

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehitys

Tutkintotyö

Mikko Salminen

**PROESSIN JÄÄHDYTYSENERGIAN TUOTTAMINEN
VAPAAJÄÄHDYTYKSELLÄ**

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

TAMPERE 2006

Yliopettaja Marko Mäkilouko
UPM Raflatac Oy, valvojana tehdaspalvelupäällikkö Jyrki
Paananen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

Salminen, Mikko	Prosessin jäähdytysenergian tuottaminen vapaajäähdytyksellä
Tutkintotyö	29 sivua + xx liitesivua
Työn ohjaaja	Yliopettaja Marko Mäkilouko
Työn teettäjä	UPM Raflatac Oy, valvojana tehdaspalvelupäällikkö Jyrki Paananen
Syyskuu 2006	
Hakusanat	Vapaajäähdytys

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli tutkia ja löytää UPM Raflatac Oy:n Tampereen tehtaalle sopiva jäähdytystapa vapaajäähdytyksen kannalta. Lähtökohtana oli hyödyntää ulkoilmaa aina kylminä vuodenaikoina, kun ulkolämpötila on tarpeeksi viileä vapaajäähdytykselle.

Työssä vertailtiin suoran ja välillisen jäähdytyksen menetelmiä.

Tehtaalla jäähdytysilma on tähän asti tuotettu koneellisesti, joten työssä kerrotaan vapaajäähdytyksen yhdistämistä koneelliseen ilmastoon. Tämä työ esittelee lisäksi vapaajäähdytyksen toimintaperiaatteen sekä laitteiston, jota vapaajäähdytyksessä käytetään.

Työssä valittiin menetelmäksi suorajäähdytys, koska vapaajäähdytys on helpoimmin hyödynnettävissä juuri suorajäähdytyksellä.

TAMPERE POLYTECHNIC
Mechanical and production Engineering
Product development

Salminen, Mikko
Engineering Thesis
Thesis supervisor
Commissioning Company
September 2006
Keywords

Process cooling energy taking in free cooling
29 pages + xx appendices
Marko Mäkilouko
UPM Raflatac Oy, Supervisor: Jyrki Paananen

Free cooling

ABSTRACT

The aim of this thesis was to investigate and find suitable cooling system for UPM Raflatac Oy mill in Tampere.

The basic idea was to try to use fresh air for free cooling system in seasons when the temperature is cold enough.

Until now cooling air has been produced by mechanically. This thesis describes how to use free cooling system and mechanical air-condition together at the same time.

This study also presents operating principle and mechanism which is used for free cooling system.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty tutkintotyönä UPM Raflatac Oy:lle Tampereen tehtaalle syksyllä 2006.

Olen ollut töissä UPM Raflatac Oy:ssä Tampereen tehtaalla neljän vuoden ajan kaikkina mahdollisina lomina, joita koulun aikana on ollut. UPM Raflatacissa suoritin myös kaikki tutkintooni kuuluvat työharjoittelujaksot, joten oli luonnollista kysyä tutkintoaihetta sieltä. Keskusteltuani tehdaspäällikkö Jyrki Paanasen kanssa, hän ehdotti tutkintoaiheeksi prosessin jäähdytysenergian tuottamista vapaajäähdytyksellä.

Lausun parhaat kiitokset työnvalvojalle Jyrki Paanaselle mielenkiintoisesta, haastavasta aiheesta ja hyvistä ohjeista työn suorittamista varten. Lisäksi haluan kiittää kaikkia UPM Raflatacin henkilökunnasta, jotka ovat minua tutkintotyössäni opastaneet.

Tampereen ammattikorkeakoulusta haluan kiittää tutkintotyön valvojaa Marko Mäkiloukoa, joka on ohjeistanut minua työn valmiiksi saamiseksi.

Haluan kiittää myös avovaimoani Tarja Mäkistä ja vanhempiani, jotka ovat jaksaneet tukea minua matkan varrella.

Tampereella 6.12.2006

Mikko Salminen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkintotyön aihe ja tavoitteet	6
1.2 UPM Raflatac Oy	7
2. TYÖN KUVAUS	8
2.1 Jäähdytstarpeen mitoitus	9
2.2 Jäähdytystavan valinta	9
2.2.1 Suorajäähdytys	9
2.2.2 Välillinen jäähdytys	9
2.2.3 Suoran ja välillisen jäähdytyksen vertailu	10
2.3 Vapaajäähdytys prosessi	11
3 TOIMINTAPERIAATE	14
3.1 Kompressorikäyttö	14
3.2 Vapaajäähdytyskäyttö	15
4 TYÖN KULKU	17
4.1 Työn jako urakoihin	17
4.2 Asennus	18
4.2.1 Jäähdytysvesi- ja liuosputkistot	18
5. VÄLILLISEN JÄÄHDYTYKSEN KONEIKOT	19
5.1 Vedenjäähdytyskone	19
5.2 Nestejäähdytin	22
6 JÄRJESTELMÄN TARKASTUKSET JA KÄYTTÖÖNOTTO	23
6.1 Tiivistyskokeet	23
6.2 Säädot ja mittaukset	23
7 KÄYTTÖ- JA KUNNOSSAPITO OHJEET	23
7.1 Takuuajan huolto	25
8 ENERGIAKULUTUKSEN LASKENTA JA TULOKSET	27
9 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

1.1 Tutkintotyön aihe ja tavoitteet

Tämän tutkintotyön tarkoituksena oli tutkia UPM Raflatac Oy:n Tampereen tehtaalla olevien päällystyskoneiden jäähdytysenergian ottamista ulkoilmasta, kun ulkolämpötila sen sallii. Tavoitteena oli myös vertailla suorajäähdytyksen ja välillisen jäähdytyksen ominaisuuksia ja täten löytää edullisin menetelmä jäähdytysenergian saamiseksi vapaajäähdytyksellä.

Tällaista järjestelmää hyödynnetään nykyisin melko usein uusien toimistorakennusten ilmanvaihdon jäähdytykseen kylmänä vuodenaikana. Tietokoneet, ihmiset, laitosjäähdytys ja muu konttoritekniikka tuottavat niin paljon lämpöä, että toimistoissa ja tehtaissa on usein jäähdytystarvetta, vaikka ulkoilma on alle 10 astetta. Tällainen vapaajäähdytysjärjestelmä käyttää alhaisempaa ympäristön lämpöä jäähdyttääkseen järjestelmän sisäistä vesi/glykoliseosta./6/

UPM Raflatac Oy:n prosesseissa tilanne on vapaajäähdytyksen kannalta erittäin otollinen, koska jäähdytystarvetta on jatkuvasti myös kylmänä vuodenaikana. Korvattava jäähdytysteho on koko tehtaalla jopa 500 kW, joten vapaajäähdytystä hyödyntäen on saatavissa huomattavia energiansäästöjä, jotka kohdistuvat erityisesti energiankulutukseltaan korkeimpaan talviaikaan. Alle 10 asteen lämpötiloja on lähes koko vuoden, myös kesäisinä, heinäkuuta lukuun ottamatta, joten potentiaalista vapaajäähdytysenergiaa on saatavilla prosessiin.

Tällä hetkellä UPM Raflatac Oy:n Tampereen tehtaalla päällystyskoneiden jäähdytysenergia tuotetaan koneellisesti, joka on yksistään kalliimpi kuin yhdistettynä vapaajäähdytykseen.

1.2 UPM Raflatac Oy

Tutkintotyön tilaaja on UPM Raflatac Oy, joka on perustettu vuonna 1903 nimellä Raf. Haarla. UPM Raflatac Oy muodostaa yhdeksän tuotantolaitoksen sekä lukuisten myyntikonttoreiden ja leikkuuterminaalien vahvuisen tarralaminaattia valmistavan ryhmän, joka on osa UPM -konsernia. /1/

Tampereen tehtaan lisäksi UPM Raflatac -konsernilla on tuotantolaitoksia Englannissa, Ranskassa, Etelä-Afrikassa, Malesiassa, Kiinassa, Australiassa ja Yhdysvalloissa. UPM Raflatac -konsernin leikkuuterminaali- ja myyntikonttoriverkosto kattaa lähes koko maailman./1/

UPM Raflatac-konserni on kasvanut nopeasti viime vuosina liikevaihdon ja henkilömäärän suhteen. Vuonna 2002 liikevaihto oli 740 miljoonaa euroa. Työntekijöitä UPM Raflatac -konsernilla on yli 2000./1/

Tampereella työskentelee noin 450 työntekijää, joista tuotannontekijöitä on noin 250. Tampereen tehtaan vuorokausituotanto on noin 2 milj. m² tarralaminaattia. Raaka-aineena käytettävän paperin määrässä tuotanto vastaa noin 300 paperitonnin kulutusta vuorokaudessa. Vuositasolla vastaavat luvut

Tampereen tehtaalla ovat noin 350 milj. m² tuotettua laminaattia sekä 52 000 tonnia raakapaperia./1/

UPM Raflatac-konsernin suurimpia asiakkaita ovat painotalot, jotka stanssaavat ja painavat laminaattirullista omille asiakkailleen sopivia tarroja.

Loppukäyttökohteita ovat muun muassa toimistokäyttö, elintarvike-etiketit, hintamerkinnot, itsepunnitusvaakojen etiketit, kosmetiikkateollisuuden etiketit, lääkketeollisuuden etiketit, juomateollisuuden etiketit ja teollisuuden merkintä-etiketit./1./ Kuvassa 1 on esitetty eri loppukäyttökohteita.



Kuva 1 Tarrojen käyttökohteita/3/

2. TYÖN KUVAUS

Tutkimus aloitettiin tekemällä ensin alustava jäähdytystarpeen mitoitus. Tämän jälkeen tutkittiin, mikä jäähdytystapa olisi paras; suora- vai välillinen jäähdytys. Seuraavaksi valittiin kohteeseen käyttötarkoitusta vastaavat laitteet ja niiden sijoituspaikat rakennuksessa, samalla laadittiin putkitus- ja sähkökaaviot. Lisäksi tarkistettiin tarvittavat viranomaisluvut. Viranomaislupien tarkastuksen jälkeen esitettiin laitesijoitusehdotukset kiinteistön omistajalle, haltijalle tai isännöitsijälle. Yleensä tarjous- ja hankintasopimus laaditaan ennen suunnittelun käynnistämistä. Joissakin kohteissa asiakas on saattanut teettää suunnitelman valmiiksi LVI- tai kylmäsuunnittelijalla. Suunnittelu kuuluu yleensä KV-projektin kokonaishintaan.

2.1 Jäähdytystarpeen mitoitus

UPM Raflatacin tehtaalla vapaajäähdytyksen hyödyntämistä jäähdytyksessä kannattaa harkita energiansäästön takia, koska myös kylminä vuoden aikoina UPM Raflatacin tehtaalla on jäähdytystarvetta.

2.2 Jäähdytystavan valinta

Ilmastoinnin jäähdytys voidaan periaatteessa toteuttaa kahdella eri tavalla: suoralla tai välillisellä jäähdytyksellä.

2.2.1 Suorajäähdytys

Suorassa järjestelmässä höyrystin jäähdyttää välittömästi ilmavirtaa. Höyrystin voi olla sijoitettuna joko keskitettyyn tuloilmakojeeseen tai erilliseen puhallinyksikköön, joka sijaitsee suoraan jäähdytettävässä tilassa.

Suorahöyrysteisen laitoksen etuna on korkea höyrystymislämpötila (5–8 °C), kun vastaavasti välillisessä jäähdytyksessä se on yleensä 2–3 °C. Tämän vuoksi kompressori- ja lauhdutinyksikkö eli kompressorilauhdutin on sähköteholtaan 10–20 % pienempi kuin esim. vastaava vedenjäähdytin./7/

2.2.2 Välillinen jäähdytys

Välillisessä järjestelmässä jäähdytetään lämpöä siirtävää nestettä tai liuosta (kylmäliuosta), usein vettä. Väliaine kiertää jäähdytyspatterissa, joka voi olla tuloilmakoneessa tai huonetilassa. Myös kattojäähdytys (jäähdytyspalkeilla tai –paneeleilla) on eräs välillisen jäähdytyksen järjestelmä. Välillinen jäähdytys on tyypillisesti suurten laitosten ratkaisu. Erityisen käyttökelpoinen se on ilmamääräsäätöisissä järjestelmissä./7/

2.2.3 Suoran ja välillisen jäähdytyksen vertailu

Suorajäähdytystä käytetään tavallisesti, kun

- kohteessa on vain 1-4 jäähdytettävää tilaa ja ne sijaitsevat lähellä toisiaan
- jäähdytysteho on alle noin 300 kW
- vettä tai liuosta ei voi käyttää esimerkiksi turvallisuussyistä
- halutaan mahdollisimman edullinen järjestelmä
- ilman tai nesteen virtaus höyrytimen läpi on lähes vakio
- järjestelmän säädölle ei aseteta suuria vaatimuksia/6/.

Suorajäähdytyksen etuja ovat seuraavat:

- höyrytymislämpötila on korkeampi kuin välillisessä järjestelmässä ja hyötysuhde on usein parempi
- koneiston teho vaikuttaa kohteessa heti höyrytymisen jälkeen
- varsinkin nesteputket ovat pieniä
- nesteputkia ei useinkaan tarvitse eristää
- höyrytimien sulatus on helppoa /6/.

Suorajäähdytyksen haittoina pidetään seuraavia asioita:

- kylmäainetäytös on välillistä suurempi
- kylmäaineen vuotoriski on välillistä suurempi
- putkiston asennus voi aiheuttaa vaikeuksia
- on huolehdittava öljyn palautumisesta tai poistamisesta /6/.

Välillistä jäähdytystä käytetään, kun

- jäähdytettäviä kohteita on useita
- tarvitaan tarkka lämpötilan säätö, esimerkiksi erilaisissa tutkimustiloissa
- kompressorin ja jäähdytyskohteiden välinen etäisyys tai korkeusero on suuri
- halutaan keskitetty jäähdytyskoneisto
- halutaan varautua järjestelmän laajentamiseen

- halutaan pieni kylmäainetäytös
- halutaan minimoida kylmäaineen vuotoriski
- kylmäainetta sisältäviä laitteita ei voida asentaa työ- tai tuotantotiloihin
- halutaan tasata kuormitushuippuja
- jäähdytettävän ilman tai nesteen virtaus vaihtelee
- varaudutaan laajennuksiin
- käytetään vapaajäähdytystä /6/.

Välillinen jäähdytys pystyy tasaamaan jonkin verran lyhytaikaisia kuormitushuippuja, koska putkiston ja siinä kiertävän veden tai liuoksen suuri massa varastoi lämpöä. Välillisessä kierrossa on mahdollista käyttää useampia lämmön talteenoton tai vapaan jäähdytyksen tapoja kuin suorassa jäähdytyksessä. Suorajäähdytyksen paikalla suoritettava putkiasennus lisää kylmäaineen vuotoriskejä. Välillisen järjestelmän selvä haitta on sen suurempi energiankulutus, mikä johtuu sen alemmasta höyrystymislämpötilasta. Ero on luokkaa 15–20 %. Jos vielä lauhdutuskkin on välillinen, lisääntyy kulutus 30–40 %. Myös välillisen järjestelmän hankintahinta on korkeampi.

Vaikka välillinen järjestelmä on hankintahinnalta kalliimpi kuin suorajäähdytys, helpoimmin vapaajäähdytys on hyödynnettävissä juuri välillisessä järjestelmässä.

2.3 Vapaajäähdytys prosessi

Ulkolämpötilan ollessa vuotuisen keskilämpötilan alapuolella saadaan kaikki jäähdytysteho vapaajäähdytyksestä. Vapaajäähdytyksen lisäinvestointi on yleensä kylmän tuotossa 10 % kalliimpi kuin ilman koneellinen jäähdytys. Lisäinvestointi kuitenkin maksaa itsensä takaisin n. 1–3 vuodessa.

Vapaajäähdytyksen etuna verrattuna koneelliseen jäähdytykseen on pienempi jäähdytyskompressorien energian kulutus eli sähkön kulutus.

Vapaajäähdytys on käyttökelpoinen silloin, kun jäähdytystarve on ympärivuotinen ja jäähdytetään muuta kuin tuloilmaa.

Vapaajäähdytyksessä jäähdytysvesi jäähdytetään kylmällä ulkoilmalla kompressorin sijaan. Menetelmää käytetään joko ulko- tai sisäasentoisella vedenjäähdyttimellä. Jäähdytystä voidaan täydentää kytkemällä sen rinnalle kompressorikylmälaitos. Vapaajäähdytyksellä tuotettu energia Q_{fc} (Wh) ajanjakson Δt aikana lasketaan kaavalla 1./5/

$$Q_{fc} = \phi_{fc} \Delta t, \quad (1)$$

missä ϕ_{fc} on vapaajäähdytyksen kylmäteho, W.

Vapaajäähdytyksen kylmäteho riippuu järjestelmässä vallitsevista lämpötilatasoista sekä laitteistossa olevien lämmönsiirtimien mitoituksesta.

Vapaajäähdytyksen keskeinen elementti on kiertonestepiiri, missä on kaksi lämmönsiirintä sekä niitä yhdistävä nesteputkisto, (kuva 2).

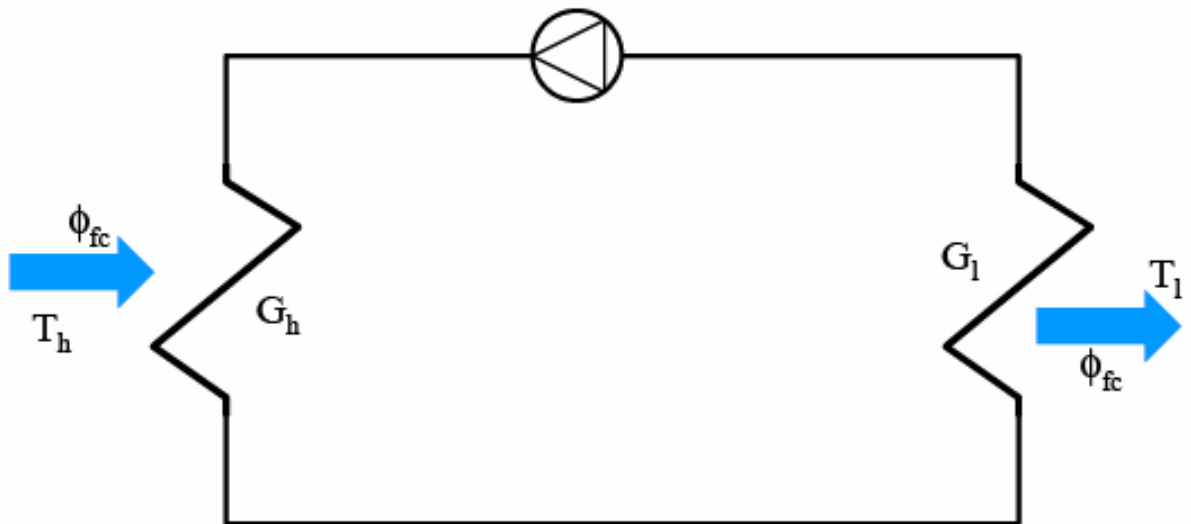
Lämpö siirtyy lämmönsiirtimien ja kiertonesteen välityksellä rakennuksen sisällä olevasta korkeammasta lämpötilasta T_h rakennuksen ulkopuolella olevaan matalampaan lämpötilaan T_l . Vapaajäähdytyksestä saatava kylmäteho ϕ_{fc} saadaan laskettua kaavalla:/5/

$$\phi_{fc} = \frac{T_h - T_l}{\frac{1}{G_h} + \frac{1}{G_l}}, \quad (2)$$

missä G_h ja G_l ovat järjestelmässä toimivien lämmönsiirtimien konduktanssit, W/K.

Jos toisen siirtimen, esim. G_h , tilalla on varastosäiliössä tapahtuva avoin

nestekierto, $G_h = \infty$ ja kaavassa (2) oleva termi $\frac{1}{G_h} = 0$.



Kuva 2 Vapaajähdytyksen kiertonestepiiri/5/

Vapaajähdytys toimii siis vain, kun ehto $T_h > T_1$ on voimassa. Mitä suuremmat lämpötilaerot ja konduktanssit (tehokkaammat lämmönsiirtimet) ovat, sitä enemmän tehoa vapaajähdytyksestä on mahdollista saada. Lämmönsiirtimen konduktanssi G (W/K) on siirtimen pintojen molemmilla puolilla virtaavien veden/ilman välisen U -arvon ja lämmönsiirtopinta-alan tulo. Se voidaan myös määrittää valmistajan ilmoittamien siirtimen suoritusarvojen perusteella jakamalla tietyssä toimintapisteessä saatava teho vastaavalla, siirtimen yli vaikuttavalla lämpötilaerolla kaavasta: /5/

$$G = \frac{\phi}{T_{1m} - T_{2m}}, \quad (3)$$

missä ϕ = siirtimen teho kyseisessä toimintapisteessä, W.

T_{1m} , T_{2m} = veden/ilman keskilämpötila siirtimen eri puolilla, °C.

Vapaaäähditys käyttää energiaa pääasiassa kiertonesteen pumppaukseen sekä nesteenjäähdytysyksiköissä tai jäähdytystorneissa tarvittavaan puhallinenergiaan./5/

3 TOIMINTAPERIAATE

Järjestelmän tehtävänä on jäähdytysvesiverkoston vedenjäähdytys. Laitteiston käyntiä valvoo aika- ja tapahtumaohjelma. Järjestelmällä on kaksi käyttötilaa: kompressorikäyttö ja vapaaäähdityskäyttö. Vaihto vapaa- ja kompressorijäähdytyksen välillä tapahtuu ulkoilman lämpötila mukaan. Tässä tapauksessa halutaan, että lämpötilan laskiessa alle +10 °C järjestelmä ohjautuu vapaaäähdityskäytölle. Ulkolämpötilan noustessa yli +12 °C järjestelmän tarvitsee ohjautua kompressorikäytölle.

3.1 Kompressorikäyttö

Kun kompressorikäyttö on valittuna, jakoventtiilien on oltava auki vedenjäähdytyskoneelle. Kompressorin käynnistyessä vedenjäähdytyskone ja keskipakopumput lähtevät päälle. Nestejäähdyttimien venttiilit ohjataan kiinni ja kompressoripuolen venttiilit auki. Samalla taajuusmuuttaja ohjaa pumppua sille asetetulle kierrosluvulle. Tällöin vedenjäähdytyskoje saa käyntiluvan ja kojeen sisäinen automatiikka alkaa nostaa hallitusti kojeen tehoa.

Verkoston yli vaikuttava paine-ero pidetään siinä arvossa, mikä sille on asetettu. Sääto ohjaa pumpun nopeutta taajuusmuuttajalla. Kompressorin katsotaan käynnistyneeksi, kun lämpötila saavuttaa sen arvon, mikä sille on asetettu.

Kompressorin käydessä kojeen sisäinen automatiikka pitää tasaussäiliöön menevän veden lämpötilan halutussa asetusarvossaan. Pumpun nopeus määräytyy ulkolämpötilan perusteella. Nestejäähdyttimiltä palaavan nesteen lämpötila pidetään asetusarvossaan. Asetusarvo määräytyy myös ulkolämpötilan mukaan.

3.2 Vapaajäähdytyskäyttö

Vapaajäähdytyskäytön ollessa valittuna ovat jakoventtiilit auki lämmönsiirtimelle. Vapaajäähdytyksen käynnistyessä nestejäähdyttimien venttiili ohjataan kiinni. Taajuusmuuttaja ohjaa pumppua asetetulle kierrosluvulle. Sääto alkaa ohjata nestejäähdyttimen venttiiliä pyrkien laskemaan nestejäähdyttimeltä palaavan veden lämpötilan rajoitussäätimen määrittämään asetusarvoon.

Verkoston yli vaikuttava paine-ero pyritään pitämään asetusarvossaan. Sääto ohjaa pumpun nopeutta taajuusmuuttajalla. Vapaajäähdytyksen katsotaan käynnistyneeksi, kun lämpötila on laskenut asetettuun arvoon.

Vapaajäähdytys siirtimeltä palaavan veden lämpötila pidetään sille asetetussa arvossaan. Rajoitussääto estää nestejäähdyttimeltä palaavan veden lämpötilaa alittamasta tätä kyseistä arvoa.

Sisäyksiköiltä palaava jäähdytysvesi ohjataan 3-tieventtiilin kautta suoraan höyrystimelle, jossa se jäähtyy mitoituksen mukaiseen lämpötilaan.

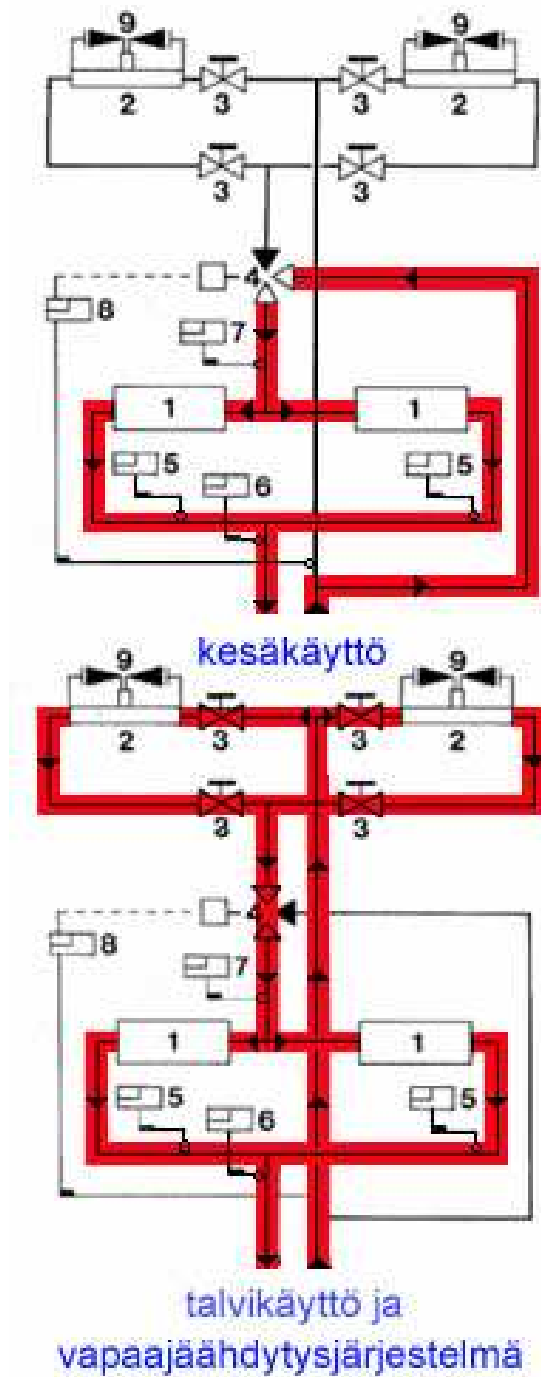
Talvikäytössä sisäyksiköiltä palaava jäähdytysvesi kulkee elektronisesti ohjatun 3-tieventtiilin kautta vapaajäähdytysyksikölle ja edelleen höyrystimelle.

3-tieventtiilin elektroninen ohjaus toimii palaavan jäähdytysveden ja ympäröivän ilman lämpötilan muuttuessa niin, että se avautuu ympäröivän lämpötilan laskiessa 5 astetta alle palaavan jäähdytysveden lämpötilan.

Lauhdutinpuhaltimet käynnistyvät lähtevän jäähdytysveden syötölle asetetun termostaatin ohjaamana, asetusarvonaan jäähdytyksen nimellisteho.

Kahden kompressorin koneikossa käynnistysjärjestystä ohjataan lauhdutinpressostaatilla.

Vapaajäähdytyspiiriä ohjataan myös ympäristön maksimi-lämpötilan mukaan.



Kuva 3 Vapaajäähdytysjärjestelmän periaatekuva. /2/

4 TYÖN KULKU

Ilmastoinnin jäähdytystä varten asennetaan erillinen ilmalauhdutteinen jäähdytinkone jäähdyttämään pakkasnestettä ilmastointikojeen pattereille sekä palkkijärjestelmän levylämmönvaihtimelle. Jäähdytysjärjestelmä käsittää jäähdytyskoneen sekä siinä olevan pumpun, paisunta-astian, varoventtiilin, virtauskytkimen ja sulkuventtiilit.

4.1 Työn jako urakoihin

Tämänkaltaisia uudistuksia tai muutostöitä tehtäessä työt pitää jakaa ensin omiin urakoihin. LVI-työt jaetaan kolmeen erilaiseen urakkaan: putket, ilmastointi ja automaatio. Urakoitsijoiden on sitouduttava noudattamaan eri viranomaisten ja julkisten laitosten määräyksiä ja sääntöjä. Urakoitsijoiden on myös huolehdittava, että tarkastukset viranomaisten taholta suoritetaan aikanaan.

Automaatiourakkaan kuuluvat

- järjestelmän ohjaus
- valvonta
- hälytyksen hoitaminen.

Putkiurakoitsija toimitukseen kuuluvat

- pakkasneste putkisto-osineen
- varaussäiliö
- täyttöryhmä
- pakkasnesteen sekoitusastia.

Ilmastointiurakkaan kuuluu

- ilmastointilaitteet
- ilmastoinnin lämmöntalteenottolaitteet
- vedenjäähdytyskone nestejäähdyttimiseen
- puhaltimien taajuusmuuttajat

- virtaussäätimet säätölaitteineen
- ilmastointikanavien eristykset.

4.2 Asennus

Urakoitsija asentaa kaikki hankkimansa koneet ja laitteet, joissa on pyöriä, osittain toimivia tai muuten runkoääntä synnyttäviä osia, hankkimansa tärinäeristimen varaan tai niille tehdyille alustoille. LVI-asennukset eivät saa heikentää rakenteiden äänieristävyyttä.

Koneiden rakenne ja varusteet on oltava sellaisia, että ne täyttävät Suomen lakien ja asetusten mukaiset vaatimukset. Tärinäeristimet sijoitetaan niin, että laitteiden putket ovat joustavilla liitoksilla, koska laitteiden ja rakennusrunkojen välillä ei saa olla mitään jäykän väliaineen kautta tapahtuvaa kosketusta. Rakenteen on lujutensa ja korroosionkestävyytensä osalta vastattava käyttötarkoitusta. Ulkoilmaan asennettavien koneistojen on korroosionkestävyydeltään, mekaaniselta lujudeltaan ja suojaus-luokaltaan vastattava paikkakunnan ilmasto-olosuhteiden vaatimuksia. Koneistojen esitteistä on ilmentävä tehoarvot eri olosuhteissa.

4.2.1 Jäähdytysvesi- ja liuosputkistot

Ilmastointiurakoitsija hankkii ilmastointilaitoksen vaatiman nestelauhdutteen vedenjäähdytyskoneen ja nestejäähdyttimen.

Putkiurakoitsijan tulee hoitaa

- jäähdytysvesiputkisto täyttöineen ja kiertopumppuineen
- kalvopaisunta-astiat, varoventtiilit, pumppujen värinävaimentimet ja joustavat liittimet
- paine- ja lämpömittarit, ilmanpoistimet ja tyhjennysventtiilit
- säätöventtiilien ja anturien asennus putkistoon
- jäähdytysvesisäiliö

- tuloilmakoneiden jäähdytyspattereiden, jäähdytyspalkkien ja puhallinvektoreiden kytkeminen jäähdytysvesiverkostoon.

Jäähdytysvesipumput ovat kaikki keskipakopumppuja, jotka asennetaan verkostoon joustavilla liittimillä. Pumppujen tarvitsee olla samaa merkkiä kuin lämpöjohtopumppujen. Pumppujen tuottoa täytyy voida lisätä juoksupyörää vaihtamalla. Jos pumppu on jalallinen, on sille tehtävä valamalla jalusta, jonka massa on oltava kaksi kertaa enemmän kuin jalustalle tulevien pumppujen massa. Alustan alle on laitettava värinän vaimennuskumit.

Jäähdytysvesiverkostoon asennetaan pystymallinen teräslevystä valmistettu kuumasinkitty 500 l taseuslevyllä varustettu jäähdytysvesisäiliö. Säiliö varustetaan automaattisella ilmanpoistolla ja tyhjennyshanalla sekä miesluukulla.

Liuosputkien materiaali on haponkestävä teräs (AISI 316, s=2mm). Kaikkien liuoksen kanssa tekemisiin joutuvien putkistojen tulisi olla ruostumatonta terästä.

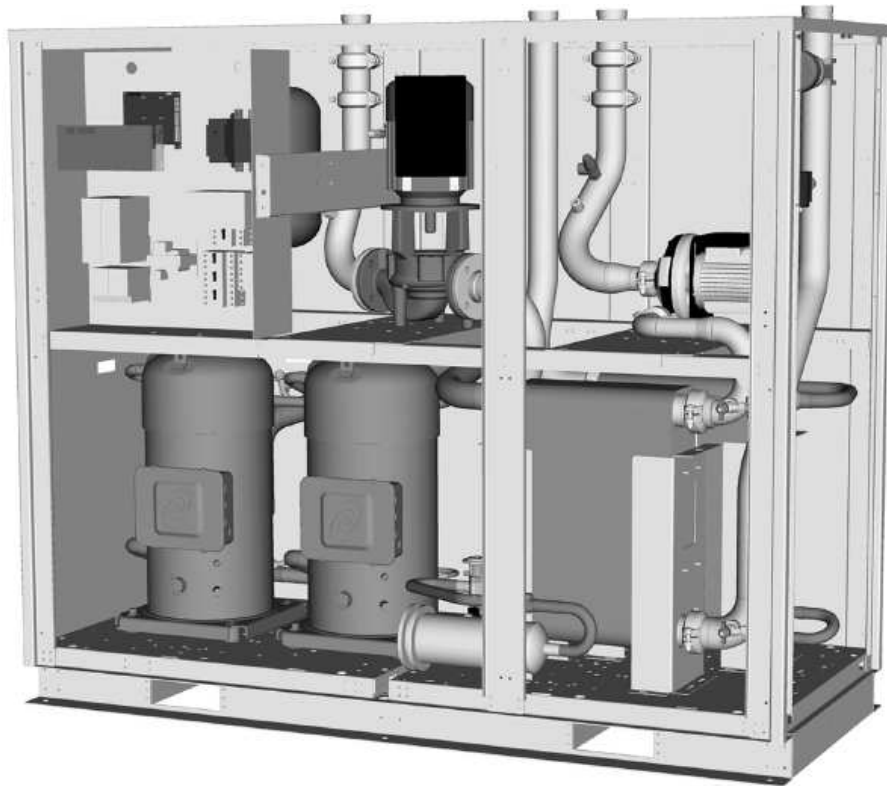
Varoventtiilit, sulkuventtiilit, kalvopaisunta-astiat, tyhjennyshanat, lämpömittari, painemittarit ja muut vastaavat laitteet tulee olla saman merkkisiä, kuin mitä lämpöjohtoihinkin laitetaan. Laitteistolle on tehtävä koeponnistus ennen käyttöönottoa, jotta nähdään, että kaikki on kunnossa.

5. VÄLILLISEN JÄÄHDYTYKSEN KONEIKOT

5.1 Vedenjäähdytyskone

Vedenjäähdytyskone(kuva 4) on liuoslauhdutteinen, missä kylmäaineena kiertää R 407 C. Kone toimitetaan täydellisenä pakettina, johon kuuluu

- puolihhermeettinen mäntäkompressori
- neljä tehoporrasta
- höyrystin
- täydellinen säätöjärjestelmä sisäisine kytkentöineen
- ryhmä- ja ohjauskeskuksella.



Kuva 4 Vedenjäähdytin. /4/

Koneikossa on oltava täydelliset ryhmä- ja ohjauskeskukset ja niihin on sisällyttävä kaikki tarvittavat kytkimet, suojat, mittarit, releet ym. Toimitukseen kuuluu myös kilpi, jossa on konetunnukset ja merkinnät. /4/

Kompressorin moottorien täytyy olla kylmäainejäähdytetty ja painevoideltu. Jäähdytyskoneikossa on mahdollisimman vähän sallittua R 407C kylmäainetta. Kylmäaineen määrästä ja laadusta on urakoitsijan annettava kirjallinen lausunto, joka liitetään käyttö- ja huolto-ohjeisiin. /4/

Jäähdytyskoneen valmistajan on hyvä olla tunnettu, vakavarainen ja varma toimittaja, jotta varaosatoimitukset varmistetaan vähintään laitteiston suunnitellun kestoajan ajaksi. Toimittajalta edellytetään organisoitua huolto-toimintaa.

Kylmäkoneiston säätöjärjestelmän tulee olla automaattisesti toimiva. Höyrystimestä lähtevän veden lämpötilan on pysyttävä lähes vakiona.

Kojeistossa on oltava tähti/kolmio tai osakäämikäynnistys. Käynnistyksen pitää tapahtua pienimmän mahdollisen osatehon kautta. /4/

Kylmäkoneiston säätöjärjestelmän varolaitteet pysäyttävät koneiston aina, kun

- moottorien käämien lämpötila on liian korkea
- lauhdutinpaine on liian korkea
- kylmäaineen lämpötila on liian matala
- jäähdytettävän nesteen lämpötila on liian matala tai
- jäähdytysnesteen virtaus on pysähtynyt

Kylmäkoneisto käynnistetään ja pysäytetään valvomosta. Koneiston ohjauspaneelissa on oltava käynti- ja häiriömerkkilamput. Koneiston ohjauspaneeliin tulee kuulua myös kaikkien laitteistoon liittyvien sähköisten kojeiden käynnistyslaitteet apureleineen, tarvittavine käyttökytkimineen, merkkilamppuineen ja käyttötuntimittareineen.

5.2 Nestejäähdytin



Kuva 5 Nestejäähdytin. /4/

Nestejäähdyttimen(kuva 5) lämmönsiirto-osa on kupariputkea ja lamellit poimutettua alumiinia.

Puhaltimet ovat suoraan moottoreihin kytkettyjä staattisesti ja dynaamisesti tasapainotettuja aksiaalipuhaltimia, jotka on valmistettu ulkokäyttöön. Melutaso ei saa olla yli 60 dB:ä, mitattaessa 10 m etäisyydeltä ilmalauhduttimesta. Nestejäähdyttimen runkorakenteiden täytyy olla joko ruostumattomia tai sitten tehokkaasti suojattua rakennetta, koska laite on ulkoilmassa. Suojaukseen voidaan käyttää joko kuumasinkitystä tai muovitusta. Koneen puhaltimien ohjauksen suorittaa vedenjäähdytyskoneen automatiikka.

6 JÄRJESTELMÄN TARKASTUKSET JA KÄYTTÖÖNOTTO

6.1 Tiivistyskokeet

Ilmanvaihtokanavien tiiviyden toteamiseksi on suoritettava painekoe rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Samalla todetaan kanavien vuotoilmamäärät. Mikäli mittaustulokset poikkeavat sallituista arvoista tai on syytä epäillä poikkeuksellista jakautumista, on suoritettava lisäksi savukoe.

6.2 Säädot ja mittaukset

Ilmavirtojen mittauspisteet on sijoitettava kanavistoon noudattaen ilmanvaihtolaitosten ilmavirtojen tarkastusohjeita (Rakennushallitus 1978). Ennen lopputarkastusta ilmastointiurakoitsijan tulee luovuttaa ilmamäärien sekä äänitasojen mittauspöytäkirjat. Mittaustuloksista täytyy löytyä venttiilien ja säätöpeltien säätöasennot sekä painehäviöt. Kahdella moottorilla varustetut kojeet säädetään molemmilla moottorikäyttöillä.

7 KÄYTTÖ- JA KUNNOSSAPITOOHJEET

Jäähdytyskone tarvitsee laitoksen koon ja tyyppin edellyttämää valvontaa ja huoltoa. Käyttöhenkilökuntaa tulee riittävästi opastaa ja tiedottaa laitokseen sisältyvistä laitteista ja niiden toiminnasta. /4/

Ennen jäähdytyskoneen käyttöönottoa, toimittajan tai asennusliikkeen tulee antaa käyttöhenkilökunnalle tarvittavat tiedot laitokseen sisältyvistä laitteista ja niiden toiminnasta sekä painottaa käyttöohjeiden noudattamista./4/

Käyttäjää tulee varoittaa terveyttä vaarantavista myrkyllisistä kaasuista, joita voi syntyä määrättyjen kylmäaineiden hajoamistuloksena tupakoinnin, hitsauksen tai muun avotulen aiheuttamina. /4/

Jäähdytyskoneen toimittajan on huolehdittava siitä, että käyttöhenkilökunta saa riittävästi koulutusta huolehtimaan koneikon käytöstä ja mekaanisesta huollosta.

Koneikon mukana on toimitettava suomenkielinen käyttäjän käsikirja, josta käy ilmi huollon tarve ja oikea käyttötapa.

Käyttöohjeiden tulee sisältää muun muassa seuraavat tiedot:

- toimittajan ja/tai asennusliikkeen nimi
- osoite ja puhelinnumero
- huoltoliikkeen nimi, osoite ja puhelinnumero
- kylmäaineen nimi ja kylmäainetäytöksen normaali täyttömäärä
- lyhyt ohje laitoksen tai yksikön käynnistämistä ja pysäyttämistä varten
- suurin käyttöpaine
- jätelain mukaisen varoituksen sekä ohjeen vuosihuollosta
- varoitus väärän kylmäaineen käyttämisestä
- varoitus veden jäätymisestä höyrystimessä
- huomautus suojalaitteiden käyttämisestä
- ensiapu-ohjeet henkilövahingon sattuessa
- varoitus painemittarin virheellisestä osoituksesta (uusintatarkastus vaadittava, jos paine on noussut epänormaalin korkeaksi)
- varoitus, että iv -konehuoneessa ei saa säilyttää irtoastioissa kylmäainetta enempää kuin 20 % kylmäainetäytöksestä, ei kuitenkaan yli 100 kg /4/.

Asennusliikkeen tulee kylmälaitoksen mukana toimittaa tilaajalle yksi tai useampi kappale käyttäjän käsikirjoja, joiden tulee aina olla saatavilla.

Käyttäjän käsikirjan tulee sisältää vähintään seuraavaa:

- tarkemmat selvitykset käyttöohjeissa mainituista tiedoista
- selvitys laitoksen käyttötarkoituksesta, toiminnan kuvaus
- selvitys koneista ja laitteista putki- ja sähkökaavioin tarkka selvitys laitoksen käynnistämisestä ja pysäyttämistä
- selvitys käyttöhäiriöistä, niiden syistä ja korjauksista
- selvitys huoltotoimenpiteistä, mieluummin huoltosuunnitelma
- ensiapuohjeet henkilövahinkojen sattuessa
- huomautus siitä, että kylmäainetta ei saa vaihtaa toiseen ilman etukäteen saatua hyväksymistä asianomaisilta viranomaisilta, käyttäjältä, toimittajalta tai asennusliikkeeltä /4/

7.1 Takuuajan huolto

Urakkaan kuuluu jäähdytysjärjestelmän takuuajan huolto, huoltosuunnitelman mukaisesti./4/

Huoltokäynnin yhteydessä takuun puitteissa uusittavat osat ja tarveaineet sisältyvät huoltoon, mutta eivät kulutustarvikkeet ja -aineet./4/

Tilaaajan edellytetään mahdollisimman pikaisesti ilmoittavan havaitsemistaan toimintahäiriöistä ja suuremman vian tai toimintahäiriön sattuessa myötävaikuttamaan toimenpiteillään vahinkojen rajoittamiseksi mahdollisimman pieniksi./4/

Mikäli laitoksessa ilmenee takuun piiriin luettavia vikoja, jotka edellyttävät käyntiä huoltokäyntien välillä, kuuluvat nämä välikäynnit takuuseen.

Jokaisesta huoltokäynnistä on saatava laitoksen vastuunalaisen hoitajan kuittaus sekä osoitettava toimenpiteet, jotka on tehty ja jätettävä kirjallinen selostus rakennuttajalle./4/

Huoltokäynnin yhteydessä on suoritettava yleiskatselmus ja tutkittava, että laitosta käytetään tarkoituksenmukaisesti sekä oikaistava mahdolliset virheet./4/

Jos laitosta käytetään ympäri vuoden, huolto suoritetaan kaksi kertaa vuodessa. Kesäkäyttöiset laitokset huolletaan jäähdytyskauden alettua./4/

Viimeinen huoltokäynti takuuajana on suoritettava korkeintaan kuusi (6) viikkoa ennen takuuajan päättymistä./4/

8 ENERGIAKULUTUKSEN LASKENTA JA TULOKSET

Energiakulutuksen seuranta on lähtökohta tarkoituksen mukaiselle energian käytölle. Lämmitystarveluvun avulla voidaan verrata saman rakennuksen eri kuukausien tai vuosien lämmitysenergiankulutusta.

Tässä laskennassa normitukseen käytettävä vertailukausi perustuu vuosien 1971–2000 lämmitystarvelukuihin.

Laskentaan on käytetty Carrier 30RW teknisiin tietoihin perustuvia arvoja, missä
jäähdytysteho = 113 kW

Vesivirta = 5.35 l/s

Veden lämmittämiseen kuluva energia lasketaan seuraavasti:

$$Q = \frac{\rho * c_p * V(t_2 - t_1)}{3600},$$

Missä

Q = veden lämmittämiseen kuluva energia

ρ = veden tiheys (1000 kg/m³)

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)

V = vedenkulutus (144219m³)

T₂ = lämmitetyn veden lämpötila (55°C)

T₁ = lämmitettävän veden lämpötila (5°C)

3600 = yksikkömuunnoskerroin (kJ->kWh)

Tästä saadaan:

$$Q = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 * 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 144219 \text{ m}^3 (55^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})}{3600}$$

$$Q = 8412775 \text{ kWh}$$

Lämpimän käyttöveden osuus on noin 35% kokonaislämmitysenergiatarpeesta.

Tällöin:

$$Q_{\text{lämminkäyttövesi}} = 0.35 * 8412775 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{lämminkäyttövesi}} = 2944471.25 \text{ kWh}$$

Lämmitystarveluku vuonna 2004 oli 4283.

Kun verrataan saman rakennuksen energiankulutusta eri ajankohtina, rakennuksen normitettu vuosikulutus Q_{norm} saadaan kaavasta 4:

$$Q_{\text{norm}} = \frac{S_{\text{Nyvpkunta}}}{S_{\text{toteutunutvpkunta}}} * Q_{\text{toteunut}} + Q_{\text{läm min käyttövesi}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{norm}} = \frac{4502}{4283} * (8412.775 - 2944.471) + 2944.471$$

$$Q_{\text{norm}} = 8691.91 \text{ MWh}$$

Tästä selviää, että vuosikulutus $Q_{\text{norm}} = 8691.91 \text{ MWh/vuodessa}$. Kun tiedetään rakennuksen tilavuus, pystytään laskemaan rakennuksen ominaiskulutus (lämpöindeksi). Q_{norm} jaetaan rakennuksen tilavuudella = kWh/m^3 .

9 YHTEENVETO

Vapaaäähdytyksen käyttö on yleistynyt laajalti viime vuosina erilaisissa uusissa ja uudistettavissa kohteissa. Järjestelmää hyödynnetään uusien toimistorakennusten ilmanvaihdon jäähdytykseen kylmänä vuodenaikana. Laitosjäähdytys ja muu konttoritekniikka tuottavat niin paljon lämpöä, että toimistoissa ja tehtaissa on usein jäähdytystarvetta, vaikka ulkoilman lämpötila on alle 10 astetta.

Työn tavoitteena oli tutkia ja löytää UPM Raflatacin Tampereen tehtaalle sopiva jäähdytysjärjestelmä vapaaäähdytyksellä. Vapaaäähdytyksen tarkoitus on saada jäähdytettävä ilma suoraan ulkoilmasta ilman, että se tuotettaisiin koneellisesti.

Työssä on vertailtu suoran ja välillisen jäähdytyksen eroavaisuuksia ja näistä on valittu välillinen jäähdytys paremmin hyödynnettäväksi vapaaäähdytykseen.

Valinnan jälkeen työssä on kerrottu vapaaäähdytysprosessin toimintaperiaatteesta. Työssä on kerrottu vedenjäähdytyskoneen ja nestejäähdyttimen toimintaperiaatteet sekä käyttö- ja huolto- ohjeet.

LÄHTEET

1. UPM Raflatac Oy [intranet] [Luettu 13.12.2005] Sisäiseen käyttöön
2. Kylmälinkki Oy [www-sivu] [Luettu 10.12.2005] Saatavissa:
<http://www.kylmalinkki.fi/vapaa.htm>
3. UPM Raflatac Oy [www-sivu] [Luettu XX.XX.2006] Saatavissa:
<http://www.UPM Raflatac.com>
4. Carrier Oy [www-sivu] [Luettu 12.5.2006] Saatavissa:
<http://www.carrier.fi>
5. Motiva[www-sivu] [Luettu 9.9.2006] Saatavissa:
<http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/59bca8119fdc142ef44505a106dfcc00/Tiedosto+1+D5+18+25052005.pdf#search=%22prosessin%20vapaaaj%C3%A4%C3%A4hdytys%22>
6. Hakala, Pentti – Kaappola, Esko
Kylmälaitoksen suunnittelu 1. painos,
Opetushallitus, 2005.
268 sivua
7. Aittomäki, Antero – Alijoki, – Eerikäinen, Tapio Jussi – Hakala, Pertti –
Kaappola, Esko – Lahdenperä, Heikki – Rauno, Ossi – Seinelä Altti
Kylmäteknikka
Gummerrus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1992.
420 sivua