

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Talotekniikan koulutusohjelma

**Sami Paapio**

**Kallioporakaivojen käyttö toimiston tuloilman  
jäähdytysratkaisuna**

Opinnäytetyö 31.3.2009

Ohjaaja: toimitusjohtaja Jukka Sulku

Ohjaava opettaja: yliopettaja Jukka Yrjölä

Tekijä Otsikko	Sami Paapio Kallioporakaivojen käyttö toimiston tuloilman jäähdytysratkaisuna
Sivumäärä Aika	48 sivua 31.03.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	toimitusjohtaja Jukka Sulku yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin porakaivojäähdytyksen hyödyntämistä suunnitteilla olevan matalaenergiakohteen tuloilman jäähdytysratkaisuna. Työn oli tilannut Climaconsult Finland Oy, ja työn tutkimukset tehtiin kyseisen kohteen näkökulmasta.</p> <p>Tavoitteena oli selvittää ns. vapaajäähdytyspiirin käytön soveltuvuutta tuloilmakoneen tuloilman jäähdytyspatterille. Tarkastelun kohteena olivat kiertonesteen lämpötilat, vaatimukset tuloilman jäähdytyspatterin ominaisuuksille, se, onko ylipäättään soveltuvia jäähdytyspattereita valmiiksi saatavilla ilman erikoistilausta, sekä maaperään viedyn lämmön kertyminen maa-ainekseen. Lisäksi tarkasteltiin ilmanvaihtokoneen SFP-luvun pysymistä tavoitearvossa sekä vapaajäähdytyspiiristä saatavan tehon riittävyttä tehokkaan jäähdytyksen kaudella. Tarkastelua suoritettiin kirjallisuuden, aiemman porakaivojäähdytyskohteen tutkimustulosten, laitevalmistajien mitoitusohjelmien sekä kohteesta tehtyjen laskelmien perusteella.</p> <p>Tuloksista selvisi, että saatavilla on soveltuvia ilmanvaihtokoneita. Niiden tilavaatimukset voivat joissain kohteissa muodostua ongelmaksi kokonsa puolesta. Jäähdytyspiiristä saatavien kiertonesteiden korkeahkoilla lämpötiloilla pystytään vakioilmanvaihtokoneilla jäähdyttämään kohteen tuloilmaa riittävästi, mutta kosteuden siirtyminen huonetiloihin tulee ottaa huomioon huonekohtaisessa jäähdytyksessä.</p>	
Hakusanat	jäähdytys, vapaajäähdytys, matalaenergia, porakaivo

Author Title	Sami Paapio Utilization of borehole cooling in the supply air of an office building
Number of Pages Date	48 31. March 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jukka Sulku, Managing Director Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>This final year project focused on the utilization of borehole cooling as the solution for supply air cooling in a building under planning. The project was ordered by a HVAC-engineering company that recently has been expanding its know-how into low energy buildings.</p> <p>The main goal of this project was to explore the possible usage of so called free cooling in a supply air conditioners chilling unit. Subjects examined were the temperatures of circulation fluid, the demands it sets on the chillers properties, if there are readily available chillers capable of working with these fluid temperatures and whether the warmth receiving ground would eventually warm up or not, and whether efficiency retrieved from the boreholes would suffice. Furthermore, emphasis was placed on the SFP (Specific Fan Power) available with these air conditioners modified with standard parts. Information sources used in this project were literature, previous data from an existing borehole chilled building, selection programs for air conditioners by manufacturers, and the calculations made for the subject building.</p> <p>The results showed that existing air conditioners can be utilized with these high temperature circulation fluids, if the used (standard) parts are selected with care. The spatial demands of these air conditioners can grow quite large, which might produce a problem in renovation projects. Also, high temperature cooling does not reduce mentionable amounts of moisture from the supply air, and so high relative moisture must be kept in mind with room based cooling.</p>	
Keywords	cooling, free cooling, low energy, borehole

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	6
2 Kohde ja rakentamisen tavoitteet	8
2.1 Kohde	8
2.2 Tekniset lähtökohdat	8
3 Porakaivotekniikka	10
3.1 Porakaivojärjestelmä	10
3.2 Vapaajähdytyksen porakaivosovellus	12
4 Jähdytyksen tarve ja mitoitusolot	13
4.1 Jähdytystehon tarve	13
4.2 Mitoitusolosuhteet	14
4.2.1 Ulkoilman mitoitusolot	15
4.2.2 Porakaivopiirin mitoitus	15
4.2.3 Maaperään siirretyn lämmön vaikutus maaperän lämpötilaan	18
5 Tarkastelut	21
5.1 Tuloilmakone 1	22
5.2 Tuloilmakone 2	25
5.3 Tuloilmakone 3	28
5.4 Kiertonesteen lämpötilan vaikutus SFP-lukuun	29
5.5 Kosteuden huomioiminen	32

6 Havainnot	33
7 Yhteenveto	34
Lähteet	35
Liitteet	
Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m <sup>3</sup> /s	37
Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3 m <sup>3</sup> /s	43

## 1 Johdanto

Matalaenergiarakentaminen on yleistymässä [15]. Kallis energia tekee matalaenergiarakentamisesta taloudellisesti kannattavampaa. Ympäristön heikkenevä tila ajaa poliittisia päätöksiä energiaa säästävään suuntaan [16]. Kallis energia on tuonut esiin käsitteen Low Exergy Systems, joka tarkoittaa järjestelmää, johon tarvitsee tuoda ulkopuolista, mahdollisesti fossiilisista polttoaineista kehitettyä, energiaa (ostoenergiaa) mahdollisimman vähän [2]. Esiin on noussut myös primäärienergiälähteen vaikutus rakennuksen kokonaispäästöihin. Ulkomailla, esimerkiksi Saksassa, Tanskassa ja Norjassa, rakennuksen energiankulutusta tarkastellaan painottamalla primäärienergian lähdettä pelkän kokonaisenergiakulutuksen asemesta [17].

Lisääntyvä tietotekniikka sekä toimistojen varustelutaso lisää rakennuksen sisäistä lämpökuormaa [18]. Tämä johtaa siihen, että jäähdytyksellä tulee olemaan yhä merkittävämpi osa jo olosuhteiden siedettävyyden takia, ei enää pelkästään mukavuussyistä. Koneellinen jäähdytys vaatii toimiakseen energiaa, sillä lämpöä siirretään silloin yleensä matalammasta lämpötilasta korkeampaan (viileästä sisäilmasta lämpimämpään ulkoilmaan).

Yhdeksi ratkaisuksi kompressori- tai absorptiojäähdytyksen ohelle on nousemassa maakylmä. Maaperän lämpötila on kesäistä ulkoilman lämpötilaamme huomattavasti viileämpi jo muutaman metrin syvyydestä alkaen, ja tätä pystytään hyödyntämään rakennuksen energian säästämiseen. Maakylmän käyttöä on kokeiltu Espoossa mm. Ruusutorpan koulun jäähdytysratkaisuihin yhteistyönä Espoon Teknisen keskuksen sekä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa [1].

Ruusutorpan tutkimustuloksia hyödynnetään nyt myös Viikkiin suunnitella olevassa Ympäristöotalossa. Rakennuksessa tulee toimimaan Helsingin ympäristökeskus sekä Helsingin yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen ympäristötieteet. Rakennuksen

yhdeksi tavoitteeksi on asetettu energiatehokkuusluokka A+, johon pääsemiseen käytetään myös porakaivojäähdytystä.

Tämän selvityksen tarkoitus on kartoittaa sekä selvittää porakaivojäähdytyksen soveltuvuutta tämän LVI-suunnittelukohteen ilmanvaihdon jäähdytykseen mitoitustehojen, sopivien ilmanvaihtokoneiden saatavuuden ja koneiden energiavaatimusten osalta. Tarkastelut suoritettiin kirjallisuuslähteistä sekä laitevalmistajien mitoitushjelmien perusteella. Mittauksia ei suoritettu.

Porakaivojäähdytystekniikka on kohtalaisen uutta Suomessa ja ulkomailla, ja tästä syystä kirjallisuuden saanti aiheesta on vaikeahkoa. VTT on yhteistyössä eri kaupunkien kanssa rakentanut koekohteita. Alan pioneeri Suomessa on VTT:n erikoistutkija **Jouko Ritola**, joka on mm. toiminut projektipäällikkönä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa Ruusutorpan koulun kalliojäähdytyskohteessa. Climaconsult Finland Oy:ssä alan asiantuntemusta edustaa muun muassa Ruusutorpan koulun LVI-suunnittelijana toiminut DI **Juha Pentikäinen**, jolta on konsultoitu tietoja tämän aiheen tiimoilta.

## 2 Kohde ja rakentamisen tavoitteet

### 2.1 Kohde

Työssä selvityksen kohteena oleva rakennus on suunnitteilla oleva Helsingin ympäristökeskuksen ja Helsingin yliopiston toimitalo (myöhemmin Ympäristötalo) Viikin Tiedepuistoon, Viikinkaari 2:een (Gardeniaa vastapäätä). Rakennuksen bruttopinta-alaksi on arvioitu 6 550 bruttoneliometriä, ja tilavuudeksi noin 25 000 m<sup>3</sup>. Kyseessä on uudisrakennus, jonka on tarkoitus tarjota Helsingin ympäristökeskukselle yhtenäiset, tehokkaat tilat. [4, s. 7.]

Matalaenergiatavoitteisiin pääsemiseksi arkkitehtiratkaisuilla mm. vähennetään ikkunoiden määrä. Ikkunat valitaan siten, että ne ovat U-arvoltaan enintään 0,8 W/(m<sup>2</sup>K), ikkunoiden aurinkosuojauksesta huolehditaan, vaipan rakenteet valitaan siten että ulkoseinän U-arvoksi tulee enintään 0,13 W/(m<sup>2</sup>K), ja ilmanvuotoluvuksi n50 tavoitellaan lukemaa alle 1,0 l/h.

### 2.2 Tekniset lähtökohdat

Ympäristötalon lähtökohtana on mahdollisimman vähän vettä ja energiaa käyttävä rakennus. Ratkaisu koskee kokonaisvaltaisesti niin taloteknisiä järjestelmiä, toimistolaitteita kuin kiinto- ja irtokalusteitakin.

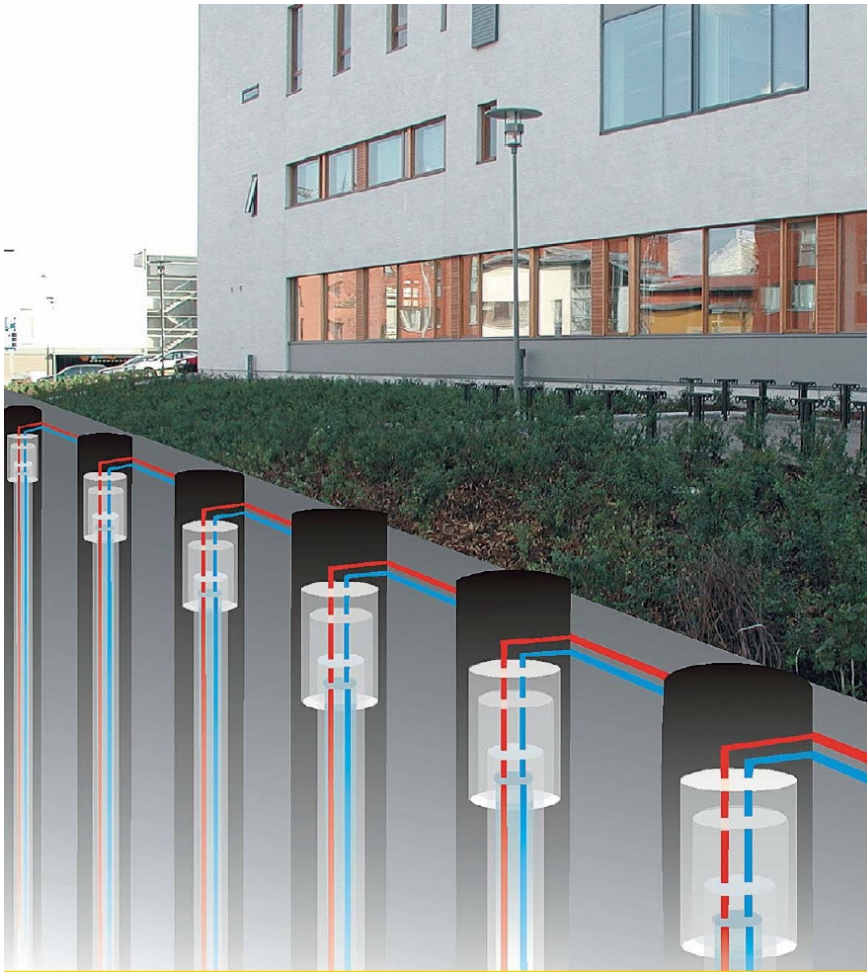
Rakennuksen energiankulutuksen tavoitteeksi on asetettu kiinteistöenergiatehokkuusluokaksi A+, eli kokonaisenergiankulutukseksi 70 kWh/m<sup>2</sup> (lämmitys + jäähdytys + sähkö). Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi käytettiin hankesuunnitteluvaiheessa muun muassa *Promise, rakennusten ympäristövaikutusten arviointi* -työkalua. [4, s. 5–6.]



Ympäristötalon jäähdytysenergian hankkiminen kaukojäähdytyksellä ei ole mahdollista, sillä alueella ei ole kaukojäähdytysverkkoa. Kohteen eräs mahdollinen jäähdytysratkaisu on toteuttaa porakaivoista jäähdytystehonsa ottava jäähdytysvesijärjestelmä, noin 15 m \* 15 m ruudutuksella, ja noin 200 m syvillä porakaivoilla. Jäähdytystehoa on tähän kohteeseen laskettu noin 15 kW kaivoa kohti. Kaivot toteutetaan 4 kaivon ryhminä, joita tarvitaan jäähdytyksentarvelaskelmien perusteella 6 kpl. [4, liite 11, s. 12.]

## 3 Porakaivotekniikka

### 3.1 Porakaivojärjestelmä



Kuva 1. Ruusutorpan koulun porakaivojen havainnekuva [19].

Porakaivot ovat (kallio) maaperään tehtäviä syviä porareikiä, ns. energiakaivoja. Halkaisijaltaan reiät mitoitetaan kohtalaisen pienille putkille, Ruusutorpan järjestelmässä porareian halkaisija oli 115 mm, ja kaivoon asennettu putkisto DN 32 PN10 muoviputkea, jota ei kohteen loppuraportissa tarkemmin määritetty. Kuva 1 havainnollistaa Ruusutorpan kaivojen sijoituksia sekä rakennetta. Koska putkiston alaosa on pohjavesisyvyyden alla, lämmön siirtyminen kiertonesteeseen tapahtuu

pohjaveden välityksellä konvektiolla, kallion luonnollisella lämpötila-alueella, joka on noin 7 °C (ks. luku 4.2.4 Maaperään siirretyn lämmön vaikutus maaperän lämpötilaan).

Yleensä porakaivojärjestelmästä saadaan reikää kohti noin 30 W/m porakaivoon asennettua putkea. Vuositasolla porakaivoon syötettävä lämpömäärä on noin 150–180 kWh/vuosi jokaista putkimetriä kohti. [2]

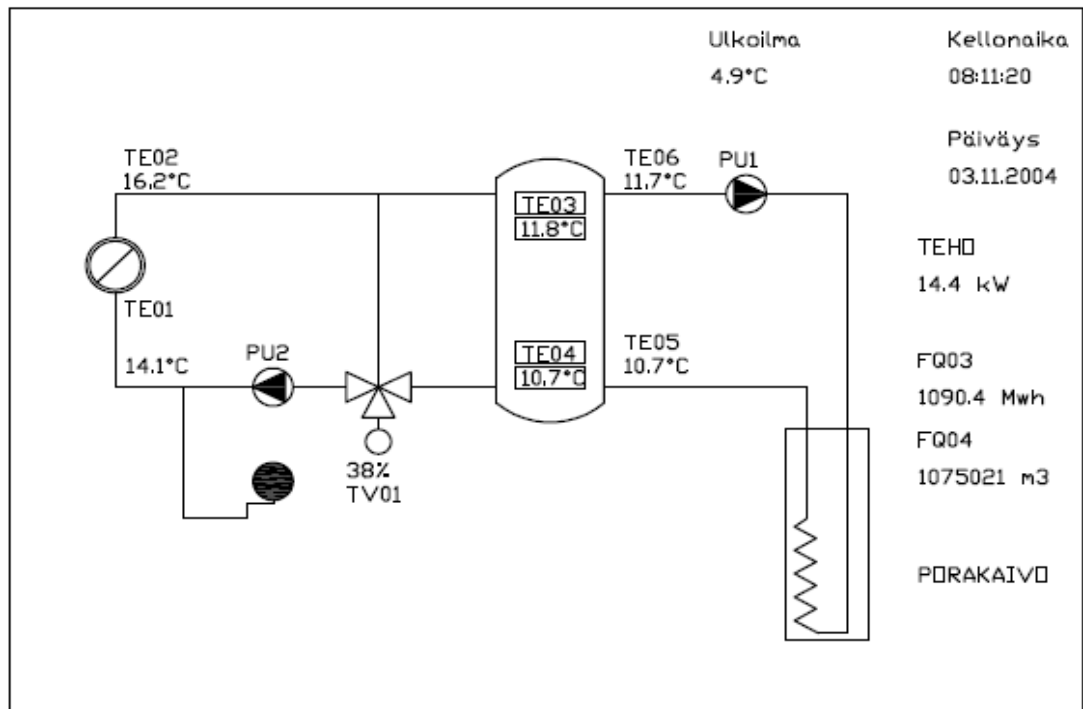
Porakaivoputkiston mitoitusta varten tulee tietää kallioalueen koko, maapeitteen paksuus, maalaji, kalliolaatu sekä tulee tietää kivilajitieto. Näitä tietoja tarvitaan maaperän ominaisuuksien, kuten lämmönjohtavuuden laskemiseen. Tiedot saadaan kaupungin kiinteistöviraston geotekniikan osastolta tai vastaavalta instanssilta. Ruusutorpan koulun kalliotutkimuksen perusteella (graniitti)kalliolle saatu lämmönjohtavuusarvo on 3,4 W/Km. Porakaivojen mitoitus tehdään pääosin siihen soveltuvalla tietokonepohjaisella mallinnusohjelmalla. Mitoitukset ja laskelmat suorittaa siihen erikoistunut henkilö.

Kalliopiirin vapaajäähdytysjärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa energiakaivoista saatava viileä kiertoneste johdetaan suoraan jäähdytyspattereille ilman, että välissä on lämmönsiirrintä. Esimerkki vapaajäähdytysjärjestelmästä on esitetty kuvassa 2. Kalliopiirin mitoitukseen on saatavissa esim. EED (Earth Energy Designer) -ohjelma, jota käytettiin Ruusutorpan koulun lisäksi myös Ympäristötalon järjestelmän mitoitukseen VTT:n toimesta. Ohjelmalla voidaan tarkastella mm. porakaivojen mitoitusta: porareikien määrää, syvyyttä, reikäkokoa, keskinäinen etäisyyttä, sekä putkitusta porakaivoissa. Lisäksi ohjelmalla voidaan optimoida porakaivojen energiamitoitus annetuille tehoille verkoston toiminta-arvojen perusteella, jäähdytystehon, virtausnopeuden sekä sallittujen jäähdytysnesteen lämpötilojen mukaan [1, s. 8–9]. Ohjelma mallintaa kallioon pumpatun lämmön vaikutuksia myös pitkäaikaisesti. Ympäristötalon tapauksessa rakennuksen on tarkoitus palvella talotekniikan osalta 50 vuotta ilman isompia remontteja [4], joten mitoitusvuotena on käytetty käyttöönotosta laskien vuotta 50 ja maaperään pumpatun lämmön kertymistä ympäröivään massaan on arvioitu tältä ajalta.

### 3.2 Vapaaäähdytyksen porakaivosovellus

Porakaivoissa saavutettava jäähdytysnesteen (kiertonesteen) lämpötila on tyypillisesti 8–18 °C [4]. Kuvassa 2 esitetään esimerkkijärjestelmän kaaviokuvalla Ruusutorpan koulun jäähdytyspiiri todellisine arvoineen marraskuulta 2004. Esitetty teho on järjestelmän sen hetkinen teho, joka on pienehkö ajankohdasta johtuen. Järjestelmän ainoita kuluvia osia ovat kiertovesipumput. Järjestelmä mahdollistaa myös reaaliaikaisen sekä kumulatiivisen seurannan saadun tehon ja energian osalta. Kesäkauden ulkopuolella järjestelmästä saadaan helposti jäähdytyksen vaatima perusteho.

Koska vapaaäähdytyspiirissä ei ole lämpöpumppua, kiertonesteenä voidaan käyttää vettä. Sama vesi kiertää porakaivossa sekä tuloilmakoneen jäähdytyspatterissa. Vaihtoehtoisesti järjestelmä voisi olla lämmönsiirtimellä varustettu lämpöpumppulaitos, jolloin kiertoneste pitää suojata jäätymiseltä esim. glykoliliuoksella. [7]



Kuva 2. Vapaaäähdytyspiirin periaatekaavio Ruusutorpan koulussa [1].

## 4 Jäähdytyksen tarve ja mitoitusolot

Kohteen vaatima ostetun sähköenergian määrä on tarkoitus pitää minimissä. Hankesuunnitelman mukaisesti ilmanvaihtokoneet ja niiden komponentit valitaan siten, että SFP (Specific Fan Power) -luvuksi tulee enintään 2 kW/(m<sup>3</sup>/s). Koneen komponentit on valittava aiheuttamaltaan painehäviöltä matalaksi ja puhallin on sovitettava kokonaisuuteen.

Suodattimet (karkea + hieno) valitaan kohteen vaatimusten mukaisen sisäilman puhtauden (tason S2) saavuttamiseksi sekä laitteiston pitämiseksi puhtaana mm. siitepölyltä ja liikenteen päästöiltä. Lisäksi koneet varustetaan odotettavissa olevien olosuhteiden vaatimin äänenvaimennuksin ja lisäosin, jotta ne voidaan ottaa huomioon painehäviönä. Koneiden lähempi tarkastelu ei ole tässä vaiheessa oleellista, joten keskittyminen jää jäähdytyspatterin, SFP-luvun sekä puhaltimien osalle.

Korkeahko jäähdytysnesteen lämpötila pakottaa kasvattamaan jäähdytyspatterin pinta-alaa. Tähän voidaan vaikuttaa valitsemalla erisyvyisiä jäähdytyspattereita sekä vaihtelemalla patterin lamellien tiiviyttä. Syvä ja tiheällä lamellivälillä varustettu jäähdytyspatteri nostaa painehäviötä, mikä täytyy huomioida puhaltimen valinnassa sekä vaikutuksesta SFP-lukuun. Pieni lämpötilaero meno- ja paluuveden välillä johtaa suureen kiertonestevirtaamaan, jonka tuottamiseksi pumpun täytyy toimia suuremmalla teholla, mikä vaikuttaa myös pumppauskustannuksiin.

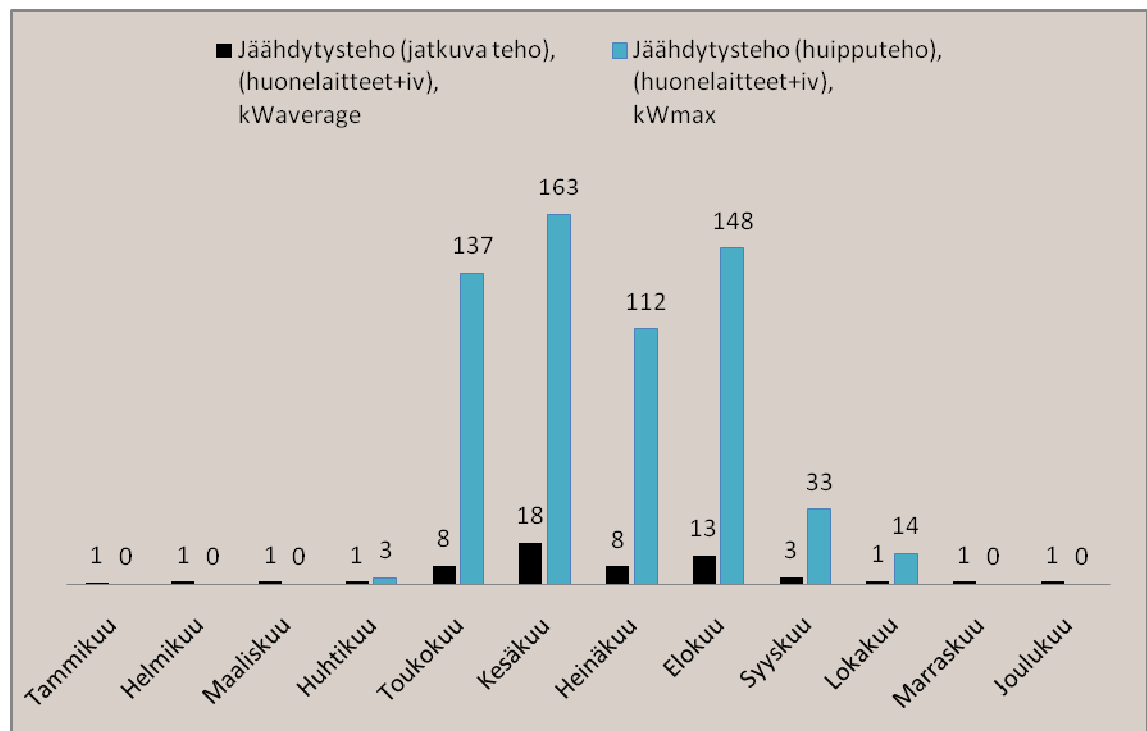
Kun maaperään pumpataan lämpöä, maaperä ei ehdi johtamaan kaikkea lämpöä ympäristöön. Mikäli kuormitus on suurta, aiheuttaa tämä hetkellistä lämpötilan nousua myös ympäröivällä massalla.

### 4.1 Jäähdytystehon tarve

Ympäristötalon jäähdytystehontarve on laskettu jatkuvan tehon jaksolle sekä huipputehokaudelle. Jatkuvan jäähdytystehon peruskuorma vaihtelee välillä 1–18 kW,

ja huipputeho esiintyy lähinnä kesäkuukausina, suuruudeltaan n. 33–163 kW.

Kuukausittainen tehotarkastelu jäähdytyksen peruskuorman sekä huipputehon osalta on esitetty kuvassa 3. Porakaivopiirin kiertonesteen mitoituslämpötila on +8 °C / +16 °C.



Kuva 3. Viikin Ympäristötalon jäähdytystehon tarve kuukausittain mitoitusvuonna [12].

Jatkuva tehontarve edustaa sähkölaitteista, valaisimista sekä ihmisistä aiheutuvaa jatkuvaa kuormitusta. Lisäksi valoisalla kaudella lisäkuormaa tulee auringon säteilylämmöstä suoraan rakennuksen sisälle sekä lämmenteestä ulkoilmasta ja johtumislämmöstä ulkoa rakenteiden läpi sisätiloihin.

#### 4.2 Mitoitusolosuhteet

Toimiston sisälämpötilaa ohjataan huonekohtaisilla säätimillä. Perusjäähdytys hoidetaan ilmastoinnilla. Tilakohtaisesti neuvottelutilojen sekä toimistohuoneiden jäähdytystä ohjataan huonekohtaisin jäähdytyspalkkien säätimin. Tavoiteltu tuloilman lämpötila on +18 °C.

#### 4.2.1 Ulkoilman mitoitusolot

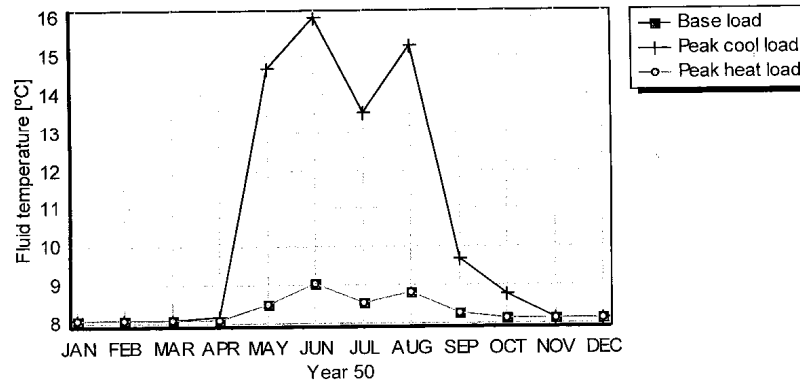
Ilmaston jatkuvasti muuttuessa on oletettavaa, että ennustusten mukaan tapahtuu edelleen kesien lämpenemistä ja kosteuden lisääntymistä, vaikka muutokset voivat olla pieniä [9]. Tästä johtuen jäähdytysjärjestelmän pitkäaikaista mitoitusta on vaikea luotettavasti ennustaa. Mitoitus on siis järkevää tehdä nykytilan valossa.

Hankesuunnitelman mukaisesti käytetään mitoitusolosuhteina +25 °C:n lämpöistä ulkoilmaa, jonka entalpia on 55 kJ/kg. Tämä tarkoittaa n. 60 %:n suhteellista kosteutta kostean ilman Mollier-diagrammista katsottuna.

#### 4.2.2 Porakaivopiirin mitoitus

Kuormituksen lisääntyessä kiertonesteen keskilämpötila nousee lämpimällä kaudella, lämmön varastoitua porakaivoja ympäröivään kalliomassaan nopeammin kuin se ehtii jakaantua kauempana olevaan ainekseen. Hetkellisesti tämä aiheuttaa ilmastointikoneiden käyntiaikana suhteellisen korkean lämpötilan jäähdytyspiirin kiertonesteelle. Kiertonesteen lämpeneminen tehojaksolla näkyy selvästi kuvissa 4 ja 5, lämpötilaeron ollessa n. 4...5 °C. joka on käytännössä pienin lämpötilaero jäähdytyspatterille menevälle sekä sieltä palaavalle kiertonesteelle, jotta tuloilman jäähtyisi riittävästi [7]. VTT:n mitoituslaskelmat porakaivoille (kuvat 4–6) on mitoitettu kahdella kiertonesteen keskilämpötilalla huipputehon kaudella, +16 °C sekä +17,5 C.

Vapaajäähdytystarkastelu  
Kalliopiirin kiertonesteen keskilämpötilat/kk mitoitusvuonna  
(+5/16 °C)



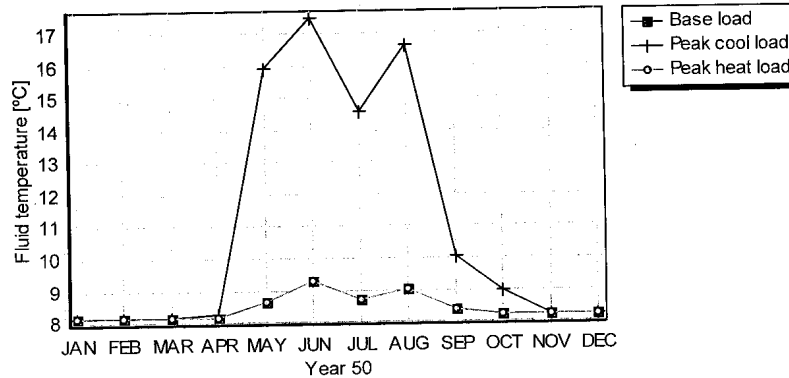
VTT

Kuva 4. Kalliopiirin kiertonesteen keskilämpötilat kuukausittain [3].

Yöllä lämpöerot hieman tasaantuvat, mutta maaperän hetkellinen lämpeneminen nostaa kiertonesteen lämpötilaa koko jäädytyksen huipputehon ajanjaksolle. Kuvassa 4 esitetään VTT:n Jouko Ritolan Earth Energy Designer -ohjelmalla mallintama tilanne kiertonesteen lämpötiloista. Kiertonesteen meno- ja paluuveden keskilämpötila nousee korkeimmillaan lähelle 16 °C:ta.



Vapaajäähdytystarkastelu  
Kalliopiirin kiertonesteen keskilämpötilat/kk mitoitusvuonna  
(+5/17,5 °C)



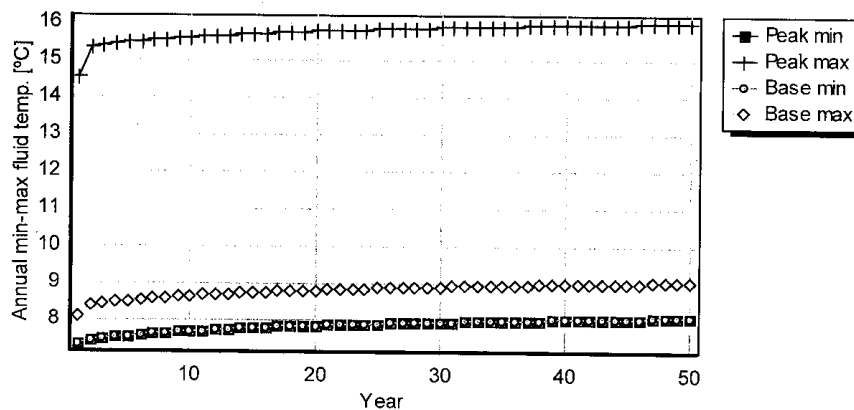
5

VTT

Kuva 5. Kalliopiirin kiertonesteen keskilämpötilat vuositasolla [3].

Kuvassa 5 näkyy vaihtoehtoinen mitoituslaskelma kiertonesteen lämpötiloille. Mitoituksessa käytetty kiertonesteen lämmityskauden keskilämpötila 17,5 °C paljastui konetarkasteluissa liian korkeaksi ja käytännössä sitä ei voida hyödyntää. Tuloilman tavoitearvon ollessa +18 °C olisi koneesta lähtevän ilman lämpötilan ero kiertonesteen keskimääräiseen lämpötilaan vain 0,5 °C ja parhaimmillaan (kiertonesteen meno- ja paluuveden lämpötilaeron ollessa 4 °C, jolloin jäähdytyspatterille tulevan veden lämpötila olisi 15,5 °C) 2,5 °C.

Vapaajähdytystarkastelu  
Kalliopiirin kiertonesteen keskilämpötilat kunkin vuoden  
lopussa mitoituskaudella (+5/16 °C).



6

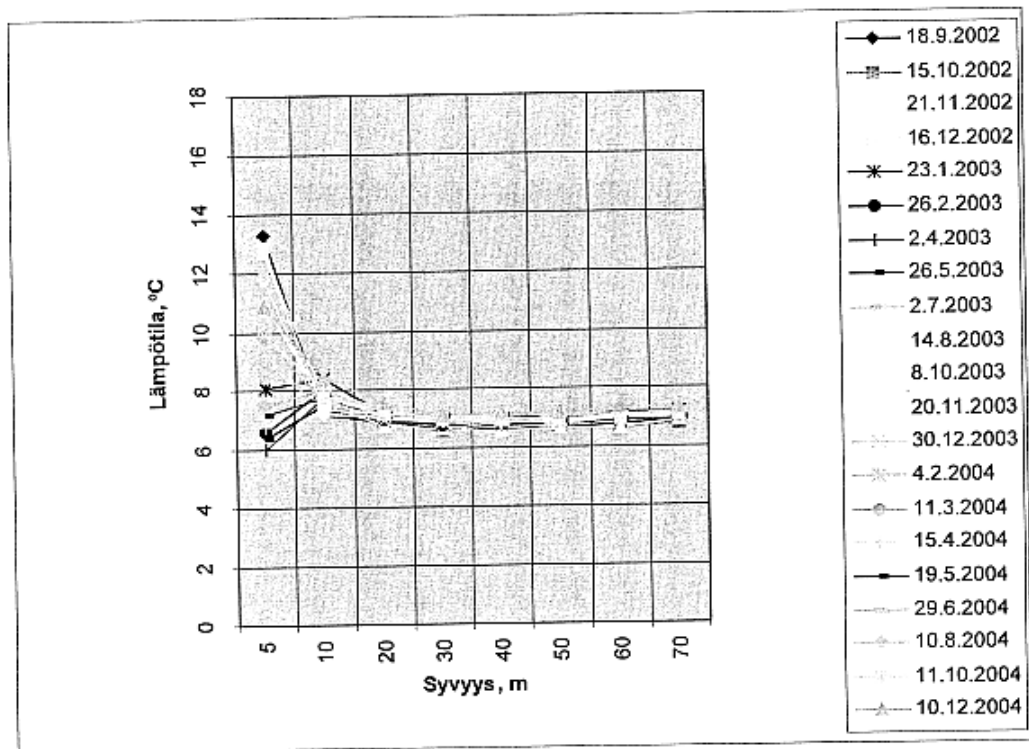
VTT

Kuva 6. Kalliopiirin kiertonesteen keskilämpötilat vuositasolla [3].

#### 4.2.3 Maaperään siirretyn lämmön vaikutus maaperän lämpötilaan

Muutokset kallion lämpötiloissa ovat hitaita johtuen suuresta massasta ja lämmön siirtymisestä ympäristöön. Ruusutorpan koerakennuskohteessa järjestettiin 2 vuoden seurantatutkimus maaperän lämpötilalle, tuloksia otettiin kerran kuukaudessa. Toinen mittausreikä oli n. 80 m syvä (kuva 6), ja toinen hieman syvempi, n. 120 m (kuva 7). Tavallisesti porakaivojen suurin syvyys on 150 m [2]. Maaperän rakenteesta ja pintakerroksen paksuudesta riippuen maan lämpötila on ns. luontaisella alueella noin seitsemässä asteessa, 5–15 m:n syvyydestä lähtien.

## Liite B: Ruusutorpan kalliolämpötilat. Reikä 1, 10.12.2004



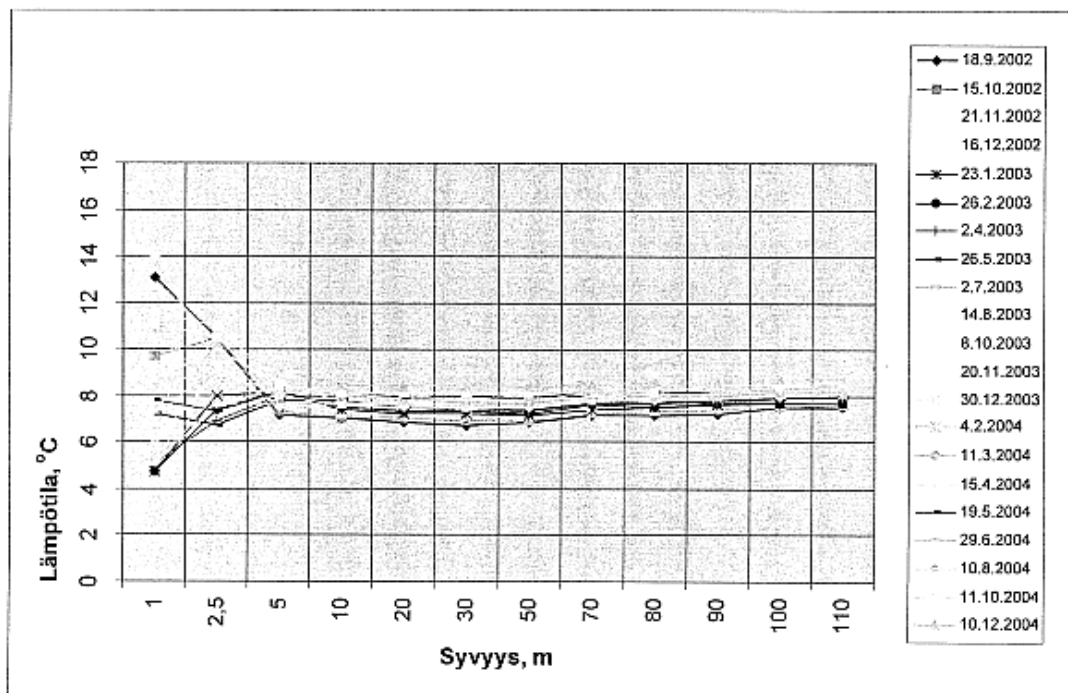
Kuva 7. Ruusutorpan kalliolämpötilojen seuranta 2 vuoden ajalta, reikä 1 [3].

Suomen maaperässä on paikoin jopa 230 km:n paksuudelta kiinteää ainetta. Kiviaines on myös kiinteää sekä ehjää [10]. Hyvä kiviainespohja antaa mahdollisuuden käyttää porakaivotekniikkaa koko geologisella alueella hyvinkin laajalti.

Ruusutorpan mittausreiät 1 ja 2 on sijoitettu kahden porakaivon väliin. Siten ne esittävät luotettavasti kallioperän lämpötilaa eivätkä kuvaa porakaivon sisäistä lämpötilaa.

Porakaivoja ympäröivässä kalliiossa ei havaittu koerakennuskohteen seuranta tutkimuksen aikana lämpenemistä, mikä viittaa tulosten pysymiseen pitkälläkin aikavälillä laskelmien mukaisena (ks. kuva 6).

### Liite C: Ruusutorpan kalliolämpötilat. Reikä 2. 10.12.2004



Kuva 8. Ruusutorpan kalliolämpötilojen seuranta 2 vuoden ajalta, reikä 2 [3].

Kuvista 7 ja 8 huomataan myös, että maaperän lämpötila on 7–8 °C noin 5–10 metrin syvyydestä alkaen. Koska porakaivo ylittää pitkälle routimissyvyyden alle, ei maan lämpötila kuitenkaan ratkaisevasti muutu edes kylmällä kaudella. Kun lämpötilaero kiertonesteen ja kallioperän välillä pienenee, lämmönsiirto hidastuu huomattavasti. Tämän vuoksi ei ole järkevää olettaa, että mitoituksissa voitaisiin käyttää alimpia mahdollisia arvoja. Siksi jäähdytyslaittevalinnoissa on järkevää käyttää enintään mitoitusarvoa +8 °C. Tämä ei aiheuta ongelmia, sillä jatkuvan tehontarpeen kaudella näinkin matalat lämpötilat jäävät haaveeksi. Jos laitemitoituksella saadaan riittävä tehontarve korkeammalla kiertonesteen lämpötilalla, toteutuu riittävä jäähdyminen varmasti myös alle +10 °C:n lämpötiloissa.

## 5 Tarkastelut

Ilmastointikoneen jäähdytyspatterin painehäviön tulee pysyä niin vesi- kuin ilmapuolella mahdollisimman pienenä, sillä ylimääräiset painehäviöt aiheuttavat ylimääräisiä pumppaus- ja puhallinkustannuksia. Jäähdytyspatterin vesipuolen painehäviön olisikin oltava enimmillään 30 kPa [5, s. 41]. Lisäksi korkea kiertonesteen lämpötila vaatii isomman lämmönsiirtopinta-alan. Pinta-alan kasvattaminen lamelliväliä tihentämällä sekä jäähdytyspatterin syvyyttä lisäämällä nostaa painehäviön korkeaksi. Lisäksi otsapinta-alaltaan ahtaaksi mitoitettu jäähdytyspatteri voi aiheuttaa korkean otsapintanopeuden, yli 2,5 m/s, jolloin on riski mahdollisten kosteuspisaroiden siirtymisestä ilmapirran mukana kanavistoon aiheuttamaan siellä likaantumista sekä ongelmia. Ahdas ja syvä jäähdytyspatteri voi aiheuttaa jopa 25 % koko tuloilmapuolen painehäviöstä. Tämä taas kasvattaa SFP -lukua, koska puhallin joutuu tekemään ylimääräistä työtä voidakseen johtaa ilman ahtaista lamelliväleistä.

Kalliopiiristä saatava kiertonesteen lämpötila on VTT:n laskelmien mukaan alimmillaan noin 7 °C, ja tulosten mukaan kiertonesteen keskilämpötila on suurimman tehon aikana jopa 16 °C. Viiden asteen lämpötilaerolla tämä tarkoittaa 13,5 °C ja neljän asteen lämpötilaerolla 14 °C menoveden lämpötilaa, sekä vastaavasti paluulämpötiloja 18,5 °C ja 18 °C. Jäähdytyspatterin toiminnan kannalta täytyy järjestelmä mitoittaa vähintään 4–5 asteen lämpötilaerolle kierto- ja paluunesteessä [1; 7].

Ilmanvaihtokoneita tarkasteltiin mm. Fläktwoodsien sekä Recairin mitoitusohjelmilla. Kahden eri valmistajan perusteella uskalletaan kuitenkin jo luoda päätelmän koneiden saatavuudesta sekä voidaan varmistua, että koneita voi kilpailuttaa edullisemman hankintahinnan saavuttamiseksi [7].

Kohteen matalaenergiaprofiilin mukaan koneiden SFP-luvuksi olisi saatava alle 2 kW/(m<sup>3</sup>/s). Suodattimet, lämmityspatterit sekä äänenvaimennus on mallinnettu kohteen vaatimusten mukaan. Tämän työn liitteinä on nähtävissä yksi konekokonaisuus Fläktwoods Oy:ltä sekä yksi Recairilta.

Kesän huippujäähdytystilanteessa saatavaan tehoon eniten vaikuttava tekijä on kalliopiirin vapaajäähdytyksen kiertonesteen lämpötila. Mitoituslaskelmien mukaan keskilämpötila kiertonesteessä voi nousta jopa 16 °C:seen. Mikäli jäähdytyksen kierto toteutetaan vapaajäähdytyksellä, on kiertonesteinä vesi. Kuormituksen vaihdella kiertonesteen keskilämpötila voi verkostossa vaihdella, ja siten sille on järkevää varata vähintään 1 °C varmuusvaraa mitoitusarvoa valitessa.

## 5.1 Tuloilmakone 1

Ympäristötalon ilmanjaon periaatetta ei ole vielä lopullisesti päätetty. Konekokoja ilmavirtoineen on tämänkin vuoksi vaikea päättää, joten tarkastelua suoritettiin ensin pienehköllä (1,5 m<sup>3</sup>/s) tuloilmakoneella.

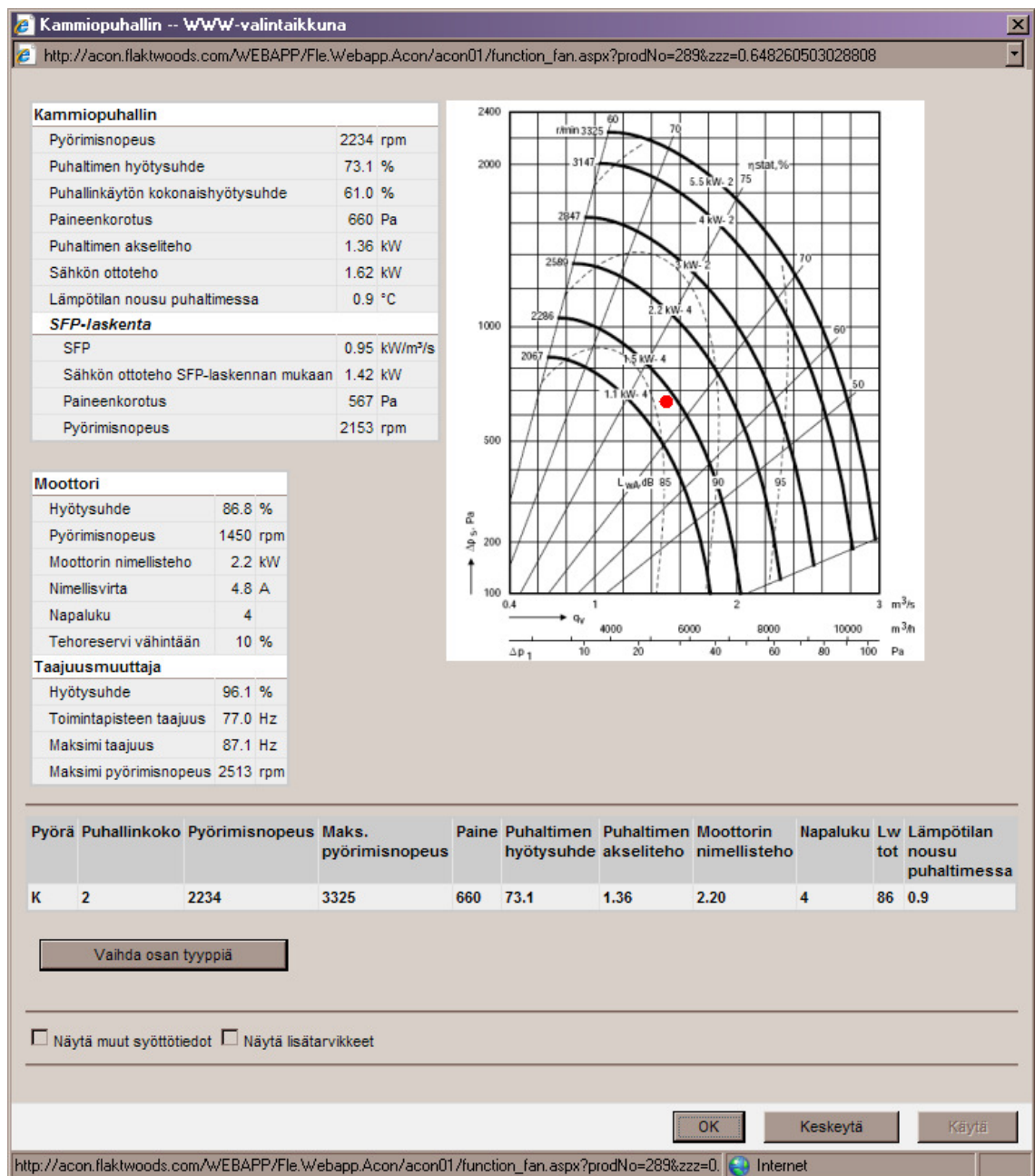
Komponentti	SUMMER	Yksikkö
<b>Ilmanjäähdytin, vesi</b>		
Putkikoko	32	
Mitoittava painehäviö	119 Pa	
Mitoituspisteen teho	17.0 kW	
Ilman lämpötila	25.0 / 17.1 °C	
Suhteellinen kosteus	60.0 / 93.1 %	
Otsapintanopeus	2.0 m/s	
Veden lämpötila	15.0 / 19.0 °C	
Vesivirta	1.02 l/s	
Veden nopeus	0.7 m/s	
Vesipuolen painehäviö	9.4 kPa	

Komponentti	SUMMER	Yksikkö
<b>Ilmanjäähdytin, vesi</b>		
Putkikoko	32	
Mitoittava painehäviö	117 Pa	
Mitoituspisteen teho	13.6 kW	
Ilman lämpötila	25.0 / 17.6 °C	
Suhteellinen kosteus	60.0 / 94.2 %	
Otsapintanopeus	2.0 m/s	
Veden lämpötila	16.0 / 20.0 °C	
Vesivirta	0.81 l/s	
Veden nopeus	0.5 m/s	
Vesipuolen painehäviö	6.2 kPa	

Kuva 9. TK1. EU2000, 1,5 m<sup>3</sup>/s, jäähdytyspatterin toimintapiste kesätilanteessa, kiertoneste 15/19 °C ja 16/20 °C [8].

Kuvassa 9 näkyy merkittävä (20 %) tippuminen jäähdytyspatterin tehossa kiertonesteen keskilämpötilan vaihtuessa +17 °C:sta +18 °C:seen. Jäähdytyspatterille menevän veden ollessa 15 °C tapahtuu patterin pinnan kylmimmissä kohdissa hieman kondensaatiota, joka aiheuttaa kuvassa näkyvän kosteuseron tuloilmassa. Kuvassa 10 näkyy mitoitusohjelman laskema lämpeneminen puhaltimessa (0,9 °C), mikä on otettu huomioon laskettaessa tuloilman lämpötilaa. Ilman voidaan olettaa koneelta lähdettyään, ennen ulostuloa pääte-elimeltä, hieman lämpenevän kanavistossa. Siten n. +17,5 °C:n lämpötila on koneelta lähtiessä riittävä.



Kuva 10. TK1. EU2000, 1,5 m<sup>3</sup>/s, tuloilmapuhaltimen toimintapiste [8].

Kuvassa 10 esitetään EFF1-tehokkuusluokan puhaltimen (moottori: ABB) toimintapiste teknisine tietoineen. Puhaltimen sovitus pienimmän koneen muuhun rakenteeseen nähden onkin haastavaa, sillä mitoitusvirtaamaan nähden tilava kone ja pienikokoinen puhallin aiheuttavat herkästi kierrosnopeuden kasvun ja sitä kautta toimintapisteen siirtymisen pois parhaalta hyötysuhdealueelta. Kuitenkaan yksin jäähdytyspatterin vuoksi ei koko koneen kokoa kannata kasvattaa, sillä vaikutukset hintaan sekä



konehuoneen tilavaatimuksiin kasvavat kohtuuttomasti. Valinnoilla päästiin kuitenkin lähelle 75 %:n hyötysuhdetta jo standardipuhaltimilla. Mikäli puhallin valittaisiin siten, että kierrosnopeutta saataisiin alemmas, kokonaishyötysuhdetta voitaisiin mahdollisesti parantaa. TK1:n SFP-luvuksi saatiin 1,69 kW/(m<sup>3</sup>/s).

## 5.2 Tuloilmakone 2

Pienehkön ilmanvaihtokoneen lisäksi tutkittiin Fläktwoods Oy:n tarjontaa isommille koneille. Kohteen yhteenlaskettu ilmavirta huone- ja tilatyyprien pohjalta on noin 15 m<sup>3</sup>/s (keskiarvoksi n. 2,3 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>). Tutkittavaksi valittiin kone, jonka tuloilmavirta on 10 m<sup>3</sup>/s.

Komponentti	SUMMER	Yksikkö
<b>Ilmanjäähdytin, vesi</b>		
Putkikoko	80	
Mitoittava painehäviö	152 Pa	
Mitoituspisteen teho	100.2 kW	
Ilman lämpötila	25.0 / 17.1 °C	
Suhteellinen kosteus	60.0 / 96.9 %	
Otsapintanopeus	2.3 m/s	
Veden lämpötila	16.0 / 20.0 °C	
Vesivirta	5.99 l/s	
Veden nopeus	0.9 m/s	
Vesipuolen painehäviö	19.6 kPa	

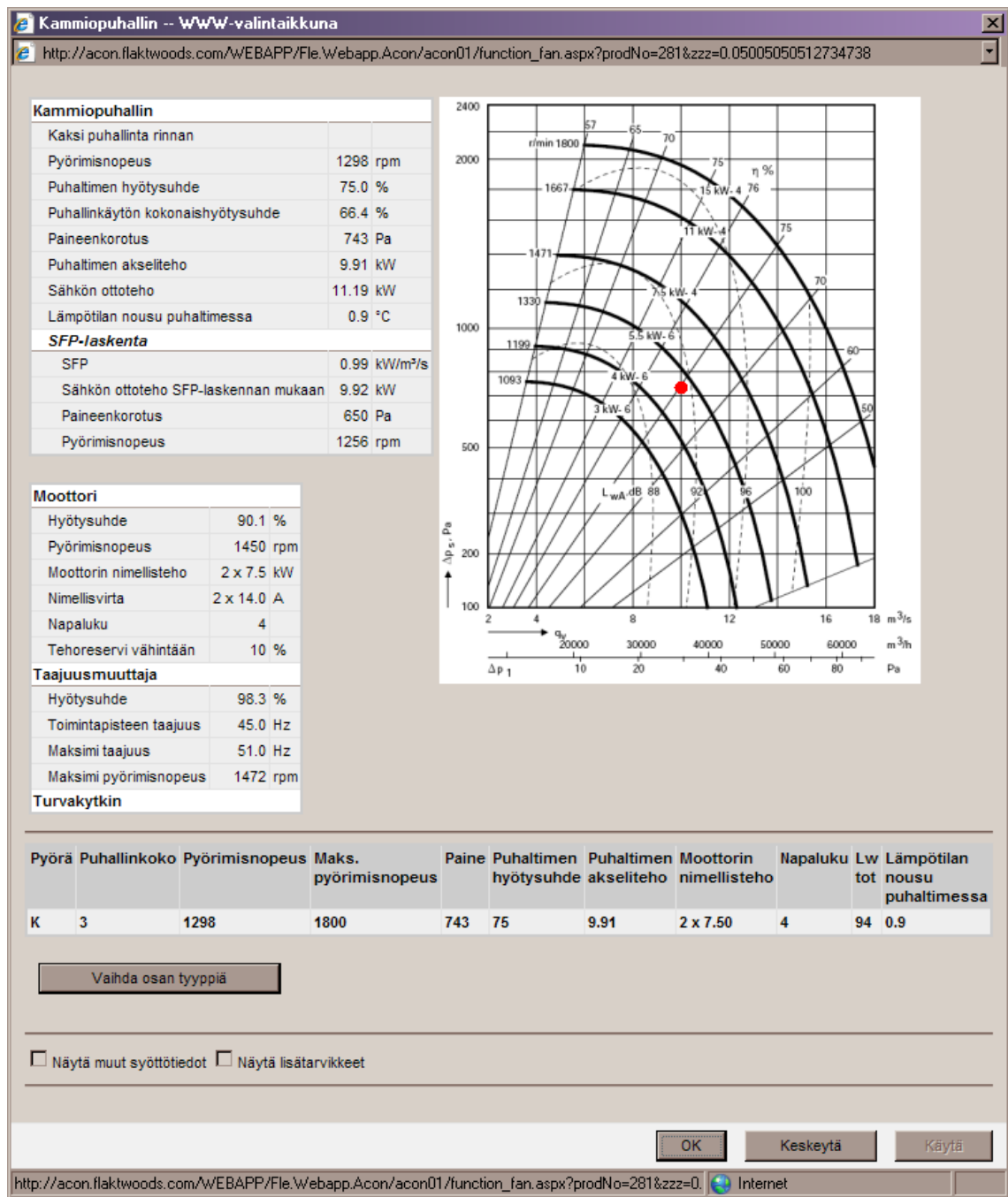
Komponentti	SUMMER	Yksikkö
<b>Ilmanjäähdytin, vesi</b>		
Putkikoko	80	
Mitoittava painehäviö	153 Pa	
Mitoituspisteen teho	79.1 kW	
Ilman lämpötila	25.0 / 18.6 °C	
Suhteellinen kosteus	60.0 / 88.8 %	
Otsapintanopeus	2.3 m/s	
Veden lämpötila	17.0 / 21.0 °C	
Vesivirta	4.73 l/s	
Veden nopeus	0.7 m/s	
Vesipuolen painehäviö	12.9 kPa	

Kuva 11. TK2. EU2000 10 m<sup>3</sup>/s, jäähdytyspatterin toimintapiste kesätilanteessa, kiertoneste 16/20 °C ja 17/21 °C [8].

Isomman ilmavirran tullessa kyseeseen on käytettävä isompaa ilmanvaihtokonetta. Tämä johtaa luonnollisesti myös isomman jäähdytyspatterin käyttöön, joka mahdollisti

tuloilman tavoitearvon saavuttamisen myös korkeammilla jäähdytysnesteen lämpötiloilla (17/21 °C). Mitoituskoneiden ilmavirtojen ja jäähdytyspatterien otsapintojen seurauksena tässä tapauksessa pienemmässä koneessa on 0,3 m/s hitaampi otsapintanopeus. Isommassakin koneessa nopeudeksi saatiin 2,3 m/s, mikä on hyväksyttävä tulos. TK2 jäähdytyspatterissa korkea jäähdytysnesteen menolämpötila ei aiheuttanut kondensiota jäähdytyspatterin pintalämpötilan pysyessä kastepisteen yläpuolella.

Otsapintanopeudesta riippumatta isompi jäähdytyspatteri antaa enemmän toimintavaraa kiertonesteen lämpötiloille. TK2:n haluttu tuloilman lämpötila, toleranssin rajoissa, saavutettiin laskennallisesti kiertonesteen keskilämpötilalla +18 °C, joka pienemmän koneen kanssa oli jo auttamattomasti liian korkea. Koska haluttu tuloilman lämpötila on myös +18 °C, jäisi näin korkealla kiertonesteen lämpötilalla jäähdytysteho pieneksi ja riittävän jäähdytystehon saamiseksi tarvittaisiin huomattavan suuri nestevirta. Tämä taas nostaisi helposti vesipuolen painehäviön yli yleisesti hyväksytyn painehäviön, 30 kPa [5].



Kuva 12. TK2. EU2000 10 kuutiota sekunnissa, tuloilmapuhaltimen toimintapiste [8].

Kuvan 12 toimintapisteen mukaan näkyy myös ero puhaltimissa. Isommalla koneella puhaltimen kierrosnopeus on pienempi, ja hyötysuhde pysyy 5 prosenttiyksikön päässä optimista ilmavirroilla  $10 \pm 2$  m<sup>3</sup>/s. Myös kokonaishyötysuhde on hieman parempi, joskin sitäkin varmasti voitaisiin parantaa. TK2:lle saatiin SFP-luvuksi 1,76 kW/(m<sup>3</sup>/s).

### 5.3 Tuloilmakone 3

Recair Oy tarjoaa myös käyttöön mitoitusohjelman. Ohjelma ei anna yhtä joustavia mahdollisuuksia seurata koneen ominaisuuksia, mutta myös sen kanssa komponenttivalinnat voidaan tehdä kohtalaisen sujuvasti.

*Taulukko 1. Jäähdytyspatterin toimintapisteet, Recair-kone, 3 m<sup>3</sup>/s [13].*

#### JÄÄHDYTYSOSA VESI 4D Z=10

Ilmavirta	3.0	m <sup>3</sup> /s
Jäähdytysteho	33.0	kW
Putkirivit / lamellijako	10 / 2.5	mm
Otsapintanopeus / painehäviö	2.1 m/s / 89	Pa
Tuleva ilma: lämpötila / kosteus / entalpia	25.0 °C / 60 % / 56.2	kJ/kg
Lähtevä ilma: lämpötila / kosteus / entalpia	17.0 °C / 95 % / 46.5	kJ/kg
Lämmönsiirtoneste	Vesi	
Tuleva / lähtevä neste	15 / 19	°C
Nestevirta / nopeus / painehäviö	1.97 l/s / 0.92 m/s / 21.6	kPa
Nestetilavuus	44	l
Putkiyhteet, kierreltiös	DN40	
<b>Pisaranerotin</b>		
Painehäviö	13	Pa

Recair-mitoitusohjelma ei huomioi puhaltimessa tapahtuvaa lämmönnousua, vaan tuloilman lämpötila ilmoitetaan välittömästi jäähdytyspatterin jälkeen ennen tuloilmapuhallinta. Haluttu lämpötila tuloilmalle kuitenkin saavutetaan lisäämällä patterin tehoa; taulukossa 1 Z=10 tarkoittaa 10 putkiriviä, kun se vakiokoneessa on 6. Lamellijako pysyy 2,5 millimetrissä.

*Taulukko 2. Tuloilmapuhallin, Recair-kone, 3 m<sup>3</sup>/s.*

#### PUHALLINOSA 4D 450 ASENTO2

Suoritusarvot ISO 5801, AMCA 210-99 mukaisesti		
Laittevalmistaja	GX	
Siipityyppi/koko	Taaksepäin kaartuva / D450	
Ilmavirta	3.0	m <sup>3</sup> /s
Liitântätapa	Kammioon	
Puhaltimen kokonaispaine	737	Pa
Puhaltimen hyötysuhde	78	%
Sähköinen kokonaishyötysuhde	62	%
Pyörimisnopeus	1692	1/min
Maksimi pyörimisnopeus	2500	1/min
Puhaltimen akseliteho	2.82	kW
SFPv-luku	1.17	kW/(m <sup>3</sup> /s)
Ilmavirran mittauksen referenssipaine-ero	828	Pa
Hihnakäyttö, hyötysuhde	94	%

Recairin esitys puhaltimeksi esitetään taulukossa 2. Laitevalintojen vuoksi mitoitettu painehäviö Recairin koneelle on suurempi kuin Fläktwoods Oy:n vastaavan. Tämä ei käytännössä pidä paikkaansa, vaan tarkemmilla valinnoilla pystyttäisiin vaikuttamaan koneen painehäviöihin myös Recairilla. Recairin jäähdytyspatterin koko käytetylle ilmavirralla antoi pienemmän otsapintanopeuden ja siten pienemmän painehäviön kuin verrokkikoneissa. Painehäviöistä ja puhaltimen optimoinnin vajavuudesta huolimatta Recair Oy:n kolmen kuution koneelle saatiin SFP-luku myös kohteessa hyväksyttävän rajan alle, lopullisena arvona 1,98 kW/(m<sup>3</sup>/s).

#### 5.4 Kiertonesteen lämpötilan vaikutus SFP-lukuun

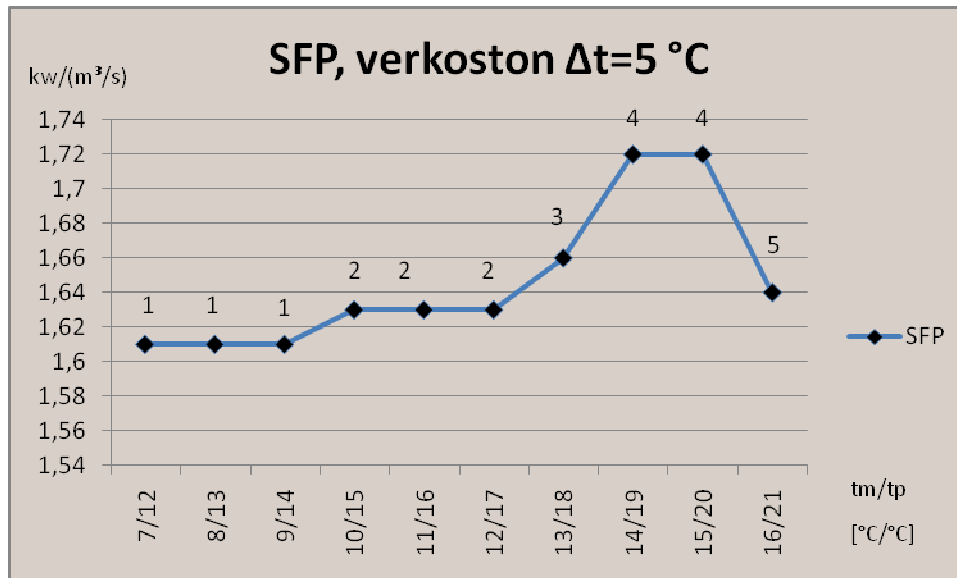
Työssä tarkasteltiin myös SFP-luvun kehitystä. Kiertonesteen keskilämpötilan noustessa joudutaan myös jäähdytyspatterin ominaisuuksia sovittamaan tilanteen mukaan. Nousua on havainnollistettu kuvissa 12 ja 13. SFP-luvun muutos on käytännössä se piste, jolloin jäähdytyspatterin ominaisuuksia jouduttiin muokkaamaan. Patterit on laskettu maksimoidulla otsapinnalla, Cu/Al-patterilla, jonka lamellijako on 2 mm. Jäähdytyspatterien muuttuvat ominaisuudet on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

*Taulukko 3. Jäähdytyspatterin ominaisuudet SFP- luvun tarkasteluissa, verkoston lämpötilaero 5 °C.*

Laskentatapaus	1	2	3	4	5
Tehovaihtoehto	2	3	4	6	8
Putkikoko	32	32	32	32	50
Konekoko	22	22	22	22	31
Mitoitettava painehäviö	43 Pa	64 Pa	81 Pa	119 Pa	74 Pa

Kiertonesteen keskilämpötilan vaikutus SFP-lukuun suoritettiin Fläktwoods Oy:n koneelle EU2000 (1,5 m<sup>3</sup>/s). Laite on liitteessä 1 esitetyn mukainen, ja ainoa muunneltu ominaisuus on jäähdytyspatterin tehoon vaikuttavat ominaisuudet, putkirivien määrä, eli

teholuokka, sekä tarvittaessa jäähdytyspatterin laitekoko. Kuvassa 13 on esitetty taulukon 3 mukaisten laskentatapausten SFP-luvut.



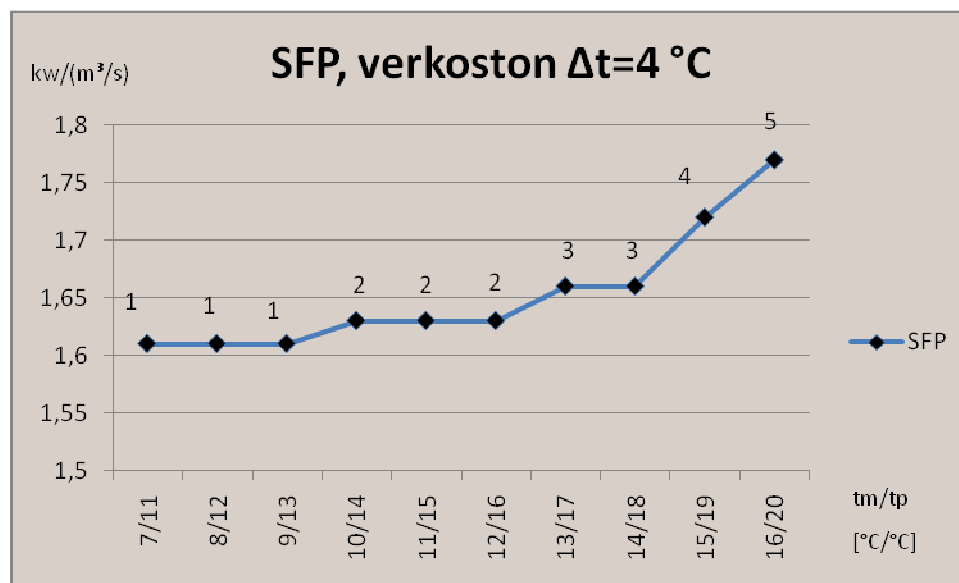
Kuva 13. Kiertonesteen keskilämpötilan vaikutus SFP- lukuun, lämpötilaero 5 °C.

Kuvan 13 käyrän tarkastelu on tehty kiertonesteen keskimääräisellä lämpötilaerolla 5 °C. Koska haluttu tuloilman lämpötila on suhteellisen korkea, jäähdytyspatterin tehon lisäys ei ole niin radikaalia kuin se olisi tavoiteltaessa viileämpää tuloilmaa. Nousu on silti selvästi havaittavissa, ja mikäli kohteen ilmanvaihtokoneessa tehdään isoja muutoksia, se tulee huomioida. Verkoston keskilämpötilalla 16/21 °C SFP-luku laskee poikkeuksellisesti alaspäin, sillä jäähdytyspatterin konekoko piti kasvattaa numeroa isommaksi.

Taulukko 4. Kuvan 13 jäädytyspatterin ominaisuudet SFP- luvun tarkasteluissa, verkoston lämpötilaero 4 °C.

Laskentatapaus	1	2	3	4	5
Tehovaihtoehto	2	3	4	6	8
Putkikoko	32	32	32	32	32
Konekoko	22	22	22	22	22
Mitoittava painehäviö	43 Pa	64 Pa	81 Pa	119 Pa	140 Pa

Kuvan 14 käyrä esittää taulukon 4 laskentatapausten tarkastelua kiertonesteen keskimääräisellä lämpötilaerolla 4 °C. Käytännössä järjestelmänä on sama järjestelmä, ja kiertonesteen lämpötilaero vaihtelee verkostossa käytön aikana tilanteen mukaan.



Kuva 14. Kiertonesteen keskilämpötilan vaikutus SFP – lukuun, lämpötilaero 4 °C.

Myös tapauksessa 2 SFP-luku tekee selvän nousun kiertonesteen keskilämpötilan noustessa. Kiertonesteen lämpötiloilla 17/21 °C ei tuloilman tavoiteltua lämpötilaa saavutettu patterin koon tai ominaisuuksien muuttamisellakaan, ja tämän takia arvoa ei esitetä.

## 5.5 Kosteuden huomioiminen

Kuten kuvista 8 ja 10 sekä taulukosta 1 nähdään, vapaajäähdytyspiiriin kytketyt jäähdytyspatterit eivät kuivaa tuloilmaa. Syynä tähän ovat valtaosin kastepisteen yläpuolella pysyvät patterien pintalämpötilat. Kesäkaudella tämä tarkoittaa, että huoneiloissa on suhteellisesti hyvin kosteaa ilmaa. Mikäli jäähdytyspalkkien pintalämpötilat laskevat alle kastepisteen, tiivistyy kosteus vedeksi. Tämän ehkäisemiseksi täytyy järjestelmä varustaa kiertonesteen lämpötilan säädöllä, jolla varmistetaan ettei jäähdytyspalkkien pintalämpötila pääse laskemaan alle kastepisteen. Käytännössä tämä tarkoittaa huoneilman jäähdyttämistä alimmillaan tuloilman lämpötilaan. [7]



## 6 Havainnot

Ilmastointikoneiden valmistajat pystyvät toimittamaan vakiokoneita, joilla saadaan riittävä jäähdytysteho +18 °C:n tuloilman saavuttamiseksi jopa kiertonesteen +16 °C:n keskilämpötilalla, kun kiertonesteen meno- ja paluunesteen lämpötilaero on > 4 °C.

Ilmavirtaan nähden hieman suuret konekoot tai koneen osien koot laskevat puhaltimen hyötysuhdetta suuren painehäviön koneessa, sillä kierrosnopeutta joudutaan usein nostamaan kohtalaisen korkeaksi. Tämän ongelman pystyy välttämään puhaltimen koon ja ominaisuuksien soveltamisella, johon laitevalmistajat ovat myös valmiita.

Määräysten mukaan ilmastointikoneen SFP-luvun on yleensä oltava alle 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) [11]. Tämä toteutuu kaikilla valituilla koneilla helposti, sillä kohteessa on käytettävissä riittävästi konehuonetilaa isojenkin koneiden käyttämiseksi. Mitoitettaessa koneita ahtaampiin tiloihin esimerkiksi perusparannuskohteissa on tilavaatimus kuitenkin otettava huomioon.

Yksittäisten komponenttien aiheuttama painehäviö koneissa pystytään laskemaan hyväksyttävälle tasolle. Tuloilmakone 3:n jäähdytyspatteri esiintyy tässä edukseen, suurimman teholuokan 10 jäähdytyspatterin painehäviöksi saatiin vakiokokoisena 89 Pa. Matala painehäviö johtunee ainakin osin jäähdytyspatterin suuremmasta lamellivälisestä (2,5 mm vs. tuloilmakoneiden 1 ja 2 käyttämää 2 mm:n lamelliväli).

Jäähdytyspatterien pintalämpötila pysyy kiertonesteen korkeilla lämpötiloilla kastepisteen yläpuolella. Tällöin ilmastointikoneessa ei tapahdu ilman kuivumista, ja kosteus siirtyy kokonaisuudessaan käyttötiloihin. Pahimmillaan tämä voi tarkoittaa jopa kylläistä tuloilmaa. Talvitilanteessa tämä ei aiheuta ongelmaa. Kesätilanteessa tilanne on haastavampi, ja jäähdytyspalkkijärjestelmä täytyy ongelman ehkäisemiseksi varustaa kiertonesteen lämpötilan säädöllä [7].

## 7 Yhteenveto

Ilmastonmuutos ja kallistuva energia asettavat tiukat vaatimuksensa myös talotekniikan kehitykselle. Energiamuotoja on saatavilta ympäriltämme luonnosta, mm. auringosta, tuulesta ja maaperästä. Maaperän lämmön lämmityskäytön lisäksi yhä enenevässä määrin lisääntyy maaperän kylmän hyödyntäminen jäädytyksessä. Maaperää ei yleensä mielletä kylmäksi, ja käytössä on usein termi ”viileä”, vaikka sama prosessi on kyseessä lämpötilasta riippumatta.

Tässä työssä selvitettiin porakaivosovelluksen käyttöä vapaajäädytyksen porakaivosovelluksen osalta. Työ suoritettiin laskelmien, kirjallisuuden sekä laitevalmistajien mitoitusohjelmien avulla.

Maaperän energian hyödyntäminen ilman lämpöpumppuja on yksinkertainen ja tehokas tapa hyödyntää ilmaista energiaa. Tämän työn perusteella vapaajäädytteinen porakaivosovellus on käyttökelpoinen ratkaisu jo olemassa olevilla järjestelmillä. Ilmanvaihdon SFP-luku saadaan pysymään hyväksyttävän vaatimustason alapuolella. Tuloilman tavoitelämpötila +18 °C saavutettiin myös haastavassa kesätilanteessa standardikokoisten ja -tyyppisten ilmanvaihtokoneiden osien avulla, kunhan kosteuden siirtyminen huoneilmaan huomioidaan huonekohtaisessa jäädytyksessä.

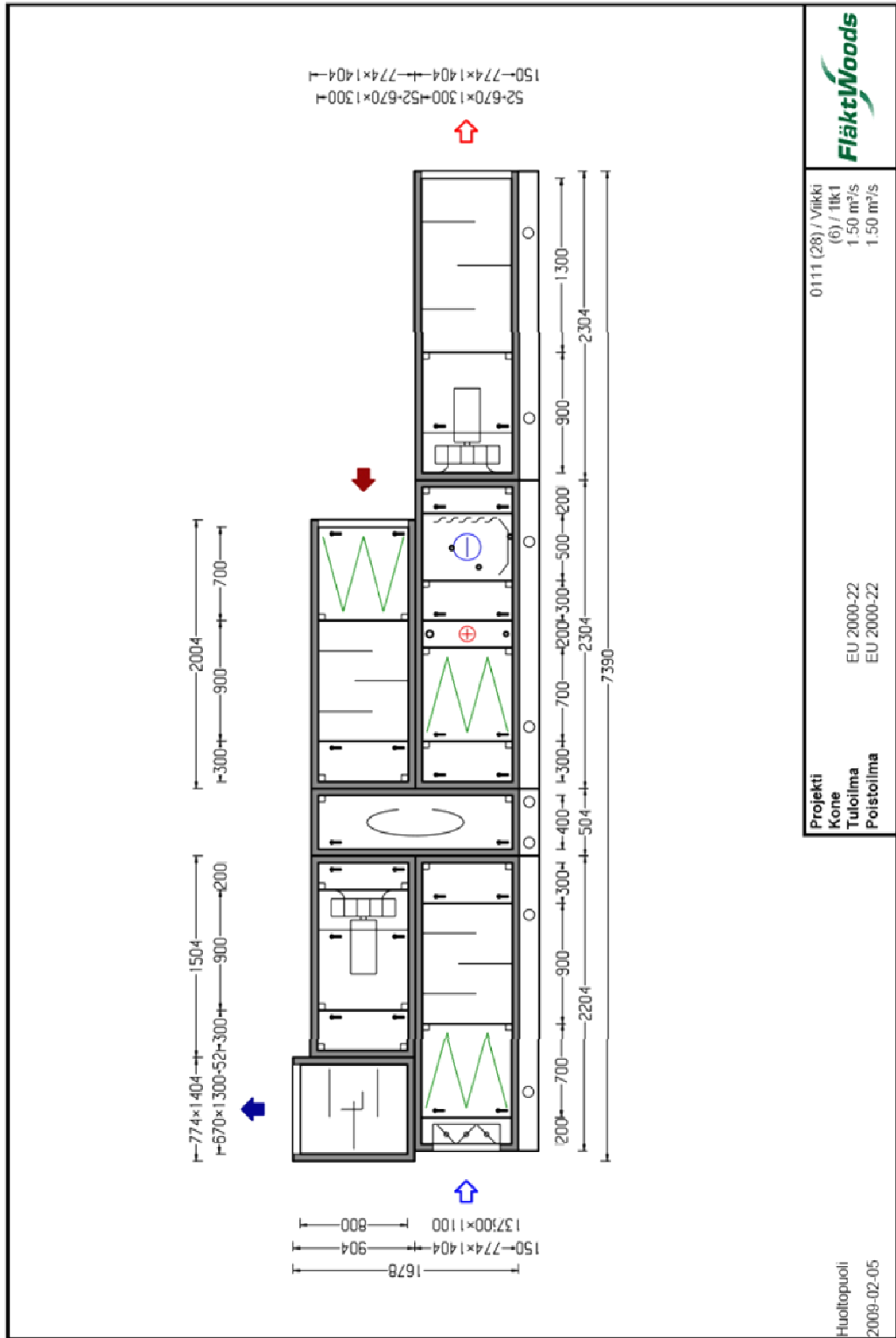
Tulevaisuudessa porakaivoista saatavan energian täysipainoinen ja monipuolinen hyödyntäminen vaatii lisää tutkimusta. Vaihtoehtoisena järjestelmänä on esimerkiksi lämmönsiirtimellä varustettu järjestelmä, joka todennäköisesti mahdollistaisi pienten jäädytyspattereiden ja siten hieman pienempien ilmanvaihtokoneiden käytön. Korjausrakentamisen osalta saatu tilasäästö voisi olla merkittävä. Viikin ympäristötalo rakennetaan ensisijaisesti energiavaatimusten mukaan, joten tarkempi kustannustehokas sekä myös pumppauskustannukset mukaan laskeva taloudellinen vertailu jää tämän työn osalta tekemättä.

## Lähteet

- 1 Ruusutorpan koulun kalliojähdytys. Loppuraportti. VTT, 22.12.2004.
- 2 LOWEX Guidebook. (WWW-dokumentti.) Network of International Society for Low Exergy Systems in Buildings.  
< <http://www.lowex.net/english/inside/guidebook.html> > Luettu 5.2.2009
- 3 Ritola, Jouko. Viikin ympäristötalo. Kalliopiirin alustava mitoitus vapaajäähdytykselle. VTT, 12.01.2009
- 4 Helsingin ympäristökeskuksen ja Helsingin yliopiston toimitalo Viikkiin. Hankesuunnitelma 30.4.2008
- 5 Pentikäinen, Ripatti, Saaristo, Vasara, Liljeström. Puhtaan ilmanvaihdon suunnitteluohje. Sisäilmayhdistys 2002.
- 6 Seppänen, Olli. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Kiitorata Oy, Helsinki 1996.
- 7 Pentikäinen, Juha. LVI-suunnittelija Climaconsult Finland Oy. Haastattelu 30.1.2009.
- 8 Acon. (WWW-mitoitusohjelma.) Fläktwoods Oy.  
<<http://acon.flaktwoods.com/WEBAPP/Login.aspx>>
- 9 Ilmastonmuutos. (WWW-dokumentti.) Ilmatieteen laitos.  
< <http://www.fmi.fi/ilmastonmuutos/vaikutuksia.html> > Luettu 17.1.2009
- 10 Turunen, Mikko. Suomen kalliooperä. (WWW-dokumentti.) Suomen Kansallinen Geologian Komitea.  
<[http://www.geologia.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=230&Itemid=38](http://www.geologia.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=230&Itemid=38) > Luettu 15.1.2009
- 11 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2003.
- 12 Ympäristötalon jäähdytystarvelaskelmat. Sisäinen materiaali.
- 13 Ilmanvaihtokoneiden mitoitusohjelma Recair 2006.9
- 14 Matalaenergiatalo. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Matalaenergiatalo>>. Luettu 9.2.2009.
- 15 Energiapihi rakentaja on yksin. (WWW-dokumentti.) Taloussanomien.  
< <http://www.taloussanomien.fi/omatalous/2008/02/17/energiapihi-rakentaja-on-yksin/20083999/139> >. Luettu 11.3.2009

- 16 Ilmastopolitiikka. (WWW-dokumentti.) Ilmasto.org.  
< <http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/politiikka.html>>. Luettu 11.3.2009
- 17 Kurnitski, Jarek. Rakennusten energiatehokkuus ja päästöt.  
Jäähdytysseminaarimateriaali. TKK 12.2.2009.
- 18 Karjalainen, Kärki, Salsbury, Tuhkanen. Rakennusten lämpöteknisen suunnittelun ja ylläpidon simulointityökalun kehityspäätteet. VTT 1999.
- 19 Hyviä tuloksia kallioenergiaan perustuvalla jäähdytyksellä. (WWW-dokumentti.) VTT.< [http://www.vtt.fi/uutta/2009/130109\\_kallioenergia.jsp](http://www.vtt.fi/uutta/2009/130109_kallioenergia.jsp)>. Luettu 11.3.2009

**Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m³/s**



Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s

## ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Projekti	0111 (28) / Viikki		
Kone	(6) / 1tk1		2009-02-05
Konekoko	22		Sivu 2
Asiakas			
Asiakkaan viite			
Oma viite	Sami Paapio		
Tuloilmavirta		1.50 m <sup>3</sup> /s	Poistoilmavirta 1.50 m <sup>3</sup> /s
Ulkoisen painehäviö		150 Pa	Ulkoisen painehäviö 150 Pa
Jännite		3 x 400, 50 Hz	Paino 1849 kg
SFP <sub>v</sub>		1.70 kW/m <sup>3</sup> /s	

## YHTEENVETO

Toiminto-osat ilmavirran suunnassa	v0 (m/s)	Et (%)	tw (°C)	ts (°C)	dP (Pa)
<b>Tuloilma:</b>					
Peltiosa/liitانتاosa	2.8				4
Suodatin	2.2				60
Äänenvaimennin	1.8				17
Rakenneosa					0
Lämmönsiirrin	2.1	80.5	-26.0 / 12.6		102
Rakenneosa					0
Suodatin	2.1				134
Ilmanlämmitin	2.8		12.6 / 19.1		28
Rakenneosa					0
Ilmanjäähdytін	2.0			25.0 / 17.1	119
Rakenneosa					0
Kammio puhallin		73.1	19.1 / 20.0	17.1 / 18.0	660
Äänenvaimennin	1.7				20
<b>Poistoilma:</b>					
Suodatin	2.1				60
Äänenvaimennin	1.8				17
Rakenneosa					0
Lämmönsiirrin	2.2		22.0 / -14.4		103
Rakenneosa					0
Kammio puhallin		66.1			413
Rakenneosa					0
Kulmaosa	0.0				0

## ÄÄNEN TEHOTASOT

(standardi: prEN13053 ISO/CD 13347-2)

Oktaavikaista (Hz)	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Ulkoilmaliitانتä	52	50	42	33	30	30	30	30	40
Tuloilmaliitانتä	63	63	50	41	38	51	45	47	55
Poistoilmaliitانتä	59	56	52	44	40	47	41	36	51
Jäteilmaliitانتä	64	70	68	64	62	63	55	54	68
Koneen vaipan läpi	62	66	65	55	52	49	39	34	60

Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s

## ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Projekti	0111 (28) / Viikki		
Kone	(6) / 1tk1		2009-02-05
Konekoko	22		Sivu 3
Asiakas			
Asiakkaan viite			
Oma viite	Sami Paapio		
Tuloilmavirta	1.50 m <sup>3</sup> /s	Poistoilmavirta	1.50 m <sup>3</sup> /s
Ulkoinen painehäviö	150 Pa	Ulkoinen painehäviö	150 Pa
Jännite	3 x 400, 50 Hz	Paino	1849 kg
SFP <sub>v</sub>	1.70 kW/m <sup>3</sup> /s		

## YHTEENVETO

<b>Kone</b>			
Tuloilmavirta	1.50 m <sup>3</sup> /s	Asennus	Sisäasennus, vaakasuora
Ulkoinen painehäviö	150 Pa	Materiaali	sinkitty teräs
Poistoilmavirta	1.50 m <sup>3</sup> /s	Lämpöeristys	T3
Ulkoinen painehäviö	150 Pa	Kondensieristys	TB3
Mitoitettava lämpötila kesällä	25 °C	Tiiviyysluokka	CEN A
Mitoitettava kosteus kesällä	60 %	Vaipan lujuusluokka	CEN 1A
Mitoitettava lämpötila talvella	-26 °C	Tuloilman suodatinluokka	G3/F7
Mitoitettava kosteus talvella	89.8 %	Poistoilman suodatinluokka	G3
Lämpötila sisään, tuloilma/kesä	18 °C	Lämpötila sisään, poistoilma/kesä	25 °C
Kosteus sisään, tuloilma/kesä	49.9 %	Kosteus sisään, poistoilma/kesä	54.9 %
Lämpötila sisään, tuloilma / talvi	20 °C	Lämpötila sisään, poistoilma / talvi	22 °C
Kosteus sisään, tuloilma / talvi	40 %	Kosteus sisään, poistoilma / talvi	20 %
Lämmöntalteenoton hyötysuhde	80 %	Lämmön talteenoton kapasiteetti	76 kW
SFP tuloilma	0.9 kW/m <sup>3</sup> /s	Kokonaispaino	1849 kg
SFP poistoilma	0.7 kW/m <sup>3</sup> /s		
SFP yhteensä	1.7 kW/m <sup>3</sup> /s	Suurimman lohkon paino	384 kg
		Suurin lohko	2354 x 1094 x 1604 mm

## Lämmitys/Jäähdytys

	Teho [kW]	Ilma sisään [°C/%]	Ilma ulos [°C/%]	Vesi sisään / ulos [°C]	Jäätymissuoja	Vesi [l/s]	Vesi [kPa]	Liit. [mm]
Ilmanjäähdytin	17	25/60	17/93	15/19	0 %	1.02	9.4	32

## Moottoritiedot

Jännite	3 x 400 V	Taajuus	50 Hz
Nimellisteho, tuloilma	2.2 kW	Nimellisteho, poistoilma	1.5 kW
Nimellisvirta, tuloilma	4.8 A	Nimellisvirta, poistoilma	3.2 A

## ÄÄNEN TEHOTASOT

(standardi: prEN13053 ISO/CD 13347-2)

Oktaavikaista (Hz)	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Ulkoilmaliitäntä	52	50	42	33	30	30	30	30	40
Tuloilmaliitäntä	63	63	50	41	38	51	45	47	55
Poistoilmaliitäntä	59	56	52	44	40	47	41	36	51
Jäteilmaliitäntä	64	70	68	64	62	63	55	54	68
Koneen vaipan läpi	62	66	65	55	52	49	39	34	60

# Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s



ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Projekti 0111 (28) / Viikki  
Kone (6) / 1tk1  
Konekoko 22

2009-02-05  
Sivu 4

## TOIMINTAPISTE, KESÄTILANNE

### Lähtöarvot

Tuloilma ilmavirta	1.50 m <sup>3</sup> /s
Poistoilma ilmavirta	1.50 m <sup>3</sup> /s
Tuloilma painehäviö	100 Pa
Poistoilma painehäviö	100 Pa
Ulkoilma painehäviö	50 Pa
Jäteilma painehäviö	50 Pa
Ulkolämpötila	25 °C
Ulkoilman kosteus	60 %
Haluttu tuloilma	18 °C
Poistoilma lämpötila	25 °C
Poistoilman kosteus	54.9 %

### SUMMER

### Peltiosa

Mitoittava painehäviö	4 Pa
-----------------------	------

### Pitkä suodatin

Suodatinpussien koot	2*592x592
Alkupainehäviö	25 Pa
Mitoittava painehäviö	60 Pa
Loppupainehäviö	95 Pa
Suodattimen otsapinta	0.7 m <sup>2</sup>
Otsapintanopeus	2.2 m/s

### Äänenvaimennin

Mitoittava painehäviö	17 Pa
Vaimennus oktaavikaistoittain	6,10,23,31,32,19,17,14 dB

### Rakenneosa

#### Pyörivä lämmönsiirin REGOTERM

Lämpötilalahyötysuhde	0.0 %
Teho mitoitusasteessa	0.0 kW
Tarvittava poiston lisäkurius	55 Pa

#### Tuloilma

Painehäviö	102 Pa
Ilman lämpötila	25.0 / 25.0 °C
Suhteellinen kosteus	60.0 / 60.0 %

#### Poistoilma

Painehäviö	103 Pa
Ilman lämpötila	25.0 / 25.0 °C
Suhteellinen kosteus	54.9 / 54.9 %

### Rakenneosa

#### Pitkä suodatin

Suodatinpussien koot	2*592x592
Alkupainehäviö	84 Pa
Mitoittava painehäviö	134 Pa
Loppupainehäviö	184 Pa
Suodattimen otsapinta	0.7 m <sup>2</sup>
Otsapintanopeus	2.1 m/s



**Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s****ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000**

Projekti	0111 (28) / Viikki	2009-02-05
Kone	(6) / 1tk1	Sivu 5
Konekoko	22	

**Ilmanlämmitin, höyry**

Mitoittava painehäviö	28 Pa
Mitoituspisteen teho	0.0 kW
Ilman lämpötila	25.0 / 25.0 °C
Höyryn lämpötila sisään	110 °C
Höyryn paine	1.43 bar
Vesivirta	0.00 kg/s

**Rakenneosa****Ilmanjäähdytin, vesi**

Putkikoko	32
Mitoittava painehäviö	119 Pa
Mitoituspisteen teho	17.0 kW
Ilman lämpötila	25.0 / 17.1 °C
Suhteellinen kosteus	60.0 / 93.1 %
Otsapintanopeus	2.0 m/s
Veden lämpötila	15.0 / 19.0 °C
Vesivirta	1.02 l/s
Veden nopeus	0.7 m/s
Vesipuolen painehäviö	9.4 kPa

**Rakenneosa****Kammionpuhallin**

Pyörimisnopeus	2234 rpm
Puhaltimen hyötysuhde	73.1 %
Puhallinkäytön kokonaishyötysuhde	61.0 %
Paineenkorotus	660 Pa
Puhaltimen akseliteho	1.36 kW
Sähkön ottoteho	1.62 kW
SFP	0.95 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Lämpötilan nousu puhaltimessa	0.9 °C

**Moottori**

Hyötysuhde	86.8 %
Pyörimisnopeus	1450 rpm
Moottorin nimellisteho	2.2 kW
Nimellisvirta	4.8 A
Napaluku	4

**Taajuusmuuttaja**

Hyötysuhde	96.1 %
Maksimi taajuus	87.1 Hz
Maksimi pyörimisnopeus	2513 rpm

**Äänenvaimennin**

Mitoittava painehäviö	20 Pa
Vaimennus oktaavikaistoittain	6,14,31,40,43,27,23,19 dB

**Pitkä suodatin**

Suodatinpussien koot	2*592x592
Alkupainehäviö	25 Pa
Mitoittava painehäviö	60 Pa
Loppupainehäviö	95 Pa
Suodattimen otsapinta	0.7 m <sup>2</sup>
Otsapintanopeus	2.1 m/s

**Liite 1: TK1. IV-koneen yhteenveto, Fläktwoods EU 2000, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s****ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000**

Projekti	0111 (28) / Viikki	
Kone	(6) / 1tk1	2009-02-05
Konekoko	22	Sivu 6

**Äänenvaimennin**

Mitoittava painehäviö	17 Pa
Vaimennus oktaavikaistoittain	6,10,23,31,32,19,17,14 dB

**Rakenneosa****Rakenneosa****Kammiopuhallin**

Pyörimisnopeus	2079 rpm
Puhaltimen hyötysuhde	66.1 %
Puhallinkäytön kokonaishyötysuhde	53.8 %
Paineenkorotus	413 Pa
Puhaltimen akseliteho	0.98 kW
Sähkön ottoteho	1.20 kW
SFP	0.75 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Lämpötilan nousu puhaltimessa	0.6 °C

**Moottori**

Hyötysuhde	85.6 %
Pyörimisnopeus	1440 rpm
Moottorin nimellisteho	1.5 kW
Nimellisvirta	3.2 A
Napaluku	4

**Taajuusmuuttaja**

Hyötysuhde	95.0 %
Maksimi taajuus	80.0 Hz
Maksimi pyörimisnopeus	2287 rpm

**Rakenneosa****Kulmaosa**

Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3m<sup>3</sup>/s

Ilmastoinnin keskuskone  
Mitoitusohjelma versio 2006.9

5.2.2009  
Sivu 1

Projektitiedot													
Projekti	Vilikki												
Käsittelijä	SP												
Lisätiedot													
Konetunnus	Konekoko	Tulolima	Poistolima	LTO-osa		Tuliliman lämpötilaeritysuhde	Patterin otsapintanopeus	Äänen tehotaso		Mootton	Virta	SFP-luku	Poistokone
				Tyyppi	Imupuoli			Painepuoli	PN				
1: 1RTK1	4D	m <sup>3</sup> /s 3.00	m <sup>3</sup> /s 3.00		Roottori	76.4	m/s 2.10	dB(A) 60	dB(A) 55	kW 4.00	~3.400V A	kW/(m <sup>3</sup> /s) 1.17	
1: 1RTK1	4D		3.00		Roottori			62	56	3.00	6.50		0.81
Yhteensä		3.00	3.00							7.00			

Kokonais sähköteho verkosta 5.94 kW

Koko laitoksen SFP-luku 1.98 kW/(m<sup>3</sup>/s)

Puhelin :  
Telekopio :

Noname

Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3m<sup>3</sup>/s

Ilmastoinnin keskuskone  
Mitoitusohjelma versio 2006.9

5.2.2009  
Sivu 2

Kone: 1RTK1

### Projektitiedot

Projekti Viikki  
Käsittelijä SP

**Kone : 1** 1RTK1  
**Yhteenvetotiedot**

Korkeusasema 0 m  
Ilmanpaine 1013 mbar  
Ilman tiheys 1.20 kg/m<sup>3</sup>

	Tulokone		Poistokone	
Konekoko	Recair 4D		Recair 4D	
Ilmavirta	3.00	m <sup>3</sup> /s	3.00	m <sup>3</sup> /s
Koneen ulkopuolinen staattinen painehäviö	150	Pa	150	Pa
Moottoriteho verkosta	3.55	kW	2.52	kW
Patterin otsapintanopeus	2.1	m/s		
Koneen otsapintanopeus	2.1	m/s	2.1	m/s
SFP, ominaistehontarve	1.98	kW/(m <sup>3</sup> /s)		

SFP-luvun laskennassa on mukana taajuusmuuttajan hyötysuhde 96%

Äänitekniset suoritusarvot standardien ISO 3741, ISO 5136 ja ISO 7235 mukaisesti  
Äänen tehotasot oktaavikaistoittain koneen liitäntäaukoissa

Tulokone											
Taajuuskaista	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Kok.	
Koneen painepuoli		73	72	62	47	48	47	48	49	dB	60 dB(A)
Koneen imupuoli		68	69	56	46	38	21	5	0	dB	55 dB(A)
Vaipan läpi		65	66	60	53	59	55	45	31	dB	62 dB(A)
Poistokone											
Taajuuskaista	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Kok.	
Koneen painepuoli		71	72	63	56	57	51	48	45	dB	62 dB(A)
Koneen imupuoli		71	70	57	43	39	32	28	21	dB	56 dB(A)
Vaipan läpi		64	65	59	52	58	54	44	30	dB	61 dB(A)

Noname

Puhelin :  
Telekopio :

Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3m<sup>3</sup>/s

Ilmastoinnin keskuskone  
Mitoitusohjelma versio 2006.9

5.2.2009  
Sivu 3

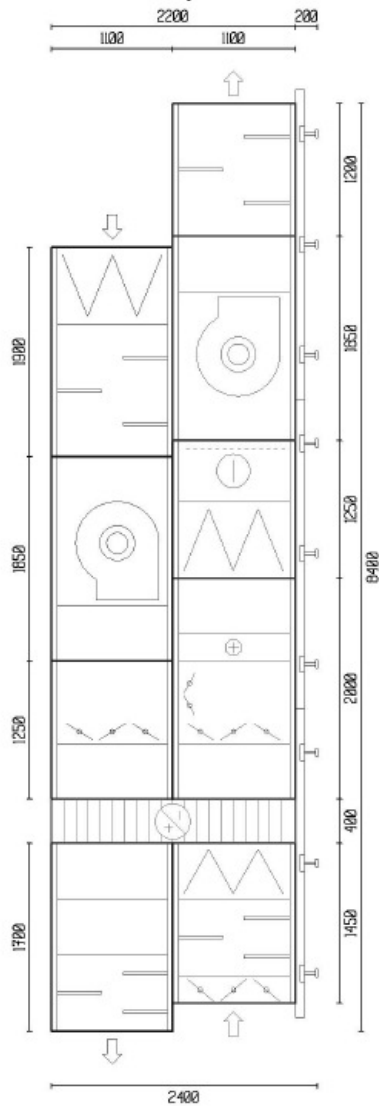
Kone: 1RTK1

Lisätiedot Viikki  
Konetunnus 1RTK1  
Konekoko 4D  
Tuloilmavirta 3.00 m<sup>3</sup>/s  
Poistoilmavirta 3.00 m<sup>3</sup>/s  
Kokonais(kuiva)paino 2892 kg  
Lisätiedot  
Kanavaliitännät ilman liitäntälaippaa

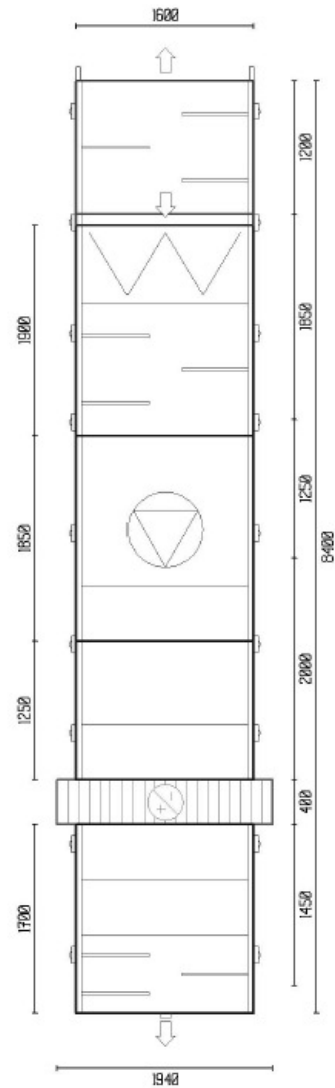
Käsittelijä  
Mittakaava

SP  
Ei mittakaavaa

Kuvanto huoltopuolelta



Kuvanto päältä



Puhelin :  
Telekopio :

Noname

Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3m<sup>3</sup>/s

Ilmastoinnin keskuskone  
Mitoitusohjelma versio 2006.9

5.2.2009  
Sivu 4

Kone: 1RTK1

### Koneen osat ja tekniset tiedot

#### Tulokone

<b>KOTELO 4D L=1450</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 1450	mm	
Paino, sisältää kotelon ja osat	284	kg	
<b>SULKUOSA 4D L=250</b>			
Tiiviyysluokka	TL 4		
Painehäviö	11	Pa	
Vääntömomentin tarve	13	Nm	
<b>ÄÄNENVAIMENNUSOSA SUORA 4D L=700</b>			
Painehäviö	25	Pa	
<b>SUODATUSOSA 4D L=500</b>			
Suodatusluokka	G4 lyhyt		
Alkupainehäviö	44	Pa	
Mitoituspainehäviö	65	Pa	
Loppupainehäviö	87	Pa	
Suodattimien määrä ja koko	2x[592x892] + 1x[287x892]		
Varasuodatinsarja	1	kpl	
<b>PYÖRIVÄ LÄMMÖNSIIRRINOSA 4D D=1720</b>			
Ei hygroskooppinen roottorimateriaali			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1940 x 2200 x 400	mm	
Paino	306	kg	
Sähköliitäntä (max)	230V/1-v/50Hz / 400	W	
Ulkopuolinen etusulake	6.3	A	
Ohjausviesti	0-10	V	
	Tulo	Poisto	
Ilmavirta	3.0	3.0	m <sup>3</sup> /s
Painehäviö	93	128	Pa
Lämmitysteho	147.1		kW
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	76		%
Tuloilman kosteushyötysuhde	33		%
Tuleva ilma: lämpötila / kosteus	-26.0 °C / 50	22.0 °C / 30	%
Lähtevä ilma: lämpötila / kosteus	10.7 °C / 22	-15.1 °C / 95	%
Ilman vesisisältö, tuleva / lähtevä	0.23 / 1.79	g/kg	5.06 / 1.12 g/kg
<b>KOTELO 4D L=2000</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 2000	mm	
Paino, sisältää kotelon ja osat	305	kg	
<b>HUOLTO-OSA 4D L=500</b>			
Painehäviö	0	Pa	
<b>SEKOITUSOSA 4D KAHDELLA PELLILLÄ L=750</b>			
Tiiviyysluokka	TL 4		
Painehäviö	5	Pa	
Vääntömomentin tarve	22	Nm	
<b>LÄMMITYSOSA VESI 4D TV2</b>			
Ilmavirta	3.0	m <sup>3</sup> /s	
Lämmitysteho	51.6	kW	
Otsapintanopeus / painehäviö	2.1 m/s / 22	Pa	
Ilman lämpötila, tuleva / lähtevä	5.7 / 20.0	°C	
Lämmönsiirtoneste	Vesi		
Tuleva / lähtevä neste	60 / 40	°C	
Nestevirta / nopeus / painehäviö	0.62 l/s / 0.76 m/s / 6.7	kPa	
Nestetilavuus	9	l	
Putkiyhteet, kierreltiös	DN25		

Noname

Puhelin :  
Telekopio :

Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3m<sup>3</sup>/s

Ilmastoinnin keskuskone  
Mitoitusohjelma versio 2006.9

5.2.2009  
Sivu 5

Kone: 1RTK1

<b>HUOLTO-OSA 4D L=500</b>			
Painehäviö		0	Pa
<b>KOTELO 4D L=1250</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 1250		mm
Paino, sisältää kotelon ja osat		236	kg
<b>SUODATUSOSA 4D L=700</b>			
Suodatusluokka		F7	
Alkupainehäviö		95	Pa
Mitoituspainehäviö		143	Pa
Loppupainehäviö		190	Pa
Suodattimien määrä ja koko	2x[592x892] + 1x[287x892]		
Varasuodatinsarja		1	kpl
<b>JÄÄHDYTYSOVA VESI 4D Z=6</b>			
Ilmavirta		3.0	m <sup>3</sup> /s
Jäähdytysteho		27.8	kW
Putkirivit / lamellijako		6 / 2.5	mm
Otsapintanopeus / painehäviö		2.1 m/s / 60	Pa
Tuleva ilma: lämpötila / kosteus / entalpia		25.0 °C / 60 % / 56.2	kJ/kg
Lähtävä ilma: lämpötila / kosteus / entalpia		18.0 °C / 90 % / 47.9	kJ/kg
Lämmönsiirtoneste		Vesi	
Tuleva / lähtävä neste		15 / 19	°C
Nestevirta / nopeus / painehäviö	1.66 l/s / 1.01 m/s / 19.8		kPa
Nestetilavuus		27	l
Putkiyhteet, kierreltiös		DN40	
<b>Pisaranerotin</b>			
Painehäviö		13	Pa
<b>KOTELO 4D L=1850</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 1850		mm
Paino, sisältää kotelon ja osat		337	kg
<b>PUHALLINOSA 4D 450 ASENTO2</b>			
Suoritusarvot ISO 5801, AMCA 210-99 mukaisesti			
Laitevalmistaja		GX	
Siipityyppi/koko	Taaksepäin kaartuva / D450		
Ilmavirta		3.0	m <sup>3</sup> /s
Liitäntätapa		Kammioon	
Puhaltimen kokonaispaine		737	Pa
Puhaltimen hyötysuhde		78	%
Sähköinen kokonaishyötysuhde		62	%
Pyörimisnopeus		1692	1/min
Maksimi pyörimisnopeus		2500	1/min
Puhaltimen akseliteho		2.82	kW
SFPv-luku		1.17	kW/(m <sup>3</sup> /s)
Ilmavirran mittauksen referenssipaine-ero		828	Pa
Hihnakäyttö, hyötysuhde		94	%
<b>KIILAHIHNAKYÖRÄ SPA 090X2</b>			
<b>TAPER LOCK 1610/35</b>			
<b>SÄHKÖMOOTT. T-DA112M-4 03051 TERMISTORI</b>			
Virtalaji	400V/3-v/50Hz		
Moottorin akseliteho		3.00	kW
Nimellisteho		4.00	kW
Nimellisvirta		8.10	A
Pyörimisnopeus		1445	1/min
Hyötysuhde		85	%
Moottorin verkosta ottama sähköteho toimintapisteessä		3.55	kW
<b>KIILAHIHNAKYÖRÄ SPA 106X2</b>			
<b>TAPER LOCK 1610/28</b>			
<b>KIILAHIHNA SPA L=1600</b>		2	kpl
<b>KIILAHIHNA SPA L=1600</b>		2	kpl
Tarkastusikkuna vakiovarusteena			

Noname

Puhelin :  
Telekopio :

Liite 2: TK3. IV-koneen yhteenveto, Recair Oy, ilmavirta 3m<sup>3</sup>/s
 Ilmastoinnin keskuskone  
 Mitoitusohjelma versio 2006.9

 5.2.2009  
 Sivu 6

Kone: 1RTK1

<b>HUOLTO-OSA 4D L=500</b>			
Painehäviö		0	Pa

<b>KOTELO 4D L=1200</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 1200	mm	
Paino, sisältää kotelon ja osat	244	kg	

<b>ÄÄNENVAIMENNUSOSA SUORA 4D L=1200</b>			
Painehäviö		33	Pa

**Poistokone**

<b>KOTELO 4D L=1900</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 1900	mm	
Paino, sisältää kotelon ja osat	334	kg	

<b>SUODATUSOSA 4D L=700</b>			
Suodatusluokka	G4 pitkä		
Alkupainehäviö	35	Pa	
Mitoituspainehäviö	52	Pa	
Loppupainehäviö	70	Pa	
Suodattimien määrä ja koko	2x[592x892] + 1x[287x892]		
Varasuodatinsarja	1	kpl	

<b>ÄÄNENVAIMENNUSOSA SUORA 4D L=1200</b>			
Painehäviö		33	Pa

<b>KOTELO 4D L=1850</b>			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	1600 x 1100 x 1850	mm	
Paino, sisältää kotelon ja osat	328	kg	

<b>PUHALLINOSA 4D 450 ASENTO2</b>			
Suoritusarvot ISO 5801, AMCA 210-99 mukaisesti			
Laittevalmistaja	GX		
Siipityyppi/koko	Taaksepäin kaartuva / D450		
Ilmavirta	3.0	m <sup>3</sup> /s	
Liitântätapa	Kammioon		
Puhaltimen kokonaispaine	470	Pa	
Puhaltimen hyötysuhde	73	%	
Sähköinen kokonaishyötysuhde	56	%	
Pyörimisnopeus	1499	1/min	
Maksimi pyörimisnopeus	2500	1/min	
Puhaltimen akseliteho	1.94	kW	
SFPv-luku	0.81	kW/(m <sup>3</sup> /s)	
Ilmavirran mittauksen referenssipaine-ero	828	Pa	
Hihnakäyttö, hyötysuhde	93	%	

**KIILAHIHNA PYÖRÄ SPZ 112X1**

TAPER LOCK 1610/35

**SÄHKÖMOOTT. T-DA100L-4B 03050 TERMISTORI**

Virtalaji	400V/3-v/50Hz		
Mootorin akseliteho	2.08	kW	
Nimellisteho	3.00	kW	
Nimellisvirta	6.50	A	
Pyörimisnopeus	1415	1/min	
Hyötysuhde	83	%	
Mootorin verkosta ottama sähköteho toimintapisteessä	2.52	kW	

**KIILAHIHNA SPZ L=1600**

TAPER LOCK 1610/28

<b>KIILAHIHNA SPZ L=1600</b>		1	kpl
------------------------------	--	---	-----

<b>KIILAHIHNA SPZ L=1600</b>		1	kpl
------------------------------	--	---	-----

Tarkastusikkuna vakiovarusteena

<b>HUOLTO-OSA 4D L=500</b>			
Painehäviö		0	Pa

Noname

 Puhelin :  
 Telekopio :