ajan -26 asteen pakkasen. Lämmöntarve 16 asteen tuloilman asetusarvolla -26 asteen pakkasella saadaan kaavalla:

$$E_{01TK01,-26} = \phi_{01TK01} * t_{-26} = 211,68 \text{ kWh}$$

jossa

$E_{01TK01,-26}$ = 01TK01:sen lämmöntarve -26 asteen ulkolämpötilalla vuonna 2012, kWh

ϕ_{01TK01} = tuloilmakoneen 01TK01 ilman lämmittämisessä tarvittava lämpöteho, kun lämpötilanmuutos on 42 astetta, kW

t_{-26} = -26 asteen ulkolämpötilan tuntimäärä vuonna 2012 Raumalla

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$E_{01TK01,-26} = 211,68 \text{ kW} * 2 \text{ h} = 423,36 \text{ kWh}$$

Kun lämmöntarve lasketaan samalla tavalla kaikilla vuoden 2012 alle 16 asteen ulkolämpötiloilla, tulee kokonaislämmöntarpeeksi 521085,6 kWh (taulukko 4). Koska koneen käyttöaika lasketaan ja asetusarvo ei ole kuin arkipäivisin 16 astetta, täytyy lämmöntarvetta korjata käyttökertoimilla. Korjauskerroin saadaan jakamalla uusi viikon käyttöaika vanhalla. Näin ollen vuosittaiseksi lämmöntarpeeksi saadaan:

$$E_{01TK01+16, korjattu} = E_{01TK01+16} * \frac{50}{168}$$

jossa

$E_{01TK01+16, korjattu}$ = 01TK01:sen korjattu vuotuinen lämmöntarve 16 asteen asetusarvolla, kWh

$E_{01TK01+16}$ = 01TK01:sen korjaamaton vuotuinen lämmöntarve 16 asteen asetusarvolla, kWh

$\frac{50}{168}$ = käyttökerroin

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$E_{01TK01+16, korjattu} = 521085,6 \text{ kWh} * \frac{50}{168} = 155085 \text{ kWh}$$

Koska tässä on vain 16 asteen asetusarvolla kuluvan energian määrä, pitää lisäksi laskea viikonloppukulutus, jolloin koneen asetusarvo on 20 astetta. Käytetään samaa kaavaa kuin edellisessä:

$$E_{01TK01+20, korjattu} = 686558,88 \text{ kWh} * \frac{48}{168} = 196159,68 \text{ kWh}$$

Tällä vaihtoehdolla lämmitysenergian säästöä syntyisi vuodessa yhteensä:

$$E_{kokonais-säästö} = E_{01TK01+20} - E_{01TK01+20, korjattu} - E_{01TK01+16, korjattu} + E_{01TK02, säästö}$$

jossa

$E_{kokonais-säästö}$ = toisen säästövaihtoehdon vuotuinen energiansäästö, kWh

$E_{01TK01+20}$ = 01TK01:sen vuotuinen lämmöntarve 20 asteen asetusarvolla, kWh

$E_{01TK01+20, korjattu}$ = 01TK01:sen korjattu vuotuinen lämmöntarve 20 asteen asetusarvolla, kWh

$E_{01TK01+16, korjattu} = 01TK01$:sen korjattu vuotuinen lämmöntarve 16 asteen asetusarvolla, kWh

$E_{01TK02, säästö} = 01TK02$:sen vuotuinen säästö, kWh

Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$E_{kokonais-säästö} = 686558,88 \text{ kWh} - 196159,68 \text{ kWh} - 155085 \text{ kWh} + \frac{219571,2}{2} \text{ kWh} = 445099,8 \text{ kWh}$$

Tuloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla sekä tuloilmakoneiden käyntiaikojen vähentämisellä saataisiin kaukolämmön kulutusta vähennettyä 445099,8 kWh:n verran per vuosi. Tämän lämpömäärän tuottaminen lämpöpumpulla maksaa 4520,0 euroa vuodessa, kun taas kaukolämmöllä se maksaa 18160,1 euroa vuodessa. Suoraa säästöä lämmityskuluissa vuodessa syntyy 13640,1 euroa. Kun tästä määrästä vähennetään vielä aksiaalipuhaltimen vuotuiset käyttökustannukset (868,2 €), tulee vuotuiseksi säästökseksi 12771,9 €. Tällä säästö määrällä takaisinmaksuaika olisi noin 3,8 vuotta.

TAULUKKO 5. Koneen 01TK01 lämmöntarve vuoden 2012 säätietojen perusteella

Ulkolämpötila, °C	astetuntiluku, h/a	Lämmöntarve vuodessa kun as.arvo 16 °C, kWh/a	Lämmöntarve vuodessa kun as. arvo 20 °C, kWh/a
-26	2	423,36	463,68
-25	7	1446,48	1587,6
-24	3	604,8	665,28
-23	12	2358,72	2600,64
-22	23	4404,96	4868,64
-21	12	2237,76	2479,68
-20	14	2540,16	2822,4
-19	22	3880,8	4324,32
-18	29	4969,44	5554,08
-17	27	4490,64	5034,96
-16	44	7096,32	7983,36
-15	61	9530,64	10760,4
-14	46	6955,2	7882,56
-13	44	6431,04	7318,08
-12	62	8749,44	9999,36
-11	113	15377,04	17655,12
-10	108	14152,32	16329,6
-9	108	13608	15785,28
-8	111	13426,56	15664,32
-7	112	12983,04	15240,96
-6	129	14303,52	16904,16
-5	183	19368,72	23058
-4	229	23083,2	27699,84
-3	251	24035,76	29095,92
-2	299	27125,28	33153,12
-1	305	26132,4	32281,2
0	773	62334,72	77918,4
1	347	26233,2	33228,72
2	292	20603,52	26490,24
3	317	20769,84	27160,56
4	341	20623,68	27498,24
5	433	24005,52	32734,8
6	305	15372	21520,8
7	241	10931,76	15790,32
8	276	11128,32	16692,48
9	257	9066,96	14248,08
10	292	8830,08	14716,8
11	292	7358,4	13245,12
12	285	5745,6	11491,2
13	278	4203,36	9807,84
14	287	2892,96	8678,88
15	252	1270,08	6350,4
16	250	0	5040
17	266	0	4021,92
18	194	0	1955,52
19	150	0	756
Yhteensä	7624	521085,6	686558,88

9.2.3 Kesäjähdytys

Kesäjähdytyksen lisääminen kasvattaa takaisinmaksuaikaa, koska urakkahinta kasvaa ja muovipuolelta tulevaa lämpöä ei saada käytettyä kesällä hyödyksi. Tämän ratkaisun tavoitteena onkin lisätä muovipuolen työskentelymukavuutta, jonka kautta saadaan myös mahdollisesti hieman säästöä. Kun työolosuhteita saadaan parannettua, vähenee liialle kuumuudelle altistuminen, jolloin työntekijät eivät tarvitse enää lisätaukoja työtuntia kohden.

Kun lämpöä ei saada käytettyä hyödyksi, siirretään lämpö ulkoilmaan. Tällöin siis järjestelmä ei tuota minkäänlaista säästöä. Koska vielä ei tarkkaan tiedetä millä ulkolämpötilalla halli 1 ei enää tarvitse lisälämpöä, käytetään ulkoilman raja-arvona +15 asteen ylitystä.

Lämpöpumpun siirtämä energiamäärä saadaan kaavalla:

$$E_{\text{lämpöpumppu,kesä}} = Q_{\text{lämpöpumppu,kesä}} * t_{\text{yli}+15^{\circ}\text{C}} * n_{\text{lämpöpumppu}}$$

jossa

$E_{\text{lämpöpumppu,kesä}}$ = lämpöpumpun siirtämä lämpöenergiamäärä, kun lämpöä ei saada käytettyä hyödyksi, kWh

$Q_{\text{lämpöpumppu,kesä}}$ = lämpöpumpun jäähdytysteho, kWh

$t_{\text{yli}+15^{\circ}\text{C}}$ = aika vuodessa kun ulkolämpötila on yli 15 °C, h

$n_{\text{lämpöpumppu}}$ = lämpöpumpun käyttöaste

$$E_{\text{lämpöpumppu,kesä}} = 63 \text{ kW} * 1160 \text{ h} * \left(\frac{120}{168}\right) = 52200 \text{ kWh}$$

Lämpöpumpun käyttökustannukset, kun lämpöä ei saada talteen, on 530,1 € per vuosi.

Aksiaalipuhaltimen sähkönkulutus samalta ajalta:

$$E_{\text{aksiaalipuhallin}} = \frac{0,67 \frac{\text{W}}{\text{dm}^3/\text{s}} * 4040 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} * 1160 \text{ h} * \left(\frac{120}{168}\right)}{1000} = 2242,78 \text{ kWh}$$

Aksiaalipuhaltimen käyttökustannukset, kun lämpöä ei saada talteen, on 130,9 € per vuosi.

Järjestelmän käyttökustannukset, kun lämpöä ei saada hyödyksi, yhteensä 661 € per vuosi.

Kesäjähdytyksellä ja tuloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla säästö vuodessa 5199 € ja takaisinmaksuaika on noin 10,2 vuotta. Kesäjähdytyksellä ja uloilman lämpötilan asetusarvoa pudottamalla sekä tuloilmakoneiden käyntiaikojen vähentämisellä säästöt vuodessa 12110,9 € ja takaisinmaksuaika on noin 4,4 vuotta.

9.3 Lisäehdotus päätelaitteiden ilmavirtojen säädettävyyden kannalta

Koska nykyisellä kanavistolla päätelaitteiden ilmavirtaa ei pystytä säätämään (pätelaitteiden yhteydessä ei ole säätölaitteita), voitaisiin KHDA-pätelaitteet vaihtaa Halton:in valmistamiin PRA -pätte/sätölaitteisiin (liite 12). PRA soveltuu erittäin hyvin teollisuuden ilmanpuhallukseen ja se toimii samalla säätölaitteena. Laitteen kyljessä on lisäksi mittayhteet, joista voidaan mitata tarkat ilmamäärät.

Ilmavirran säädöllä varmistetaan, että ilmaa tulee päätelaitteista suurin piirtein sama määrä. Tällöin ilman- ja lämmönjako halliin tapahtuu mahdollisimman tasaisesti.

Pätelaitteiden vaihto ja uudelleen säätö tulisi maksamaan noin 2400 €. Tämä ratkaisu on helppo toteuttaa myös järjestelmän valmistumisen ja testaamisen jälkeen.

10 POHDINTA

Opinnäytetyön teko oli haasteellinen, koska lähdettiin suunnittelemaan täysin ainutlaatuista ratkaisua. Osa laitteiden tiedoista ja arvoista oli puutteellisia ja erittäin vaikeasti saatavia, koska laitteistot ovat vanhoja. Myös lämpökuorman suuri vaihtelevuus muovipuolella aiheutti sen, ettei tarkkaa hukkalämmön määrää pystytty laskemaan. Tämä tietojen puutteellisuus vaikutti suunnitelmien tekoon. Koska opinnäytetyöprosessin aikana ideoitu, laskettu ja suunniteltu ratkaisu on täysin ainutlaatuinen, tuli työn aikana vastaan useita ongelmia, jotka hidastivat työn etenemistä sekä vaikuttivat lopputulokseen. Myös itse aihe vaihtui muutamaan otteeseen työn alkuaikoina, ja tämän takia tuli tehtyä osittain turhaa työtä, mikä taas hidasti prosessin etenemistä. Työn valmistumiseen auttoi erittäin paljon avuliaat ja ammattitaitoiset laitemyyjät, joilta saatiin paljon hyödyllistä tietoa laitevalinnoissa.

Ratkaisuksi muodostuneeseen lopputulokseen vaikutti suuresti muodostuvat investointikustannukset sekä aikaansaavat säästöt. Alusta lähtien tavoitteena oli käyttää hyödyksi lämpöpumpputekniikkaa. Vaikka laitteet ovat vielä kalliita, saatiin aikaiseksi hyvä ja edullinen ratkaisu käyttämällä hyväksi vanhaa laitteistoa höystettynä nykypäivän tekniikalla. Vaikka suurin tavoite oli saada käytettyä hukkalämpöä hyödyksi, saatiin myös kehitettyä ratkaisu, jolla on mahdollisuutta parantaa muovipuolen ja halli 1:n työskentelymukavuutta. Jos järjestelmä toimii suunnitellulla tavalla ja yllämpöä löytyy vielä tämänkin jälkeen, voidaan toiseen päähän muovipuolta lisätä toinen lämpöpumppu.

Energiatehokkuus ja sen parantaminen ovat tämän hetken ja tulevaisuuden aiheita, joista löytyy paljon kehitettävää. Lämpöpumpputekniikalla tulee olemaan iso osa tulevaisuuden lämmitysratkaisuissa sekä lämmön talteenotossa.

LÄHTEET

Energiatehokkuus. Luettu 29.10.2013.

<http://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus>

Energiatehokkuussopimukset. Energiatehokkuussopimusten tavoitteet. Luettu 14.2.2014.

http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/tietoa_sopimuksista/energiatehokkuussopimusten_tavoitteet/

Fläkt Woods. Kierresaumakanava. Luettu 13.2.2014.

<http://www.flaktwoods.fi/tuotteet/vs/kanavatuotteet/ilmanvaihtokanavat/>

Ilmastoinnin suunnittelu, painehäviöt. Luettu 20.3.2014.

Kylmätekniikan perusteet, lämpöpumpun toiminta. Luettu 9.10.2013.

Oras. Yritys. Oras Group lyhyesti. Luettu 15.5.2013.

<http://www.oras.com/fi/consumer/company/Pages/Oras.aspx>

Rauman energia, sääaseman säätiedot vuosilta 2007-2012. Saatu 9.10.2013.

Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy. Teollisuusilmastoinnin opas. Luettu 13.6.2013.

Työsuojelu. Lämpöolot. Luettu 29.10.2013.

<http://www.tyosuojelu.fi/fi/lampoolot>

Ympäristöministeriö. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Luettu 22.11.2013.

http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf

LIITTEET

Liite 1. Panasonic U-20ME1E81 tekniset tiedot

(Kaukomarkkinat)

1(2)

Panasonic



18-20 HP // 2-PIPE ECOi 6N SERIES

NEXT GENERATION VRF NEWLY-REDESIGNED!

At start up stage a unit can have Hi COP function selected - this lowers the capacity and increases the COP. You have the choice.

- Heating operation at outdoor temperatures down to -25 °C.
- Extended pipe runs of up to 180 m.



TECHNICAL FOCUS

- BIGGER CAPACITY IN ONE CASING
- LONGER MAX PIPING LENGTH UP TO 1,000 m
- EXTENDED OPERATING RANGE TO PROVIDE HEATING AT OUTDOOR TEMPERATURE AS LOW AS -25 °C
- SUITABLE FOR RENEWAL PROJECTS (REFER TO TECHNICAL DATA BOOK)

HP	18.0 HP		20.0 HP	
STANDARD MODEL	U-18ME1E81		U-20ME1E81	
Power supply	400 V / 3 phase / 50 Hz			
Cooling capacity	kW	50.0	56.0	
EER	W/W	3.50	3.33	
Electrical ratings	Operating current	A	22.8	26.8
	Power input	kW	14.3	16.8
Heating capacity	kW	56.0	63.0	
COP	W/W	3.86	3.82	
Electrical ratings	Operating current	A	23.1	26.3
	Power input	kW	14.5	16.5
Dimensions	H x W x D	mm	1,758 x 1,540 x 930	
Net weight	Kg	421	421	
Starting current	A	93	101	
Air flow rate	m ³ /h	14,640	16,980	
Refrigerant amount at shipment	Kg	9.0	9.0	
Demand control			13 steps (0 - 100 %)	
External static pressure	Pa	80	80	
Piping connections	Gas pipe	mm	28.58	
	Liquid pipe	mm	15.88	
	Balance pipe	mm	6.35	
Ambient temperature operating range	Cooling: -10 °C DB - +43 °C DB, Heating: -25 °C WB - +15 °C WB			
Sound pressure level	Normal mode	dB(A)	63.0	
	Silent mode	dB(A)	60.0	
Sound power level	Normal mode	dB	74.5	

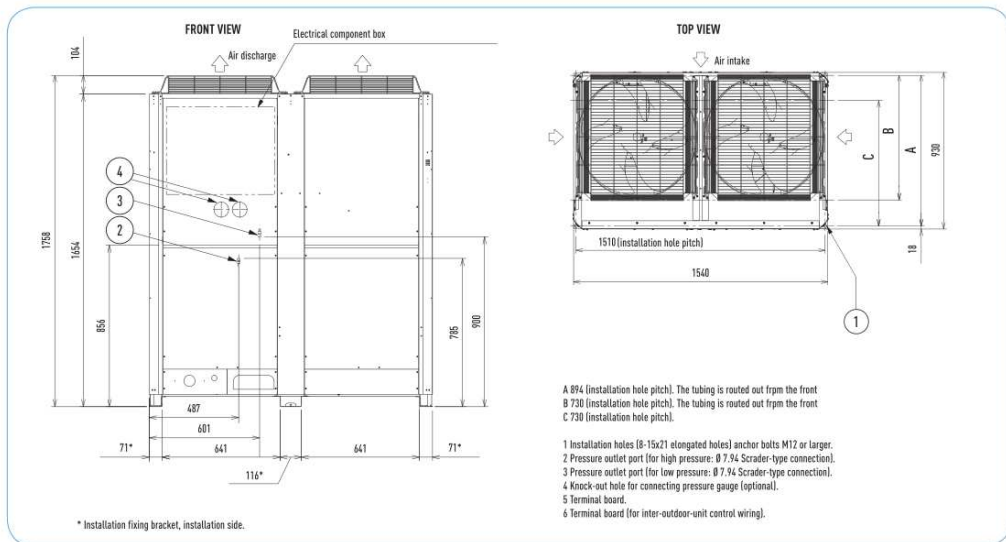
GLOBAL REMARKS	Rated conditions:	
	Cooling	Heating
	Indoor air temperature	27 °C DB / 19 °C WB
Outdoor air temperature	35 °C DB / 24 °C WB	7 °C DB / 4 °C WB

Specifications subject to change without notice.



Compact design

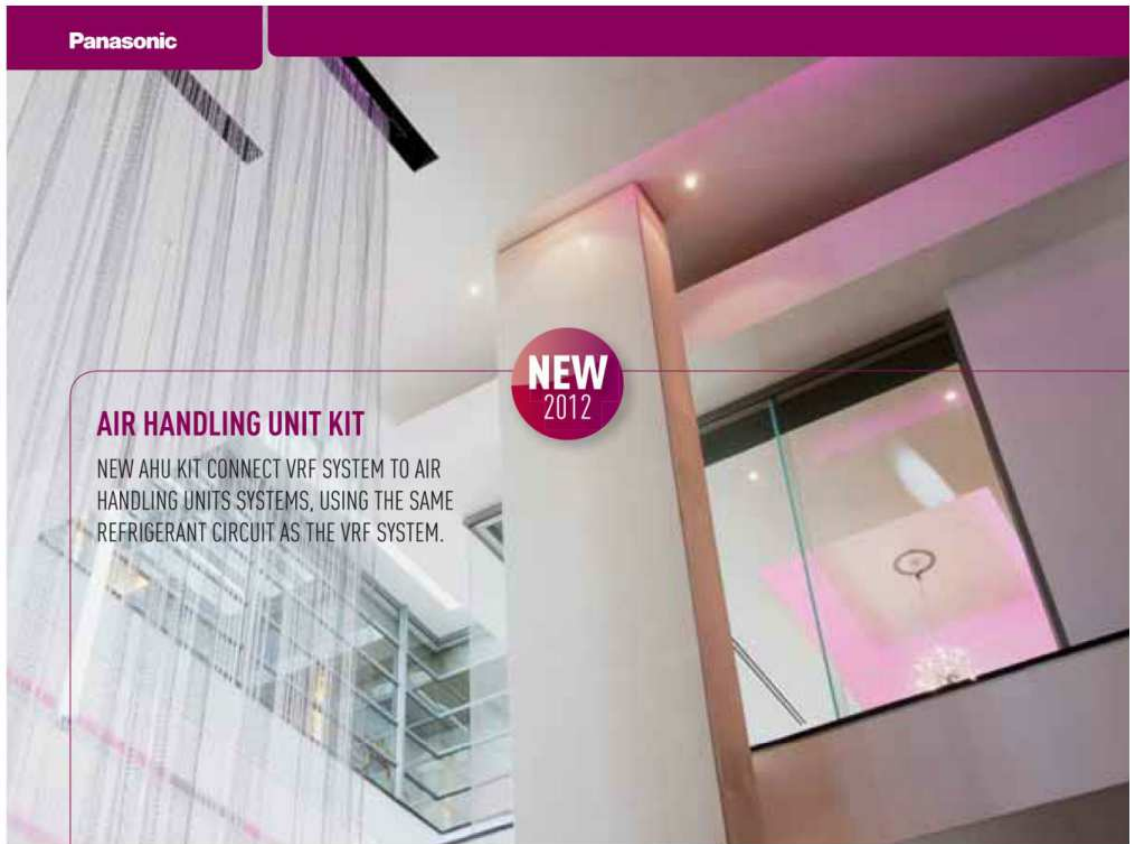
2-Pipe ECOi 6N series has reduced the installation space required by 1 chassis for sizes up to 20 HP.



Liite 2. Panasonic Air handling unit kit tekniset tiedot

(Kaukomarkkinat)

1(4)



AIR HANDLING UNIT KIT

NEW AHU KIT CONNECT VRF SYSTEM TO AIR HANDLING UNITS SYSTEMS, USING THE SAME REFRIGERANT CIRCUIT AS THE VRF SYSTEM.



Panasonic AHU Kit have large connectivity possibilities in order to be easily integrated.

Application: Hotels, offices, server rooms or all large buildings where air quality control such as humidity control and fresh air and is needed.

AHU CONNECTION KIT



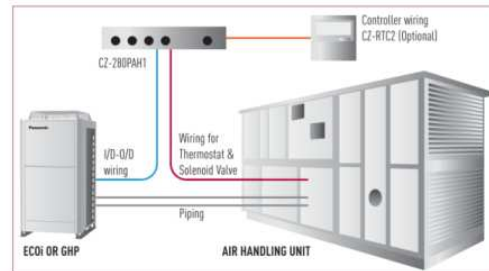
REMOTE CONTROLLER



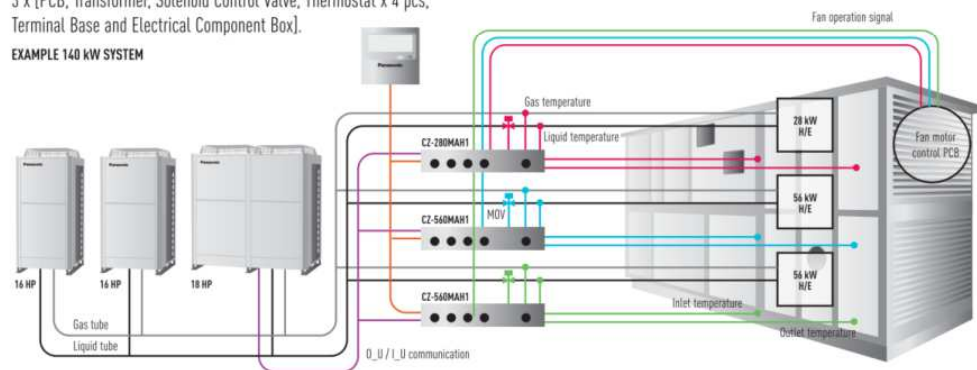
Standard wired remote controller. Optional.

Possible Solution 1 by 1**Panasonic AHU Kit, 28 / 56 kW**

PCB, Transformer, Solenoid Control Valve, Thermostat x 4 pcs, Terminal Base and Electrical Component Box.

**System example for big capacity (more than 56 kW)**

3 x [PCB, Transformer, Solenoid Control Valve, Thermostat x 4 pcs, Terminal Base and Electrical Component Box].

EXAMPLE 140 kW SYSTEM

Optional parts: Following functions are available by using different type of control accessories:

CZ-RTC2 Wired remote controller

- Operation-ON/OFF
- Mode select
- Temperature setting

* Fan operation signal can be taken from the PCB.

T10 terminal

- Input signal= Operation ON/OFF
- Remote controller prohibition
- Output signal= Operating-ON status
- Alarm output (by DC12V)

DC12 V outlet. OPTION terminal

- Output signal= Cooling/Heating/Fan status
- Defrost
- Thermostat-ON

CZ-CAPBC2 Mini seri-para I/O unit

- Temperature setting by 0-10 V or 0-140 Ω input signal
- Room (inlet air) temp outlet by 4-20 mA
- Mode select or/and ON/OFF control
- Fan operation control
- Operation status output/ Alarm output

AHU CONNECTION KIT, 28 kW AND 56 kW FOR ECOi AND GHP

6N SERIES 2-PIPE ECOi OUTDOOR UNIT SHALL BE USED FOR AHU CONNECTION KIT.

2 models for VRF system: 10 HP (CZ-280MAH1) and 20 HP (CZ-560MAH1)

Heat exchanger, Fan & Fan motor to be mounted in AHU Kit shall be provided in the field.

AHU connection Kit can be connected this (field supplied) AHU Kit system. (Contents of kit: Control PCB, expansion valve, sensors)

Application: Hotels, offices, server rooms or all large buildings where air quality control such as humidity control and fresh air and is needed.

AHU Kit combine air conditioning and fresh air in only one solution.

MODEL		CZ-280MAH1	CZ-560MAH1	CZ-280MAH1 + CZ-560MAH1	CZ-560MAH1 + CZ-560MAH1	CZ-560MAH1 + CZ-560MAH1 + CZ-280MAH1	CZ-560MAH1 + CZ-560MAH1 + CZ-560MAH1
Nominal Cooling capacity @ 50hz	kW	28.0	56.0	84.0	112.0	140.0	168.0
Nominal Heating @ 50hz	kW	31.5	63.0	95.0	127.0	155.0	189.0
Horsepower	HP	10	20	30	40	50	60
Cooling Airflow High	m ³ /min	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000
Cooling Airflow Low	m ³ /min	3,500	7,000	10,500	14,000	17,500	21,000
Heating Airflow High	m ³ /min						
Heating Airflow Low	m ³ /min						
Bypass Factor				0.9 (recommended)			
Fan Input Power		--	--	--	--	--	--
Total Cooling (incl. T-Heat exch.)	Nom (Min - Max)	--	--	--	--	--	--
Total Heating (incl. T-Heat exch.)	Nom (Min - Max)	--	--	--	--	--	--
Fuse Size	A	--	--	--	--	--	--
Running Current @ 230v		--	--	--	--	--	--
Input Power @ 230v							
Dimensions of the box (H x W x D)	mm	420 x 280 x 160					
Weight	Kg						
Sound pressure level on cooling mode (nominal)	dB(A)	--	--	--	--	--	--
Sound power level on cooling mode (nominal)		--	--	--	--	--	--
Piping length (min/max)	m	10/100	10/100	10/100	10/100	10/100	10/100
Installation height difference (max)	m	10	10	10	10	10	10
Pipe Diameters	Inch (mm)	3/8 (9.52)	5/8 (15.88)	3/4 (19.05)	3/4 (19.05)	3/4 (19.05)	3/4 (19.05)
	Inch (mm)	7/8 (22.22)	1 1/8 (28.58)	1 1/4 (31.75)	1 1/2 (38.15)	1 1/2 (38.15)	1 1/2 (38.15)
Intake temperature of AHU Kit (Min / Max)	°C	Cooling:-18 - 32DB (13 - 23 WB) / Heating:-16 - 30 DB					
Ambient temperature of outdoor unit (min / Max)	°C	Cooling: -5 - 43 DB / Heating: -15 - 15.5 WB					

AHU CONNECTION KIT / SYSTEM COMBINATION						
CAPACITY (HP)	OUTDOOR UNIT COMBINATION			AHU KIT COMBINATION		
28 kW (10 HP)	U-10ME1E81			CZ-280MAH1		
56 kW (20 HP)	U-20ME1E81			CZ-560MAH1		
84 kW (30 HP)	U-16ME1E81	U-14ME1E81		CZ-560MAH1	CZ-280MAH1	
112 kW (40 HP)	U-20ME1E81	U-20ME1E81		CZ-560MAH1	CZ-560MAH1	
140 kW (50 HP)	U-18ME1E81	U-16ME1E81	U-16ME1E81	CZ-560MAH1	CZ-560MAH1	CZ-280MAH1
168 kW (60 HP)	U-20ME1E81	U-20ME1E81	U-20ME1E81	CZ-560MAH1	CZ-560MAH1	CZ-560MAH1

NEW
2012

OPTIONAL
Standard wired remote controller
CZ-RTCZ



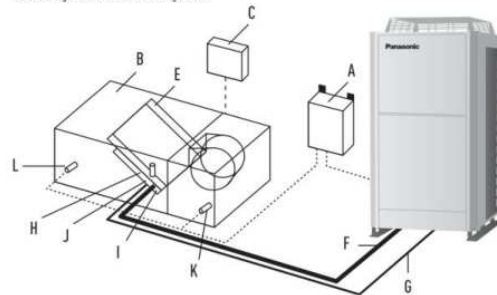
TECHNICAL ZOOM

- MAX. CAPACITY: 60HP (168 kW)
- MAX. PIPING LENGTH: 180 m
- MAX. TOTAL PIPING: 210 m
- ELEV. DIFF. (O_U-I_U): 50 m (O_U ABOVE)
- ELEV. DIFF. (I_U-I_U): 4 m
- IN/OUT CAPACITY RATIO: 50~100%
- MAX. I_U NUMBER: 2 UNITS*
- AVAILABLE TEMPERATURE RANGE IN HEATING: -15~15.5 °C
- AVAILABLE TEMPERATURE RANGE FOR THE SUCTION AIR AT AHU KIT: CODL: 15~24 °C / HEAT: 10~30 °C

* To be simultaneous operation controlled by one remote controller sensor.

CZ-280MAH1 // CZ-560MAH1

- The system controlled by the suction air (or return air from room) temperature as same as standard indoor unit. (Selectable mode: Automatic / Cooling / Heating / Fan / Dry (but same as Cool))
- The discharge air temperature is also controlled to prevent too-low air discharge in Cooling or too-high air discharge in Heating. (in case of VRF system)
- Demand control (Forcible thermostat-OFF control by operating current)
- Defrost operation signal, Thermo-ON/OFF states output
- Drain pump control (Drain-pump and the float switch to be supplied in local)
- External target temperature setting via Indoor/Outdoor signal interface is available with CZ-CAPBCZ. (Ex. 0 ~ 10 V)
- Connectable with P-LINK system
Special care for the electrical noise may necessary depending on the system at site.)
- Fan control signal from the PCB can be used for control the air volume (High/Mid/Low and LL for Th-off)
Need to change the fan control circuit wiring at field.



System & regulations. System overview

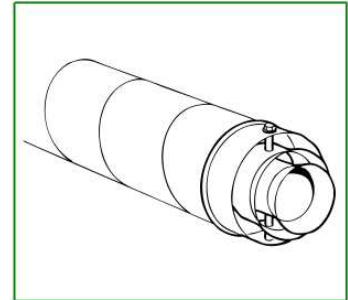
- A: AHU Kit controller box (with control PCB)
 B: AHU Kit equipment (Field supplied)
 C: AHU Kit system controller (Field supplied)
 D: Outdoor unit
 E: Gas piping (Field supplied)
 F: Gas piping (Field supplied)
 G: Liquid piping (Field supplied)
 H: Electronic expansion valve
 I: Thermistor for Gas pipe
 J: Thermistor for Liquid pipe
 K: Thermistor for Suction air
 L: Thermistor for Discharge air

Liite 3. Fläkt Woods KHDA päätelaitteen tekniset tiedot

(Fläkt Woods, tekninen esite)

1(4)

Ilmanhajotin KHDA



KHDA soveltuu käytettäväksi korkeiden ja suurten tilojen, kuten teollisuus-, uhreilu- ja varastohallien ilmanjakolaitteena. Hajotin voidaan asentaa kattoon, seinään tai vapaaseen tilaan.
Heittokuvio voidaan vaihtaa kapeasta leveään kääntämällä sisäkartio 180°. Suihkun maksimi poikkeama perussuunnasta on $\pm 20^\circ$ kapealla heittokuviolla ja $\pm 15^\circ$ leveällä heittokuviolla.

Pikavalinta

(kapealla heittokuviolla)

Hajotin Koko	Litätä, mm hajotin	Ilmavirta l/s (m ³ /h) äänitason ollessa		
		25 dB	30 dB	35 dB
KHDA-20	200	88	105 (378)	120
KHDA-25	250	150	170 (612)	200
KHDA-31	315	220	260 (936)	320
KHDA-40	400	340	390 (1404)	450
KHDA-50	500	460	530 (1908)	600

Tuotetiedot

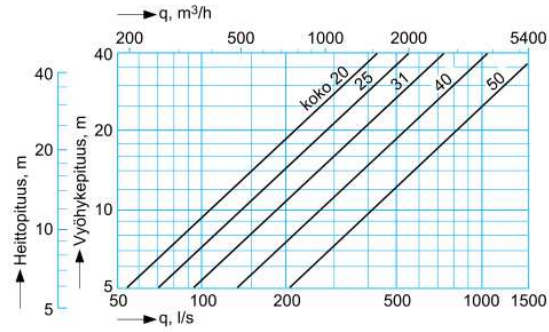
- Tarkoitettu suuriin tiloihin
- Muunneltava heittokuvio
- Säädettävä puhallussuunta
- Viisi kokoa

Tuotemerkintäesimerkki

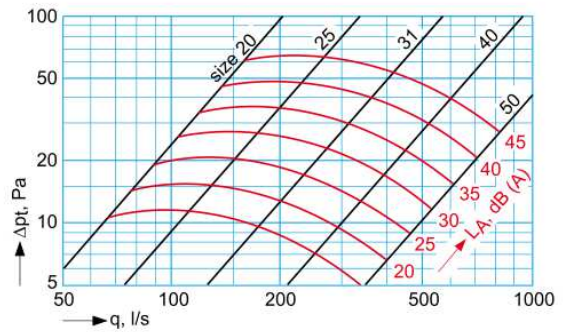
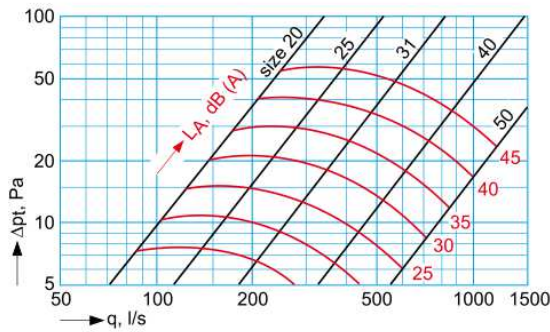
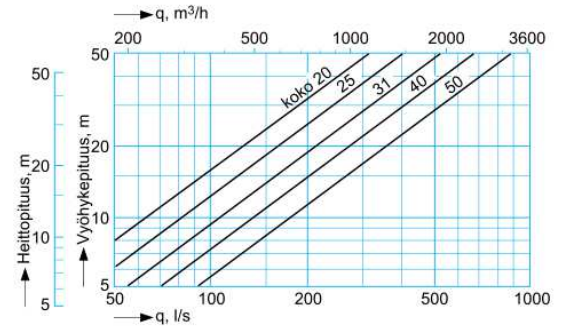
Ilmanhajotin KHDA-20-1-1

Ilmavirta, heittopituus, painehäviö, äänitaso

Leveä (lyhyt) heittokuvio



Kapea (pitkä) heittokuvio



Äänitiedot, mitta- ja painotiedot, heittokuvio

Äänen tehotaso

Leveä (lyhyt) heittokuvio

Koko	Äänitason korjauskertoimet K_{okt} [dB]						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000Hz
20	3	2	-1	0	-3	-12	-29
25	1	2	-1	1	-4	-12	-26
31	3	1	-1	2	-6	-15	-28
40	7	1	1	1	-8	-17	-29
50	12	2	3	-2	-10	-17	-31

Kapea (pitkä) heittokuvio

Koko	Äänitason korjauskertoimet K_{okt} [dB]						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000Hz
20	2	-1	-2	1	-3	-17	-32
25	0	-1	-3	2	-5	-19	-32
31	2	-1	-2	3	-10	-20	-31
40	4	-1	2	2	-10	-18	-32
50	8	-1	3	1	-13	-22	-34

Äänen tehotasot oktaavikaistoittain saadaan lisäämällä äänen kokonaispainetasoon L_{A10} , dB(A), taulukossa esitetyt oktaavikaistojen korjaukset K_{okt} seuraavan kaavan mukaan:

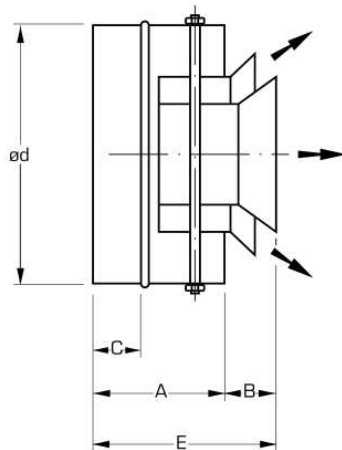
$$L_w = L_{A10} + K_{okt}$$

Korjaus K_{okt} on keskiarvo KHDA:n käyttöalueella.

Äänenvaimennus

Koko	Äänenvaimennus ΔL [dB]					
	125	250	500	1000	2000	4000 8000Hz
20	12	7	3	1	-	-
25	10	6	2	-	-	-
31	9	4	2	-	-	-
40	7	3	1	-	-	-
50	6	2	-	-	-	-

Mitta- ja painotiedot



Koko	ød	A	B	C	E	Paino, kg
20	199	100	45	25	145	0,8
25	249	120	55	30	175	1,4
31	314	120	70	30	190	1,7
40	399	140	95	30	235	2,4
50	499	245	115	40	360	5,0

Heittokuvio

Heittopituudet on mitattu isotermisellä ilmalla vapaassa tilassa. Heittopituudet loppunopeuksilla 0.3m/s tai 0.4 m/s ovat seuraavat:

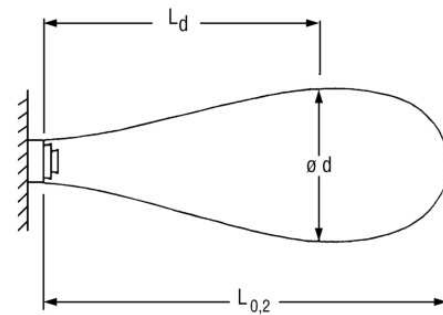
$$L_{0,3} \approx 0,67 \times L_{0,2}$$

$$L_{0,4} \approx 0,50 \times L_{0,2}$$

Suihkun maksimi poikkeama perussuunnasta on $\pm 20^\circ$ kapealla heittokuvioilla ja $\pm 15^\circ$ leveällä heittokuvioilla.

Jos rinnakkain sijoitettujen hajottimien väli on pienempi kuin suihkun halkaisija d , voidaan heittopituuden pidentymiskerroin arvioida väliltä 1.0 - 1.4.

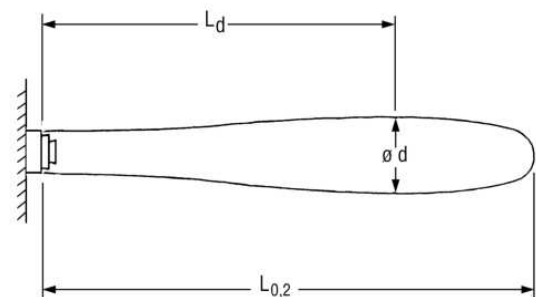
Leveä (lyhyt) heittokuvio



$$d = 0,4 \times L_{0,2}$$

$$L_d = 0,7 \times L_{0,2}$$

Kapea (pitkä) heittokuvio



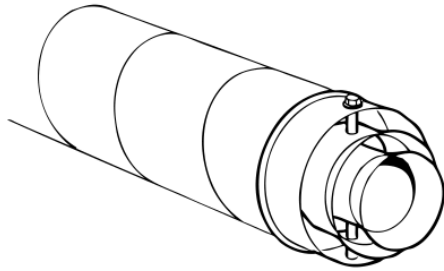
$$d = 0,14 \times L_{0,2}$$

$$L_d = 0,7 \times L_{0,2}$$

Asennus, rakenne ja toiminta, tuotemerkintä

Asennus

Hajottimet kiinnitetään liitäntäkauluksesta niiteillä kanavaan.



Ilmavirran mittaus ja säätö

Ilmavirran mittaus ja säätö voidaan suorittaa esim. mittaus- ja säätölaitteesta IRIS, jonka etäisyys hajottajasta on $\geq 5D$.

Rakenne ja toiminta

KHDA soveltuu käytettäväksi korkeiden ja suurten tilojen, kuten teollisuus-, uhreilu- ja varastohallien ilmanjakolaitteena.

Hajotin voidaan asentaa kattoon, seinään tai vapaaseen tilaan. Kääntämällä sisäkartio saadaan kapea tai leveä heittokuvio.

KHDA hajotinta valmistetaan viittä eri kokoa (200 - 500 mm).

Materiaali ja pintakäsittely

KHDA hajotin on valmistettu kuumasinkitystä teräslevystä.

Hajotin on polttomaalattu, jolloin pinnan laatu on korkealuokkainen.

Vakioväri on valkoinen, RAL-9010. Muita värejä on saatavana erikoistilauksesta.

Ohjeet

Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet toimitetaan jokaisen tuotteen mukana.

Ohjeet ovat saatavana myös internetissä sivuilta www.flaktwoods.fi.

Tekniset tiedot ja mitoitus

Jotta mitoitus voitaisiin suortittaa täydellisesti, suosittelemme ExSelAit-tuotevalintaohjelman käyttöä.

Tämä ohjelma on saatavana internetissä sivuilta www.flaktwoods.fi.

Tuotemerkintä

Ilmanhajotin KHDA-aa-b-c

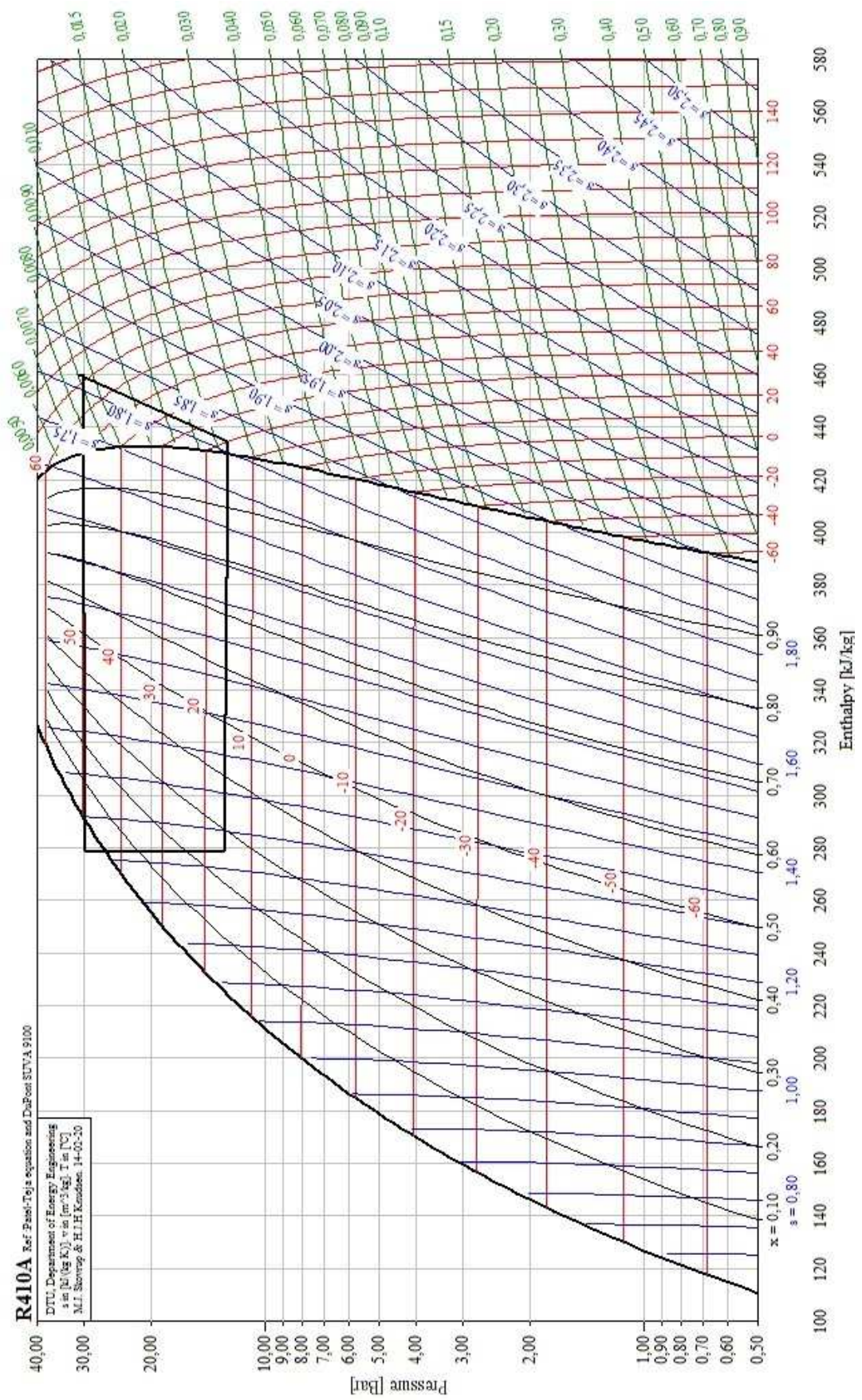
Koko (aa)
20, 25, 31, 40, 50

Säätö (b)
1 = käsikäyttöinen
2 = moottorikäyttöinen

Väri (c)
1 = vakio valkoinen (RAL 9010)
X = muu RAL väri

Liite 4. Järjestelmän log p,h- tilapiirros

(Tero Linden, Kaukomarkkinat)



Liite 5. Fläkt Woods pyöreiden kanavien painehäviö käyrästä

(Fläkt Woods, Tekninen esite)

1(4)

Kanavajärjestelmät Veloduct, Ekoduct ja Veloflex

TEKNINEN ESITE

Painehäviökäyrästä

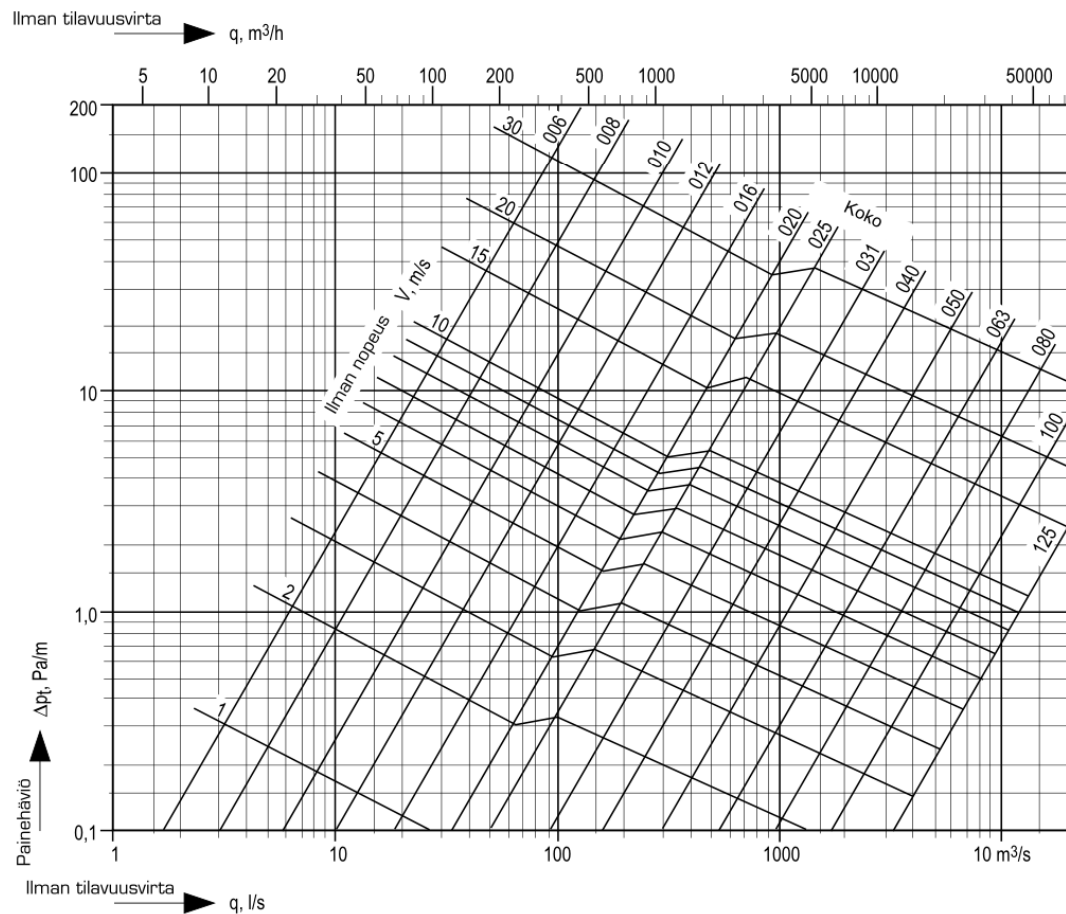
Painehäviölaskennan perusteet kanaville ja kanavaosille, joiden poikkileikkausala vastaa standardia SFS-EN 1506 (Eurovent 2/3) ja joiden muoto vastaa standardia SFS 3541 (Eurovent 2/4).

Laskettu nimellinen virtausvastus (p_{nom}) korjataan ottamalla huomioon vuodon ja puhallinliitännän vastukset.

$$\Sigma \Delta p_{tot} = \Delta p_{nom} + \Delta p_{vuoto} + \Delta p_{puhallinliitos}$$

Virtausvastus esitetään suoraan Pa:ssa

- Esitetyt arvot vastaavat kokonaispainehäviötä ja ilmoittavat suoraan virtausvastuksen aiheuttaman energiahäviön ($P_a = 1 \text{ J/m}^3$).
- Ilmavirran nopeuden vaikutus nähdään suoraan käyrästä.
- Ero painehäviöissä ensimmäisen ja n:n haaran välillä nähdään suoraan käyrästä.
- Muuntosuhteen 1, 2 tai 3 vaikutus nähdään suoraan käyrästä.

Kanava

Painehäviökäyrät

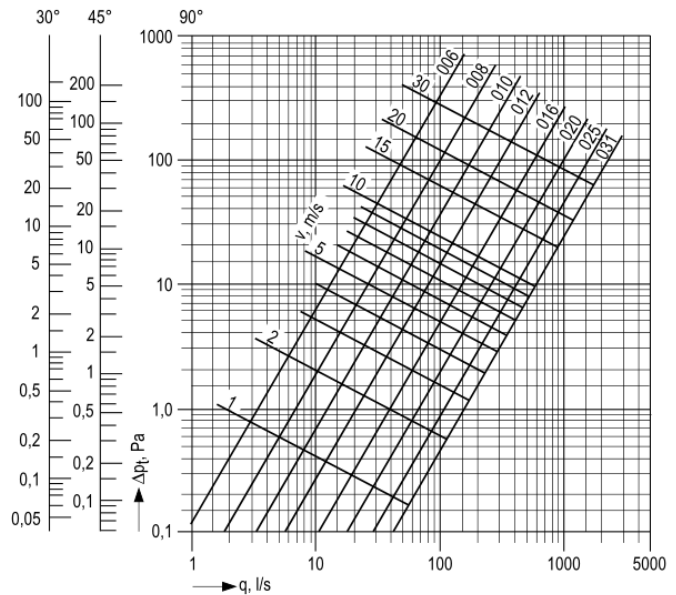
Käyrä BDEB, puristettu

Painehäviökäyrästä pätee 90°
käyrälle.

45° ja 30° käyrille pätee myös
seuraavat kaavat:

$$\Delta p_{t45^\circ} = 0,5 \times \Delta p_t$$

$$\Delta p_{t30^\circ} = 0,33 \times \Delta p_t$$



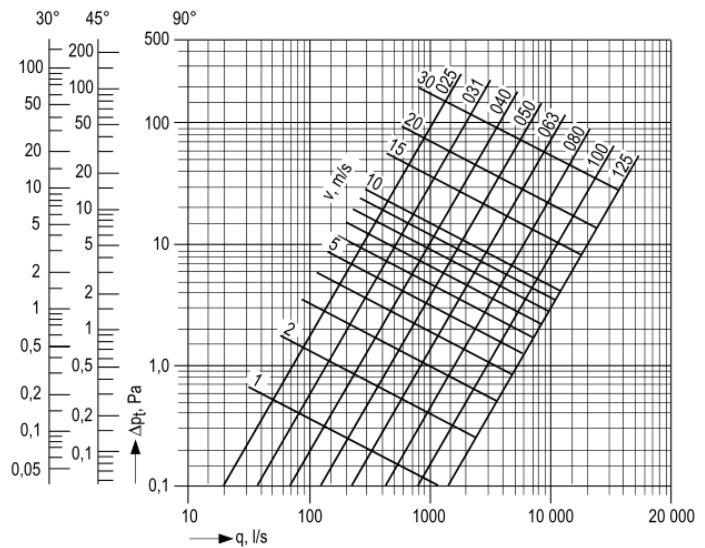
Käyrä BDEB, palaosa

Painehäviökäyrästä pätee 90°
käyrälle.

45° ja 30° käyrille pätee myös
seuraavat kaavat:

$$\Delta p_{t45^\circ} = 0,5 \times \Delta p_t$$

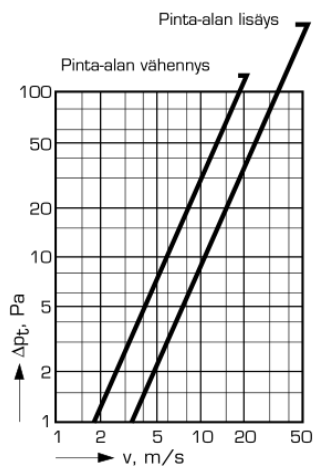
$$\Delta p_{t30^\circ} = 0,33 \times \Delta p_t$$



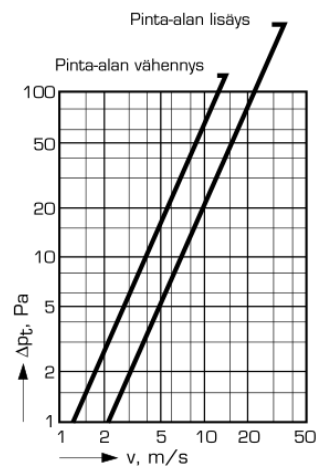
Painehäviökäyrät

Muuntoliitin

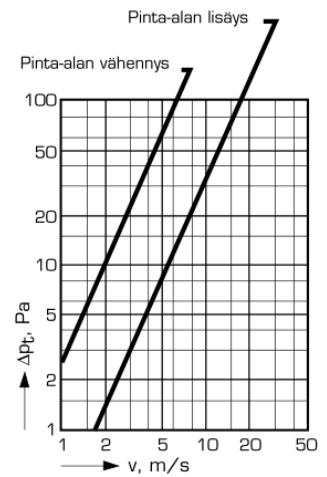
1 halkaisijan muutos *)
 $D1/D2 = 1,25$



2 halkaisijan muutosta *)
 $D1/D2 = 1,6$



3 halkaisijan muutosta *)
 $D1/D2 = 2$

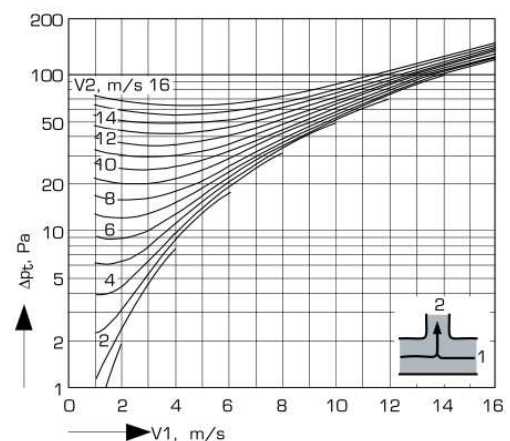
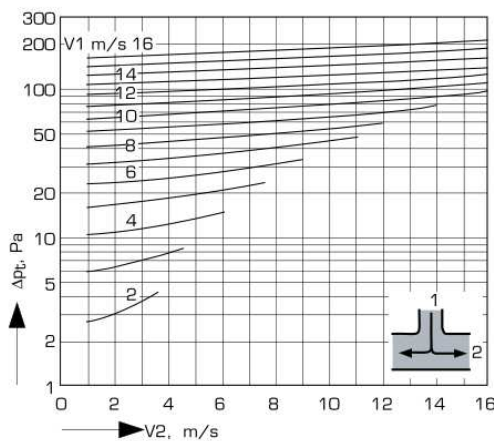
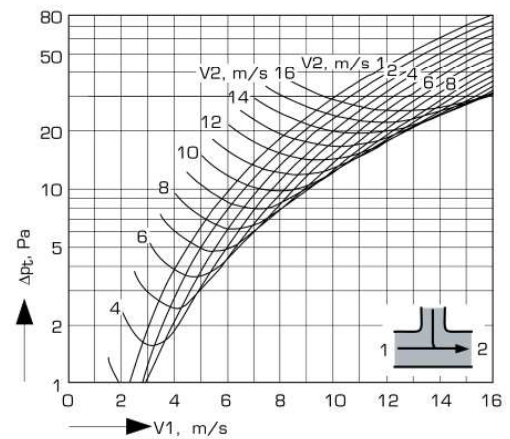
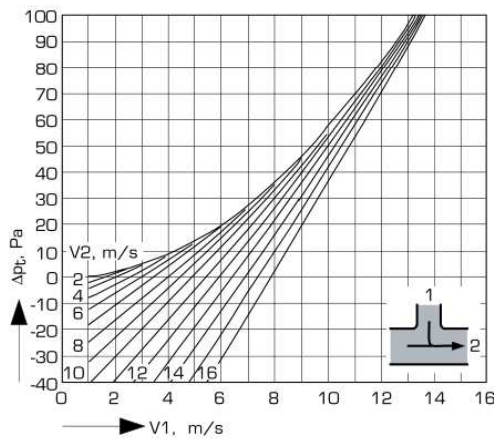
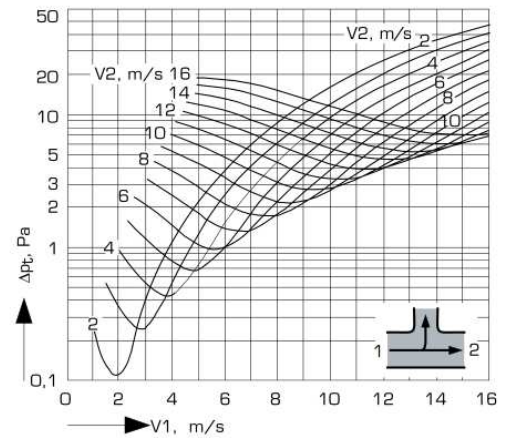
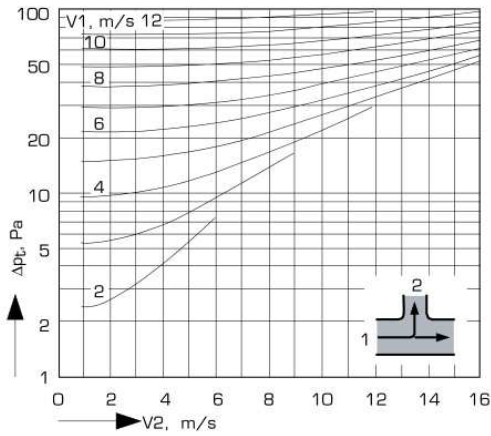
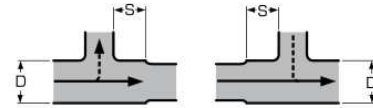


*) Esimerkki: Muutos 020:sta 016:een = 1 halkaisijan muutos
020:sta 012:een = 2 halkaisijan muutosta
020:sta 010:een = 3 halkaisijan muutosta

Painehäviökäyrät

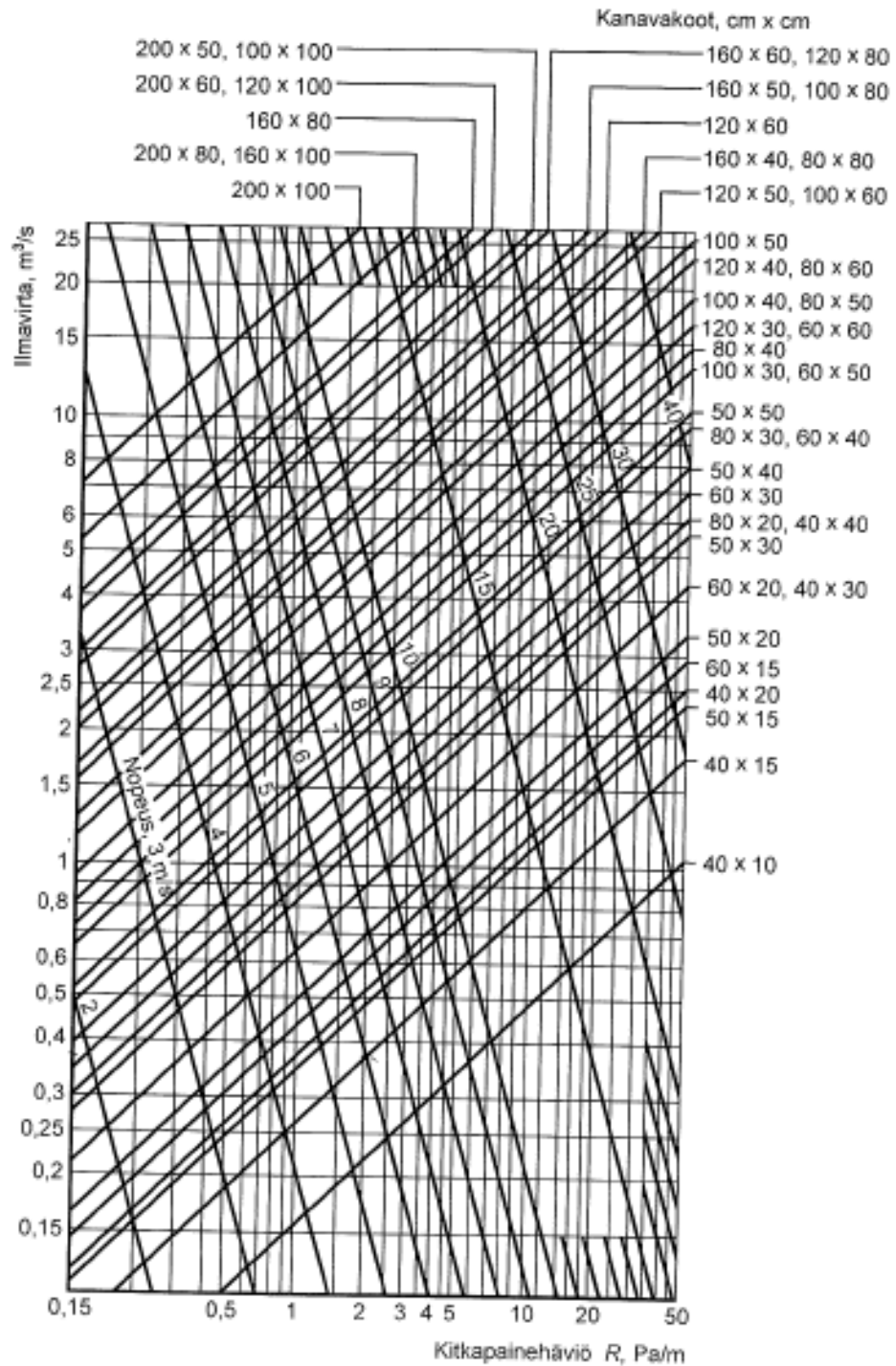
Sivuliitin, T-kappale

Painehäviöt sisältävät mahdollisen supistuksen aiheittaman kuvan mukaan, jos $s < 3 \times D$.



Liite 6. Suorakaidekanavien kitkapainehäviöt

(Olli Seppänen, Ilmastoinnin suunnittelu)



Kuva 6.10 Suorakaidekanavien kitkapainehäviöt ja ilman nopeudet ilmavirran ja kanavakoon mukaan.

Liite 7. Lauhdutus patterin tekniset tiedot

(Tekninen myyjä, Fläkt Woods)



27.2.2014

Luvata Söderköping AB | SE-614 81 Söderköping, Sweden | Phone +46 121 191 00 | Fax +46 121 101 01 | Web www.luvata.com/coiltech

Asiakas

Kohde/viite
ViitteemmeSataservice
Riikka**Patterit Luvata Söderköping**

	Pos	LP 26.2.	
Ilma	Teho	66.0	kW
	Virta	4.0	m ³ /s
	Lämpötila sisään	18.0	°C
	Lämpötila ulos	31.4	°C
	Painehäviö	88	Pa
	Nopeus	3.4	m/s
R410a	Lämpötila	50.0	°C
	Käyttöpaine	3,0	MPa
	Virta	0.49	kg/s
Mittatiedot	Leveys	1200	mm
	Korkeus	1000	mm
	Putkirivien lkm.	2	
	Lamellijako	2.0	mm
	Vesireittien lkm.	10	
	Liitântätkoko DN	DN 2x28/2x22	
	Otsapinta / Lämpöpinta	1.20 / 62	m ²
	Paino / Tilavuus	51 / 11	kg / l
Materiaalit	Mtrl. lamelliputki	Kupari	
	Mtrl. lamellit	Hydropaint	
	Mtrl. kokoojaputket	Kupari	
	Mtrl. kehys	Sinkitty teräs	
Tuotetunnus	QLOG-120-100-02-20-10-5-A-X		
	X=HYDROPAINT		
	Warning: too high medium pressure		

ORAS OY

ISOMETSÄNTIE 2
26100 RAUMA

LVI**KOJELUETTELO**

Muut.pvm: 25.3.2014
Piir.pvm: 25.3.2014

MUOVIPUOLEN HUKKALÄMPÖJEN TALTEENOTTO

Tulost.pvm: 25.3.2014 12:10

Piir.no:**SATASERVICE OY KIINTEISTÖTEKNIikka**

LAITE	NIMITYS	VAIK.ALUE	SIJAINTI	UR	S.TEHO (kW)	L.TEHO (kW)	JÄNNITE (V)	VIRTA (A)	IV-HÄTÄ- SEIS	AU- kaavio	HUOM.
KIK1	KIERTOILMAKONE, lämmitys	1. HALLI	1. HALLI	IU							
KIK1-TF01	Aksiaalipuhallin	KIK1	1. HALLI	IU	2,77		400	5,36	X		
KIK1-LP01	Suoralauidepatteri	KIK1	1. HALLI	IU		63,00					Kylmäaine R410A
KIK1-ILP01	Lämpöpumppu	KIK1-LP01	MUOVIPUOLI	IU	16,80	63,00	400	26,8	X		
KIK1-AHU01	Säätöyksikkö	KIK1	1. HALLI	IU							
KIK1-AHU02	Säätöyksikkö	KIK1	1. HALLI	IU							
KIK1-SU01	Suodatinyksikkö	KIK1	1. HALLI	IU							

ORAS OY

ISOMETSÄNTIE 2
26100 RAUMA

LVI**KOJELUETTELO**

Muut.pvm: 25.3.2014

Piir.pvm: 25.3.2014

MUOVIPUOLEN HUKKALÄMPÖJEN TALTEENOTTO

Tulost.pvm: 25.3.2014 12:10

SATASERVICE OY KINTEISTOTEKNIikka

LAITE	NIMITYS	VAIK.ALUE	SIJAINTI	UR	S.TEHO (kW)	L.TEHO (kW)	JÄNNITE (V)	VIRTA (A)	IV-HÄTÄ-SEIS	AU-kaavio	HUOM.
KIK1	KIERTOILMAKONE, lämmitys+jaahdytys	1. HALLI / MUOVIPUOLI	1. HALLI	IU							
KIK1-TF01	Aksiaalipuhallin	KIK1	1. HALLI	IU	2,77		400	5,36	X		
KIK1-LP01	Suoralaauhdepatteri	KIK1	1. HALLI	IU		63,00					Kylmäaine R410A
KIK1-ILP01	Lämpöpumppu	KIK1-LP01	MUOVIPUOLI	IU	16,80	63,00	400	26,8	X		
KIK1-AHU01	Säätöyksikkö	KIK1	1. HALLI	IU							
KIK1-AHU02	Säätöyksikkö	KIK1	1. HALLI	IU							
KIK1-SU01	Suodatinyksikkö	KIK1	1. HALLI	IU							
KIK1-FZ01	Moottoripelti	KIK1	1. HALLI	IU			24				
KIK1-FZ02	Moottoripelti	KIK1	1. HALLI	IU			24				
KIK1-FZ03	Moottoripelti	KIK1	1. HALLI	IU			24				
KIK1-FZ04	Moottoripelti	KIK1	1. HALLI	IU			24				

Liite 11. Rauman energian säätietojen pohjalta tehty lämpötilan pysyvyys vuonna 2012

(Rauman Energia, säätiedot)

Rauman ulkolämpötilan pysyvyys tunteina vuonna 2012

Ulkolämpötila	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä	Prosenttia vuodesta	Pysyvyys
-26		2											2	0,02 %	0,02 %
-25		7											7	0,08 %	0,10 %
-24		3											3	0,03 %	0,14 %
-23		12											12	0,14 %	0,27 %
-22		23											23	0,26 %	0,54 %
-21		12											12	0,14 %	0,67 %
-20		14											14	0,16 %	0,83 %
-19		18										4	22	0,25 %	1,08 %
-18	1	18										10	29	0,33 %	1,41 %
-17	3	12										12	27	0,31 %	1,72 %
-16	1	11										32	44	0,50 %	2,22 %
-15	13	13										35	61	0,69 %	2,91 %
-14	13	8	3									22	46	0,52 %	3,44 %
-13	11	10	2									21	44	0,50 %	3,94 %
-12	27	4	2									29	62	0,71 %	4,64 %
-11	51	6	9									47	113	1,29 %	5,93 %
-10	48	7	9									44	108	1,23 %	7,16 %
-9	46	12	8							3	6	33	108	1,23 %	8,39 %
-8	38	12	6	2						3	3	47	111	1,26 %	9,65 %
-7	23	23	6	4						2	2	52	112	1,28 %	10,93 %
-6	30	29	7	9						3	4	47	129	1,47 %	12,40 %
-5	46	37	9	6						4	10	71	183	2,08 %	14,48 %
-4	60	47	20	12						5	3	82	229	2,61 %	17,09 %
-3	59	50	39	18						8	20	57	251	2,86 %	19,95 %
-2	80	91	36	34	1					19	21	17	299	3,40 %	23,35 %
-1	53	102	67	28	4					22	15	14	305	3,47 %	26,82 %
0	118	87	182	143	20					96	94	33	773	8,80 %	35,62 %
1	18	21	87	52	11					48	75	35	347	3,95 %	39,57 %
2	5	4	101	63	13				2	40	64		292	3,32 %	42,90 %
3		1	66	73	33	1			5	56	82		317	3,61 %	46,51 %
4			55	49	31	8		1	22	84	91		341	3,88 %	50,39 %
5			22	47	61	19		2	37	68	177		433	4,93 %	55,32 %
6			4	35	53	47		7	41	66	52		305	3,47 %	58,79 %
7			2	43	43	35	4	8	53	52	1		241	2,74 %	61,53 %
8			2	29	71	49	8	16	60	41			276	3,14 %	64,67 %
9				13	54	47	18	17	73	35			257	2,93 %	67,60 %
10				15	56	26	18	44	86	47			292	3,32 %	70,92 %
11				19	44	69	14	37	85	24			292	3,32 %	74,25 %
12				11	56	64	26	49	71	8			285	3,24 %	77,49 %
13				10	46	70	42	50	54	6			278	3,16 %	80,66 %
14				5	24	60	65	59	70	4			287	3,27 %	83,93 %
15					21	52	84	66	29				252	2,87 %	86,79 %
16					38	57	65	79	11				250	2,85 %	89,64 %
17					33	54	79	92	8				266	3,03 %	92,67 %
18					18	26	71	73	6				194	2,21 %	94,88 %
19					6	14	84	42	4				150	1,71 %	96,58 %
20					5	10	57	38	2				112	1,28 %	97,86 %
21					1	9	31	29	1				71	0,81 %	98,67 %
22					1	2	26	25					54	0,61 %	99,28 %
23						1	17	8					26	0,30 %	99,58 %
24							17	2					19	0,22 %	99,80 %
25							7						7	0,08 %	99,87 %
26							10						10	0,11 %	99,99 %
27							1						1	0,01 %	100,00 %
Yhteensä	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8784		

Liite 12. Halton PRA pääte/säätölaite

(Halton, tekninen esite)



- Ilman tilavuusvirran mittaukseen ja säätöön tarkoitettu laite.
- Manuaalinen säätö ilman työkaluja
- Virtaussuuttimien käyttöön perustuva suuri mittaustarkkuus.
- Virtauksen säätökartion muoto mahdollistaa alhaisen äänentuoton.
- Käyttölämpötila -30...+70 °C.
- Itselukittuva säätömekanismi, asento voidaan varmistaa lukitusruuvilla.
- Kanava voidaan puhdistaa laitteen läpi (laitteen koko enintään 315)
- Säätöasennon osoitin näyttää oikean asennon esimerkiksi kun laite asetetaan paikalleen puhdistuksen jälkeen.
- Lähtö- ja tulokauluksessa on kanavatiivisteet.
- Voidaan käyttää tuloilmasuuttimena suurten tilojen ilmanjaossa.
- Kotelon vuotoluokitus EN 1751, luokka C

Tuotemallit

- Puhdistusluukulla varustettu malli

MATERIAALI

OSA	MATERIAALI	HUOMAUTUS
Runko	Sinkitty teräs	
Säleet	Sinkitty teräs	
Käyttömekanismi	ABS- ja PBT-muovi	Koot 100...315
Käyttömekanismi	Teräs	Koot 350...1000
Ulkopuoliset tiivisteet	MS-polymeeri	
Mittausyhteet	Polyuretaani (PU)	

PRA - Mittaus- ja säätömoduuli