

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Mediatekniikka

Markus Nousiainen

Digitaalipainon ilmankosteus

Insinööriyö 26.3.2009

Ohjaaja: kehitysvastaava Hannu Hyvönen
Ohjaava opettaja: lehtori Merja Nieppola

Metropolia Ammattikorkeakoulu Insinööriyön tiivistelmä

Tekijä Otsikko	Markus Nousiainen Digitaalipainon ilmankosteus
Sivumäärä Aika	41 sivua 22.4.2009
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	kehitysvastaava Hannu Hyvönen lehtori Merja Nieppola
<p>Insinööriyössä selvitettiin suhteelliseen ilmankosteuteen liittyviä käsitteitä, ongelmia ja mahdollisia ratkaisuja pienen digitaalipainon kannalta. Tavoitteena oli selvittää, kuinka suuri ongelma liian kuiva huoneilma on painolle ja millä menetelmillä ongelmia voidaan vähentää.</p> <p>Kirjallisuuslähteistä selvitettiin ilmankosteuden peruskäsitteitä ja sitä, minkälaisia vaikutuksia erilaisilla kosteusolosuhteilla on painossa käytettäviin papereihin ja koneisiin. Haastatteleamalla kostutusalan asiantuntijoita selvitettiin, millaisia laitteita ja tekniikoita kosteuden lisäämiseen on tarjolla. Suomessa on talvisin liian kuivat ilmasto-olosuhteet painon kannalta. Papereiden säilytys väärissä kosteusolosuhteissa aiheuttaa papereiden käyristymistä ja rypistymistä. Myös muutokset sähkönsäilytys-ominaisuuksissa aiheuttavat ongelmia painoille. Tekniikoita kosteuden lisäämiseen on useita. Niistä tärkeimpiä ovat korkeapaine (veden paineistus), alipaine (paineilma), haihdutus ja höyrystäminen.</p> <p>Ilmankosteusmittarilla mitattiin ilman suhteellinen ja absoluuttinen kosteus, lämpötila ja kastepistelämpötila, jossa ilmassa oleva kosteus alkaa tiivistyä kasteeksi. Mittauksia suoritettiin kahdessa pisteessä painon alueella ja kahdessa muussa pisteessä rakennuksen sisällä sekä referenssiksi rakennuksen ulkopuolella. Mittausten tarkoituksena oli selvittää, kuinka tasaisesti kosteus on levittäytynyt rakennuksen sisällä ja millaisissa sääolosuhteissa kosteus on liian alhainen. Tulosten perusteella voitiin arvioida, kuinka pitkä kostutusta vaativa kausi on Suomen olosuhteissa. Kosteusolosuhteet olivat tasaiset sisätiloissa lukuun ottamatta terminaalia. Mittausten perusteella voitiin arvioida, että kostutusta tarvitaan ulkolämpötilan laskiessa alle 10 °C:seen.</p> <p>Mittausten tulosten ja ilmatieteenlaitokselta saatujen keskiarvojen perusteella arvioitiin, että kostutusta tarvitaan lokakuulta huhti-toukokuulle saakka. Lisäksi digitaalipaino kannattaa eristää selkeämmin muusta tilasta. Paras tekniikka kostutuksen toteuttamiselle olisi höyryyn perustuva järjestelmä.</p> <p>Papereiden käsittelyä varten tehtiin ohjeistus, jonka mukaan ne tulisi säilyttää kostutetulla alueella ja mikäli tämä ei ole mahdollista, mahdollisimman tiiviisti pakattuina.</p>	
Hakusanat	ilmankosteus, kostutus, digitaalipaino, kostutusjärjestelmä

Author Title	Markus Nousiainen Humidity in digital press
Number of Pages Date	41 22 April 2009
Degree Programme	Media Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Hannu Hyvönen, Development correspondent Merja Nieppola, Lecturer
<p>This Bachelor's Thesis studied concepts and terms related to air humidification of a small digital press. The purpose was to find out if dry air imposes a serious problem for digital press and solutions to prevent problems.</p> <p>Literary sources were used to define the basic concepts of air humidity and to find out the effects that different humidity conditions have on papers and machines in a digital press. By interviewing industrial humidification professionals, different methods for solving the problems were discovered. In Finland at winter times air humidity is too low for printing. If papers are stored in wrong humidity conditions, it causes them to curve and crinkle. Also, changes in conductivity are causing problems for digital presses. The most important technologies to prevent dry air are high pressure (pressurized water), underpressure (air pressure), evaporation and vaporization.</p> <p>Humidity meter was used to measure relative and absolute humidity, temperature and dew point in which the water vapor content of air starts to condense in to liquid. Measurements were done in two different locations in press area and two other locations inside the building and for reference in one point outside. The purpose of the measurements was to find out how evenly humidity is spread in the building, and in which kind of weather conditions the humidity is too low. The results indicated, that humidity was evenly spread through out the whole building except the terminal. Measurements showed that humidification is needed when outside temperature falls below 10 °C.</p> <p>The estimation is that humidification is needed from October till April or May. Also, the digital press should be better isolated from the rest of the building. The best method for humidification would be Vaporization based technology.</p> <p>Instructions for paper handling were also made. Papers should be stored in an area with extra humidification and if that is not possible they should be packed tight.</p>	
Keywords	humidity, humidification, digital printing, air humidification system

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	5
2 Ilmankosteus	7
2.1 Käsitteet	7
2.2 Ilmankosteuden vaikutukset paperiin	10
3 Ilmankostutuslaitteet	15
4 Ilmankostutuksen haasteet Menox Palvelut Oy:ssä	20
4.1 Tilat ja mittaukset	20
4.2 Mittausten tulokset	25
4.3 Suositukset kostutusongelmiin	30
5 Yhteenveto	36
Lähteet	38
Liitteet	
Liite 1. Kosteusmittausten tulokset	39
Liite 2. Laskelmia kostutustarpeesta	41

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on kartoittaa Menox Palvelut Oy:n digitaalipainon ilmankostutustarvetta ja tarpeen vaatiessa etsiä mahdollisia ratkaisuja sen toteuttamiseen. Menoxissa tiedetään ilman olevan liian kuivaa talven kylmimpinä aikoina, koska painossa käytettävien laitteiden edustajat ovat asiasta valittaneet yrittäessään saada edustamansa laitteet toimimaan halutulla tavalla. Se ei kuitenkaan ole täysin selvillä, kuinka pitkä liian kuiva kausi talvella on, eikä sekään, minkälaisia ongelmia liian kuiva ilma saattaa aiheuttaa.

Työ on tarkoitus toteuttaa suorittamalla ilmankosteusmittauksia Menoxin tiloissa. Niiden perusteella kartoitetaan kostutustarvetta. Kirjallisuuslähteistä etsitään tietoa ilmankosteuden vaikutuksista painon toimintaan ja liian kuivan ilman aiheuttamista ongelmista. Ilmankostutusalan ammattilaisia haastatteleamalla pyritään selvittämään Menoxin digitaalipainoon parhaiten soveltuva kostutusmenetelmä. Tavoitteena on myös selvittää, tarvitseeko tiloihin tehdä rakenteellisia muutoksia kosteuden leviämisen rajaamiseksi.

Suomessa talviaikaan ulkolämpötilan laskiessa reilusti alle normaalin sisäilman lämpötilan ilmaan sekoittuneen veden määrä on huomattavasti pienempi kuin kesäisin ilman ollessa lämpimämpää. Lämpimään ilmaan on mahdollista sekoittua enemmän höyrystynyttä vettä kuin kylmään, ennen kuin se alkaa tiivistyä nesteeksi. Kylmässä ilmassa hengityksen ”höyryämiseksi” kutsuttu ilmiö johtuu siitä, että osa lämpimän hengitysilman vesisisällöstä tiivistyy nesteeksi jäähtyessään. Kun vähemmän vettä sisältävää ulkoilmaa tuodaan sisätiloihin ja lämmitetään, sen suhteellinen kosteus laskee. Suhteellisella ilmankosteudella tarkoitetaan ilmaan höyrystyneen vesimäärän suhdetta siihen maksimiarvoon, joka samanlämpöiseen ilmaan on mahdollista olla höyrystyneenä, ennen kuin vesi alkaa tiivistyä nesteeksi.

Ilmankosteuden vaikutukset erilaisiin materiaaleihin eivät ole niinkään riippuvaisia ilman absoluuttisesta vesisisällöstä vaan ilman suhteellisesta kosteudesta. Painopaperi on suunniteltu käytettäväksi ja varastoitavaksi olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus on 40—60 %. Nämä ovat siis suositellut rajat painolaitoksen suhteelliselle ilmankosteudelle.

2 Ilman kosteus

2.1 Käsitteet

Absoluuttinen ilmankosteus

Absoluuttisella ilmankosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka ilmassa on höyrystyneenä. Absoluuttisen ilmankosteuden yksikkönä käytetään $\frac{g}{m^3}$, ja se kertoo, montako grammaa vettä on höyrystyneenä kuutiometriin ilmaa. (1.) Absoluuttinen ilmankosteus voidaan esittää kaavan 1 avulla.

$$AH = \frac{m_v}{V} \quad (1)$$

m_v on veden massa

V on ilman tilavuus, johon vesi on höyrystyneenä.

Mihinkään ilmamäärään ei kuitenkaan ole mahdollista höyrystää loputtomasti vettä, vaan jossain vaiheessa vesihöyry alkaa tiivistyä kasteeksi, eikä vesihöyryn määrä ilmassa lisääny. Tällöin voidaan sanoa ilman olevan kylläinen vesihöyrystä. Se, montako grammaa vettä voidaan höyrystää ilmakuutiota kohden, on riippuvainen ilman lämpötilasta: mitä lämpimämpi ilma, sitä enemmän siihen voidaan vettä höyrystää ja vastaavasti kylmemmässä ilmassa vesi tiivistyy kasteeksi helpommin. (1.)

Suhteellinen ilmankosteus

Suhteellisella ilmankosteudella tarkoitetaan tietynlämpöisessä ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhdetta siihen vesimäärään, joka siinä lämpötilassa on mahdollista ilmaan höyrystää, eli senhetkisen absoluuttisen ilmankosteuden suhdetta teoreettiseen maksimi-ilmankosteuteen, eli vesihöyrystä kylläisen ilman absoluuttiseen ilmankosteuteen. Suhteellinen ilmankosteus esitetään prosenttilukuna.

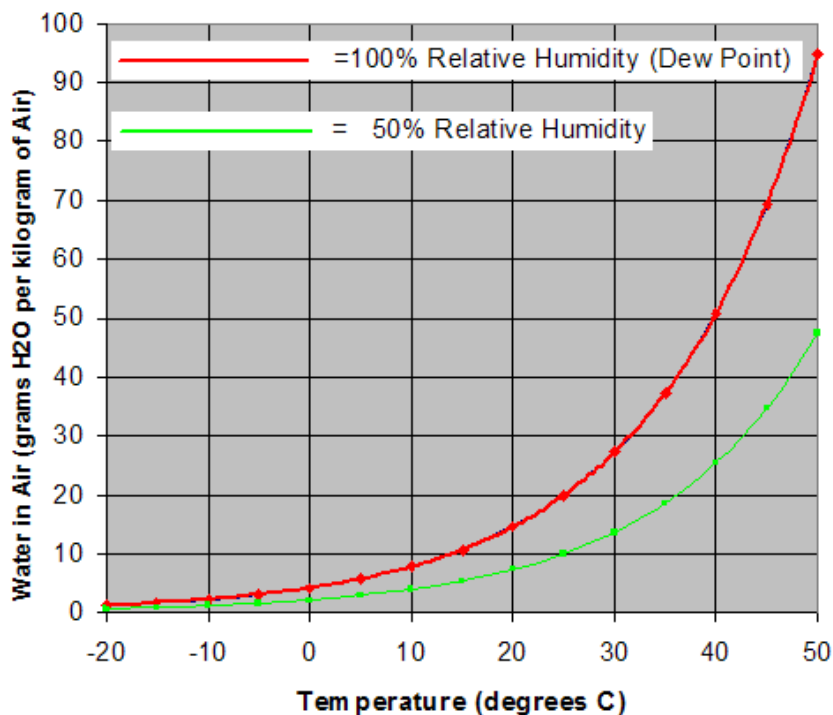
Suhteellinen ilmankosteus voidaan laskea kaavalla

$$RH = \frac{AH}{SH} * 100 \% \quad (2)$$

AH on senhetkinen absoluuttinen ilmankosteus

SH on samassa lämpötilassa vesihöyrystä kylläisen ilman kosteus.

Suhteellisen ilmankosteuden lämpötilariippuvuuden havainnollistamiseksi voidaan ajatella esimerkki, jossa ulkoilman lämpötila on 0 °C ja suhteellinen ilmankosteus 100 %. Jos tällaista ilmaa tuodaan sisätiloihin ja se lämmitetään 20 °C:seen, sen suhteellinen ilmankosteus laskee 25 %:n tasolle, vaikka absoluuttinen vesimäärä ilmassa ei muutukaan. (2, s. 290.) Kuvan 1 kuvaaja havainnollistaa suhteellisen ilmankosteuden suhdetta lämpötilaan. Punainen käyrä kuvaa, montako grammaa vettä tulee kilogrammaan ilmaa olla sekoittuneena eri lämpötiloissa, jotta se saavuttaisi 100 %:n suhteellisen ilmankosteuden. Vihreä käyrä kuvaa samaa 50 %:n suhteellisella ilmankosteudella.



Kuva 1. Lämpötilan vaikutus suhteelliseen ilmankosteuteen (4).

Kastepiste

Kastepiste on se lämpötila, jossa ilman vesisisältö aiheuttaa 100 %:n suhteellisen kosteuden, eli ilma on vesihöyrystä kylläinen. Mikäli ilman lämpötila laskee kastepisteen alapuolelle, se aiheuttaa ilmassa olevan veden tiivistymisen nesteeksi. (2, s. 286—287.) Likimääräisesti suhteellinen kosteus laskee 100 %:sta alkaen 5 % jokaista 1 °C:n lämpötilaeroa kohti. Jos suhteellinen kosteus on yli 50 %, kastepistelämpötilan likiarvokaava on

$$T_d = T - \frac{(100 - RH)}{5} \quad (3)$$

ja suhteellisen kosteuden likiarvo, jos kastepiste tunnetaan, on

$$RH = 100 - 5(T - T_d) \quad (4)$$

T on lämpötila ja RH suhteellinen kosteus prosentteina.

Kaava tuottaa kastepisteen yli 50 %:n suhteelliselle kosteudelle normaalioloissa tarkkuudella alle ± 1 °C. Kastepiste voidaan laskea tarkemmin kaavalla

$$T_d = \frac{b\gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)} \quad (5)$$

jossa

$$\gamma(T, RH) = \frac{aT}{b + T} + \ln RH$$

T on lämpötila celsiusasteina

TH on suhteellinen kosteus desimaalilukuna, ei prosentteina, esimerkiksi 0,55 eikä 55 %

T_d on kastepistelämpötila, jota lasketaan

a on 17,27

b on 237,7 °C. (4.)

2.2 Ilmankosteuden vaikutukset paperiin

Paperin valmistuksessa paperimassa sisältää aluksi 99 % vettä. Valmistusprosessin aikana massaa kuivataan niin, että lopullisessa tuotteessa vettä on enää 4—7 % käyttötarkoituksesta riippuen. Digitaaliseen painamiseen tarkoitetuissa papereissa lopullisen kosteuden tulisi pysyä tiukkojen raja-arvojen välillä, jotta sähkönjohtavuus- ja ajettavuusominaisuudet saataisiin mahdollisimman vakioituiksi. (3, s. 14.)

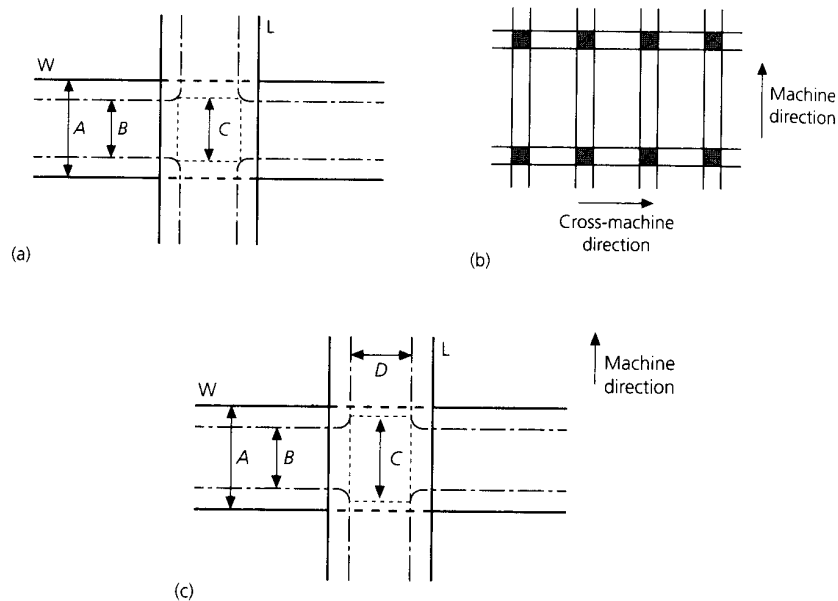
Paperi on hygroskooppinen materiaali, eli se voi sekä luovuttaa kosteutta ympäröivään ilmaan että absorboida kosteutta itseensä riippuen sekä paperin että ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta. Paperi ei kuitenkaan koskaan liukene absorboimaansa veteen, mikä erottaa hygroskooppiset materiaalit muista vettä absorboivista materiaaleista. Sanan hygroskooppinen määritelmä onkin: materiaali, joka absorboi vettä, mutta ei liukene siihen. Muita vettä absorboivia materiaalityyppejä ovat vesistyvät (deliquescent) ja rapautuvat tai kiteytyvät (efflorescent) materiaalit. Erotuksena hygroskooppisiin materiaaleihin nämä liukenevat veteen ja muodostavat veden kanssa yhdisteen. (2, s. 285.)

Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden muutokset vaikuttavat paperiin merkittävästi, ja siksi se olisi tärkeää ottaa huomioon suunniteltaessa tiloja, joissa paperia varastoidaan, käytetään raaka-aineena tuotannossa tai muuten käsitellään. Kun paperin kuidut imevät itseensä vettä kosteasta ilmasta tai luovuttavat sitä kuivaan ilmaan, muutoksia tapahtuu, kunnes tasapainotila on saavutettu. Tätä kutsutaan paperin tasapainokosteudeksi (equilibrium relative humidity (e.r.h.)). (2, s. 287; 5, s. 85.) Paperi voidaan tasapainottaa painosalin tai muun tuotantotilan vallitseviin olosuhteisiin tuomalla se riittävän ajoissa tilaan, jossa sitä käytetään, tai tilaan, jossa on sama lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus. Jos paperi tuodaan tilaan kylmemmistä olosuhteista, se jäähdyttää ympärillään olevaa ilmaa ja täten nostaa sen suhteellista ilmankosteutta. Näin ollen se saattaa absorboida vettä myös ilmasta, joka on alun perin ollut suhteelliselta kosteudeltaan alle tasapainokosteuden.

Jos paperin lämpötila on alle kastepisteen, se aiheuttaa veden tiivistymistä paperin pintaan, mikä pahentaa merkittävästi paperin kostumista. Siksi olisi tärkeää säilyttää paperit paketeissaan, kunnes ne ovat lämmenneet vastaamaan vallitsevia olosuhteita. (2, s. 289.)

Mittapysyvyys

Suurimmat vaikutukset paperin kosteuden muuttuessa aiheuttavat kuitujen turpoaminen, kun ne absorboivat vettä, ja kuitujen supistuminen niiden luovuttaessa vettä ympäristöönsä. Kuitujen turpoamisella on suurin vaikutus paperin kuitusuuntaa vastaan, sillä veden aiheuttamat muutokset kuitujen leveysuunnassa ovat enintään 20 %:n tasolla, kun taas pituussuunnassa ainoastaan yhden prosentin luokkaa. Muutokset itse paperissa ovat kuitenkin kuitusuuntaankin suuremmat kuin yksittäisten kuitujen pituussuuntainen muutos. Tähän on syynä se, etteivät kaikki kuidut paperissa asetu kuitusuuntaan, vaan osa kuiduista sitoo muita kuituja yhteen asettuen poikittain kuitusuuntaa vastaan. Nämä poikittaiset kuidut vetävät supistuessaan leveysuunnassa myös pituussuuntaisia kuituja kokoon lyhentäen niitä, kuten näkyy kuvasta 2. (2, s. 287—288.)

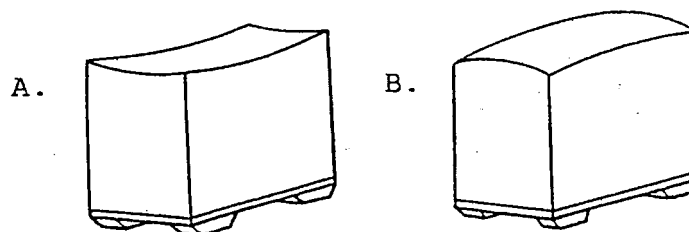


Kuva 2. Kuitusidosten vaikutus paperin mittapysyvyyteen (2, s. 288).

Mikäli paperit eivät ole tasapainokosteudessa ympäristönsä kanssa painamisen alkaessa, saattavat kuivumisesta aiheutuvat mittamuutokset vaikeuttaa kunnollisen kohdistuksen saavuttamista eri osavärien ja/tai arkin eri puolien välillä. Painokoneen sisällä olevan kuumuuden vuoksi saattaa näitä mittamuutoksia esiintyä, vaikka kosteus olisikin tasapainotettu, mutta tasapainotuksella niitä voidaan merkittävästi vähentää. Tämä ei kuitenkaan ole kovin merkittävä ongelma nykyaikaisten painokoneiden kanssa, joissa läpimenoajat ovat niin nopeita, ettei mittamuutoksia koneen sisällä juuri ehdi tapahtua. (2, s. 288.)

Paperin käyristyminen

Paperi säilytetään yleensä tiiviissä pinkoissa. Tästä aiheutuu, että kosteusmuutokset eivät vaikuta arkkeihin tasaisesti, vaan reunoilla vaikutukset ovat keskiosia suurempia. Mikäli paperit ovat tasapainokosteutta kuivempia, ne imevät vettä itseensä niistä kohdista, jotka ovat ilman kanssa kosketuksissa eli pinkan reunoista lähtien, mikä aiheuttaa sen, että arkkien reunat alkavat turvota ensin, ennen kuin kosteus pääsee leviämään myös pinkan keskiosiin. Jos taas paperit ovat tasapainokosteutta kostempia, kuivuvat arkit supistuvat vastaavasti reunoista alkaen. Tämä ongelma pahenee huomattavasti, mikäli papereiden lämpötila on alle ilman kastepisteen. Tällöin niiden pinnalle tiivistyy vettä, jolloin kosteus imeytyy paperiin tehokkaammin kuin veden ollessa höyrynä ilmassa. Kostuessaan reunoista alkaen taipuvat pinkkojen reunat ja etenkin kulmat ylöspäin aiheuttaen arkkien kaareutumisen. Vastaavasti kuivuessaan paperit painuvat kokoon reunoista alkaen aiheuttaen arkkien pussittumisen. Kuva 3 havainnollistaa kaareutumista ja pussittumista.



Kuva 3. A. kostuttuaan kaareutuneet arkit, B. kuivuttuaan pussittuneet arkit.

Tällaiset käyräreunaiset arkit kulkevat huonosti painokoneissa ja aiheuttavat tukoksia. Arkkien kulkiessa puristustelojen läpi saattavat aallot paperissa aiheuttaa arkkien vekittymisen. (2, s. 290—291; 5, s. 85—86.)

Lujuus ja joustavuus

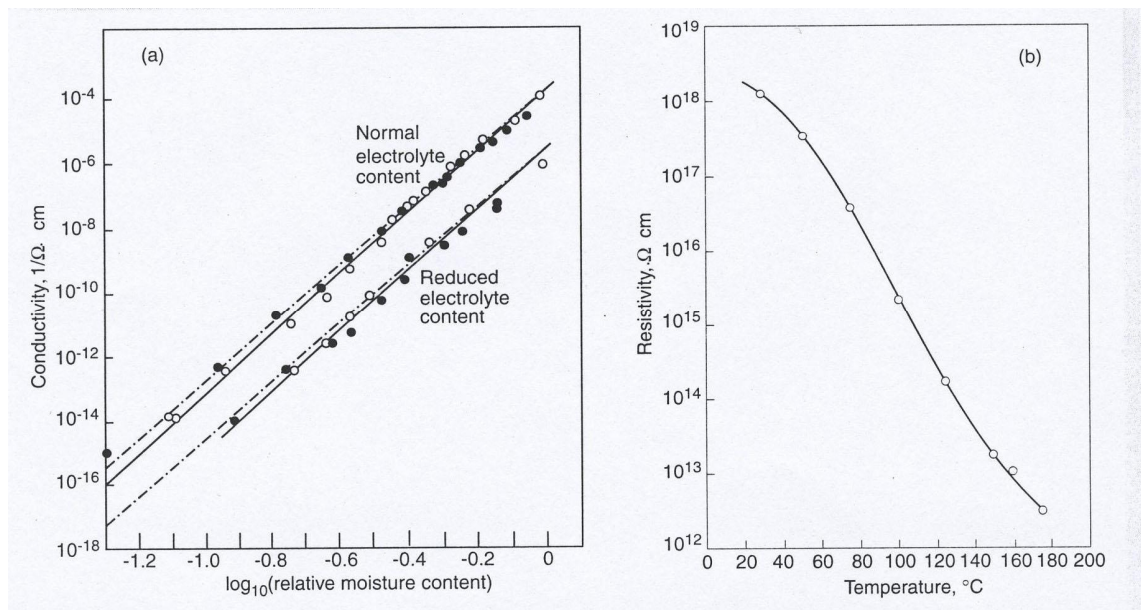
Yleisesti voidaan sanoa paperin lujuuden parantuvan kosteuden kasvaessa. Veto- ja puhkeamislujuus kasvavat kaikilla papereilla niin kauan, kuin pysytään järkevissä rajoissa kosteuden suhteen (kosteudet, jotka paperi voi ilmasta itseensä absorboida, ei veteen upotetun paperin kosteus). Taivutuslujuus kasvaa normaalipapereilla merkittävästi kosteuden myötä, mutta on olemassa joitakin erikoispapereita, joiden kanssa asia on päinvastoin. Kosteus lisää myös papereiden joustavuutta. (5, s. 86.)

Sähkönjohtavuus

Painon kannalta paperin sähkönjohtavuudesta puhuttaessa täytyy paperista määritellä kaksi eri suuretta: ominaispintavastus ja ominaisvastus. Ominaispintavastuksella tarkoitetaan paperin resistiivisyyttä sen pinnalla kulkevaa virtaa kohtaan, kun taas ominaisvastuksella paperin resistiivisyyttä sen läpi kulkevaa virtaa kohtaan. Ominaispintavastus vaikuttaa enemmän paperin staattiseen sähköistymiseen ja ominaisvastus värinsiirtoon paperille.

Veden epäpuhtaudet lisäävät paperin sähkönjohto-ominaisuuksia. Paperin kuivuessa siitä tulee resistiivisempää ja se kykenee sitomaan suurempia sähkövarauksia. Tästä johtuen hankauksen aiheuttama staattinen sähkö varautuu papereihin eikä purkaudu niin helposti. Varautuneet paperit ovat herkempiä tarttumaan kiinni niin toisiinsa kuin painokoneen teloihin ja muihin osiin. Liian sähköiset paperit aiheuttavat ongelmia sekä koneen alistus- että luovutuspuolella. Alistuksessa arkit eivät irtoa toisistaan ja aiheuttavat katkoksia ajossa, kun kone ei saa paperia. Luovutuspuolella ne eivät laskeudu siisteihin pinoihin varausten hylkiessä toisiaan ja tarttuvat toisiinsa laskeuduttuaan. Erityisiä ongelmia aiheutuu, jos arkkeja joudutaan jälkikäsittelemään erillisillä laitteilla luovutuksen jälkeen pinojen ollessa epäsiistejä ja papereiden tartuttua tiukasti toisiinsa.

Digitaaliset painomenetelmät ovat erityisen herkkiä paperin resistiivisyyden suhteen, sillä väri siirretään paperille sähkövarauksen avulla. Mikäli paperi on liian johtava, ei sitä saada varattua riittävästi eikä väri näin ollen siirry kunnolla. Jos taas paperi on liian resistiivistä, ei varaus purkaudu kunnolla ja edellä mainitut staattisesta sähköstä johtuvat ongelmat kasvavat. Digitaalisessa painamisessa paperin pinnan tulisi olla mahdollisimman johtava ja sisäkerrosten mahdollisimman resistiivisiä, mutta koska molemmat ovat riippuvaisia osittain samoista tekijöistä, joudutaan aina tyytymään kompromisseihin. (5, s. 86; 6, s. 21—23; 7, s. 9—10.) Kuva 4 havainnollistaa ilmankosteuden ja lämpötilan vaikutuksia paperin sähkönjohtavuuteen. Vasemmalla on sellun sähkönjohtokyky suhteessa kosteuteen huonelämpötilassa ja oikealla resistiivisyys suhteessa lämpötilaan vakiokosteudessa.



Kuva 4. Kosteuden ja lämpötilan vaikutukset sellun sähkönjohto-ominaisuuksiin (6 s. 23).

Liian kuivasta paperista irtoaa helpommin myös pölyä. Pöly aiheuttaa monenlaisia ongelmia, kuten tukoksia laitteistossa ja ongelmia värinsiirrossa, jos paperin pinnalla on irtopölyä. Liika pöly on myös haitallista ihmisille ja aiheuttaa ärsytystä hengityselimissä.

3 Ilmankostutuslaitteet

Erilaisia tapoja lisätä sisätilojen ilmankosteutta on lukuisia, pienistä kotiin tai toimistotiloihin tarkoitettuista erillisistä laitteista suurten hallien kostuttamiseen tarkoitettuihin järjestelmiin. Suuret järjestelmät voidaan lisäksi jakaa ilmastointikanaviin asennettaviin järjestelmiin ja vettä tai höyryä suoraan sisäilmaan suihkuttaviin pistekostutusjärjestelmiin. Tekniikoita näiden kaikkien toteuttamiseen on myös monia erilaisia, ja usein samankaltaista tekniikkaa voidaan käyttää erityyppisissä järjestelmissä ja erillisissä laitteissakin.

Ilmankostutusta suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon kostutustarve eli ilmaan haihdutettavan veden määrä. On turhaa investoida kostutuslaitteistoon, jonka teho ei riitä nostamaan suhteellista ilmankosteutta riittävästi, ja aivan yhtä turhaa on ylimitoittaa kostutustarve ja maksaa liikaa laitteistosta, jota ei voida täysin hyödyntää. Haihdutettavan veden määrää mietittäessä täytyy ensin laskea, kuinka paljon vettä täytyy ilmaan haihduttaa, jotta ilmankosteus nousisi vallitsevasta arvosta tavoitearvoon. Tähän vaikuttaa rakennuksen tai huoneen tilavuus, jonka kosteutta halutaan nostaa, sekä lähtötilanne. Erittäin tärkeää on myös ottaa huomioon ilmanvaihdon tehokkuus tilassa, eli se kuinka nopeasti kostutettu ilma korvautuu uudella liian kuivalla ilmalla. Paitsi ilmanvaihtolaitteiston tehokkuus, tähän vaikuttaa merkittävästi myös se, onko tilassa suuria oviaukkoja ja kuinka usein ja pitkään niitä pidetään auki. Myös korvausilman suhteellinen kosteus ja lämpötila tulee huomioida (suhteelliseen ilmankosteuden lämpötilariippuvuutta käsiteltiin aiemmin luvussa 2.1 sivulla 7).

Käytettäessä tekniikoita, joissa vesi sumutetaan nestemäisessä olomuodossaan ilmaan, on tärkeää, että vesi hajotetaan riittävän hienojakoiseksi. Mikäli pisarakoko on liian suuri, ei vesi ehdi haihtua matkalla suuttimelta lattialle ja aiheuttaa lätäköitä lattialle. Erityisiä ongelmia tämä aiheuttaa, mikäli suutinten alapuolella on laitteita, jotka eivät saisi kastua. Toisaalta suurempi pisara saadaan lentämään pidemmälle suuttimesta, mikä saattaa helpottaa kosteuden leviämistä tilaan. Haihtuessaan ilmaan vesi sitoo itseensä lämpöenergiaa ilmasta. Tämänkin asia on syytä ottaa huomioon kostutusta suunniteltaessa, sillä huoneen lämpötila saattaa laskea epämiellyttävän viileäksi,

mikäli kostutustarve on suuri. Tämä aiheuttaa usein myös vedon tunnetta tilassa. Kostutuksen aloittamisen myötä lämmityksen tarve tilassa usein lisääntyy. Toisaalta kesäisin tai tiloissa, joissa käytetään paljon lämpöä tuottavia koneita, voidaan ilmankostutuksen avulla myös viilentää epämiellyttävän kuumia olosuhteita.

Kostutuslaitteistojen yhteyteen täytyy usein myös asentaa erilaisia puhdistuslaitteita. Etenkin laitteissa, joissa vesi seisoo tai joissa sitä kierrätetään, käsittelemätön vesi aiheuttaa hygieniariskin toimiessaan kasvualustana erilaisille bakteereille. Myös vesijohtoveden sisältämä kalkki ja muut mineraalit voivat aiheuttaa ongelmia, joten niiden poistoon on myös olemassa puhdistuslaitteita. Joissakin tapauksissa käytetään valmiiksi puhdistettua vettä, mutta puhdistetun veden riittävä saanti kostutustarpeisiin saattaa aiheuttaa ongelmia ja ylimääräisiä kuluja. Suurempiin kostutustarpeisiin onkin järkevää hankkia järjestelmä, joka ottaa vetensä suoraan vesijohtoverkosta ja hoitaa sen puhdistusjärjestelmään tarkoitusta varten liitettävillä laitteilla ennen sen sumutusta ilmaan tai haihduttamista.

Kostutuksen ohjaamiseen käytetään erilaisia tapoja täysin automatisoiduista kosteus- ja lämpömittarein varustetuista järjestelmistä manuaaliseen on/off-tyyppiseen ratkaisuun. (8; 9.)

Ilmanvaihtokanaviin asennettavat laitteet

Kostutuslaitteisto voidaan asentaa suoraan ilmanvaihtokanavien sisään siten, että korvausilma on jo valmiiksi riittävän kostea sen saapuessa tilaan. Tällä menetelmällä saadaan helpoimmin tasainen ilmankosteus koko tilaan. Kostutuksen vaikutuksia ilman lämpötilaan voidaan myös säädellä helpommin tämänkaltaisella ratkaisulla.

Vanhin tapa toteuttaa ilmankostutus ovat ilmanvaihtokanaviin asennettavat haihdutuskennot. Niiden ajatuksena on ohjata sisään tuleva ilma märän kennoston läpi, josta vesi haihtuu ilmaan. Kennoston materiaalina käytetään yleensä keinokuitumattoa, joka sitoo riittävästi vettä itseensä. Ilmastointikanaviin voidaan asentaa myös

paineeseen perustuvia sumutusjärjestelmiä tai laitteita, jotka höyrystävät veden valmiiksi ilmaan. Myös eri tekniikoiden yhdistelmiä käytetään kanavajärjestelmissä.

Ilmastointikanaviin asennettava järjestelmä on hyvä suunnitella jo ilmastointijärjestelmän rakennusvaiheessa tiloihin, joissa tiedetään tarvittavan kostutusta. Jälkiasennettuna tämänkaltainen ratkaisu on kuitenkin suuritöinen ja kallis investointi. Lisäksi jos kyseessä on suurempi tila, jonka tietty osa vaatii kosteampaa ilmaa, joudutaan tällaisella ratkaisulla kostuttamaan koko tila. (8; 9.)

Suoraan huoneilmaa kostuttavat pistekostutusjärjestelmät

Pistekostutuksella saadaan kohdistettua kostutus juuri niille alueille, joilla se on kaikkein tärkeintä, esimerkiksi papereiden varastointipaikkaan tai painokoneen läheisyyteen. Tärkeää on kuitenkin muistaa, että ilmankosteus pyrkii tasaantumaan koko tilaan, eikä kosteuden leviämistä voida tehokkaasti rajoittaa tietylle alueelle muuten kuin rakentamalla alue erilliseksi ilmatiiviiksi huoneeksi.

Pistekostutusjärjestelmän avulla tilat voidaan jakaa erillisiin kostutusalueisiin, joilla kaikilla on omat kostutusasetuksensa. Kostutusta ohjataan keskitetysti ohjainkonsolin kautta. Laitteistojen ohjaaminen on usein mahdollista myös tietokoneella ja jopa internetin välityksellä. (8; 9.)

Erilliset laitteet

Erillisillä laitteilla tarkoitetaan tässä laitteita, jotka ovat irrallaan vesijohtoverkosta ja sisältävät täytettävän säiliön. Ne eivät ole osa suurempaa kostutusjärjestelmää, vaan toimivat omina yksikköinä sisältäen kaiken tarpeellisen ilman kosteuttamiseen. Erillislaitteet ovat usein ilmanpuhdistin- tai kostutintyyppisiä laitteita, mutta joillakin valmistajilla on valikoimassa myös pelkkään kostutukseen keskittyviä erillislaitteita. Kuten kanava- ja pistekostutusjärjestelmiä, myös erillislaitteita toteutetaan erilaisia tekniikoita käyttäen. Yleisimpiä ovat veden höyrystämiseen tai haihdutuskennojen läpi johdettuun ilmaan perustuvat tekniikat.

Erillislaitteiden etuna on liikuteltavuus sinne, missä kostutusta kulloinkin eniten tarvitaan. Rakennuksiin, joissa on erillisiä, toisistaan kaukana olevia kostutusta vaativia huoneita, järjestelmistä irralliset laitteet voivat ollaärkevin ratkaisu. Etenkin tilat, joihin putkien veto on hankalaa, hyötyvät tällaisesta ratkaisusta. Erillislaitteiden kosteuden tuottoteho on kuitenkin yleensä hyvin rajallinen, eivätkä ne sovellu suuriin tiloihin, joissa kostutustarve on suuri. Niissä on usein irrotettava vesisäiliö eikä liitäntä vesijohtoverkkoon ole välttämättä mahdollinen. Säiliön täyttämässä on aina oma vaivansa. (8; 9.)

Yleisimmät tekniikat

Korkeapaine

Korkeapainejärjestelmien perusosat ovat pumppuyksikkö, vesiputket ja suuttimet. Pumppuyksikön yhteydessä on yleensä säätölaitteisto, mutta se voi olla myös erillisenä ohjainyksikkönä. Korkeapainelaitteiston keskipisteenä toimii pumppuyksikkö, josta vesipumppu pumppaa veden suurella paineella putkia pitkin erillisille suutinyksiköille. Suutinyksiköiden mahdollinen määrä riippuu pumpun tehosta. Vaikka pumppu tuottaakin korkeapainelaitteistossa vaadittavan paineen ja määrää sen, kuinka paljon vettä voidaan ilmaan suihkuttaa, se on kuitenkin melko yksinkertainen, sähkömoottorilla toimiva vesipumppu, joten järjestelmän kriittisin osa tai osat ovat suuttimet.

Korkeapainejärjestelmissä veden pisarakokoa ei voida säätää. Tästä syystä korkeapainejärjestelmän suuttimet tulee asentaa riittävän korkealle, jotta sumutettu vesi ehtii täysin haihtua ennen lattialle tippumistaan. Huoneen tulisi olla niin korkea, että suuttimet saadaan vähintään kolmen metrin korkeuteen.

Korkeapainejärjestelmä on pistekostutusjärjestelmistä teknisesti yksinkertaisin ja varmatoimisin. Sen etuna muihin pistekostutusjärjestelmiin verrattuna on myös energiatehokkuus. Vesi saadaan järjestelmään yleensä talon vesijohtoverkosta, mutta täytettävä säiliö on myös mahdollinen. Korkeapainejärjestelmä voidaan toteuttaa ilman

vedenpuhdistusta ja kalkinpoistoa, mutta tällöin kalkki saattaa aiheuttaa ongelmia. Kalkki kerääntyy suuttimiin niin, että suutin ei saa vettä sumutettua kunnolla ja osa vedestä tippuu liian suurina pisaroina lattialle. Kalkki saattaa aiheuttaa myös pölyongelmia. Veden haihtuessa ilmaan kalkki laskeutuu pölynä lattioille ja pinnoille. Hygieniasyistä veden puhdistus ei yleensä ole välttämätöntä korkeapainejärjestelmää käytettäessä, sillä vesi ei seiso siinä missään vaiheessa eikä sitä myöskään kierrätetä, vaan se sumutetaan kaikki suoraan verkosta ilmaan. Erityisen tarkkaa hygieniää vaativissa olosuhteissa, esimerkiksi joissakin laboratorioissa, on täysin puhdistetun veden käyttö kuitenkin tarpeen. (8; 9.)

Alipaine

Alipainejärjestelmissä veden sumutus toteutetaan paineilman avulla. Suuttimien vesisyöttöön tehdään alipaine puhaltamalla ilmaa suutinten läpi. Vesi imeytyy suuttimiin, joissa se paineilman ulospuhalluksessa hajoaa hienoksi aerosoliksi. Paineilma tuotetaan joko erillisellä kompressorilla tai otetaan talon omasta paineilmaverkosta.

Alipainejärjestelmän käyttämä kompressori on energian käytön kannalta hyötysuhteeltaan merkittävästi tehottomampi kuin korkeapainejärjestelmissä käytettävä vesipumppu. Tuotantolaitoksissa, joissa käytetään paineilmaa muutenkin ympäri vuorokauden, voi olla järkevää liittää alipainejärjestelmä talon paineverkkoon, jolloin hyötysuhde paineen tuottamiseen paranee. Toisaalta jos tuotantolaitos suljetaan esimerkiksi yön tai viikonloppujen ajaksi, mutta kosteus halutaan pitää vakioituna, joudutaan paineilmaverkon suurta kompressoria käyttämään jatkuvasti.

Alipainejärjestelmää käytettäessä pisarakoko on täysin säädettävissä, mikä helpottaa suuttimien sijoittelua. Joissakin tilanteissa pienempi pisarakoko on muutenkin välttämätön, jolloin korkeapainejärjestelmä ei tule kysymykseen ja joudutaan valitsemaan alipainejärjestelmä. Alipainejärjestelmä on herkempi epäpuhtauksille, joten veden ja paineilman tulisi olla puhdasta. (8; 9.)

Höyry

Höyryjärjestelmissä vesi kuumennetaan säiliössä höyryksi, yleensä vastuksen avulla, ja johdetaan putkistoja pitkin suuttimiin, joista se sumutetaan huoneilmaan. Kun vesi on valmiiksi höyrynä, se leviää varmasti ilmaan siten, ettei se aiheuta lätäköitä. Yhtenä höyryjärjestelmän merkittävimpänä etuna voidaan pitää sen hygieenisyyttä. Veden lämmittäminen yli kiehumispisteen tappaa varmasti bakteerit, jotka voisivat muuten veden mukana levitä. Höyryjärjestelmää käytetäänkin usein erityistä hygieniää vaativissa tiloissa, mutta on sillä etunsa muissakin sovelluksissa.

Veden lämmittäminen höyryksi vaatii suurta energiankulutusta. Toisaalta veden ollessa valmiiksi höyrynä, sen ei tarvitse enää sitoa itseensä lämpöenergiaa ilmasta. Tämä poistaa kustutuksen aiheuttaman ylimääräisen lämmitystarpeen ja kompensoi energiankulutusta.

Höyryjärjestelmissä suuttimet eivät voi olla kaukana höyryn tuottavasta keskusyksiköstä, enintään noin 2 metriä. Jos vesihöyryä jouduttaisiin kuljettamaan pidempi matka putkia pitkin, se ehtisi luonnollisesti jäähtyä liikaa ja tiivistyä takaisin nesteeksi. Höyryyn perustuvat laitteet ovatkin usein keskusyksikön ympärille rakentuvia muutaman suuttimen järjestelmiä tai erillisiä laitteita. Laitteiden ohjaus voidaan hoitaa keskitetysti. (8; 9.)

4 Ilmankostutuksen haasteet Menox Palvelut Oy:ssä

4.1 Tilat ja mittaukset

Menox Palvelut Oy on keskisuuri monipalvelualan yritys. Sen palveluihin kuuluvat digipaino, jakelu- ja postituspalvelut, kuorituspalvelut, varastointipalvelut, arkistointipalvelut ja turvapalvelut. Menoxin omistavat Nordea Pankki Suomi Oyj ja ISS Palvelut Oy. Menoxin palveluksessa toimii noin 60 työntekijää.

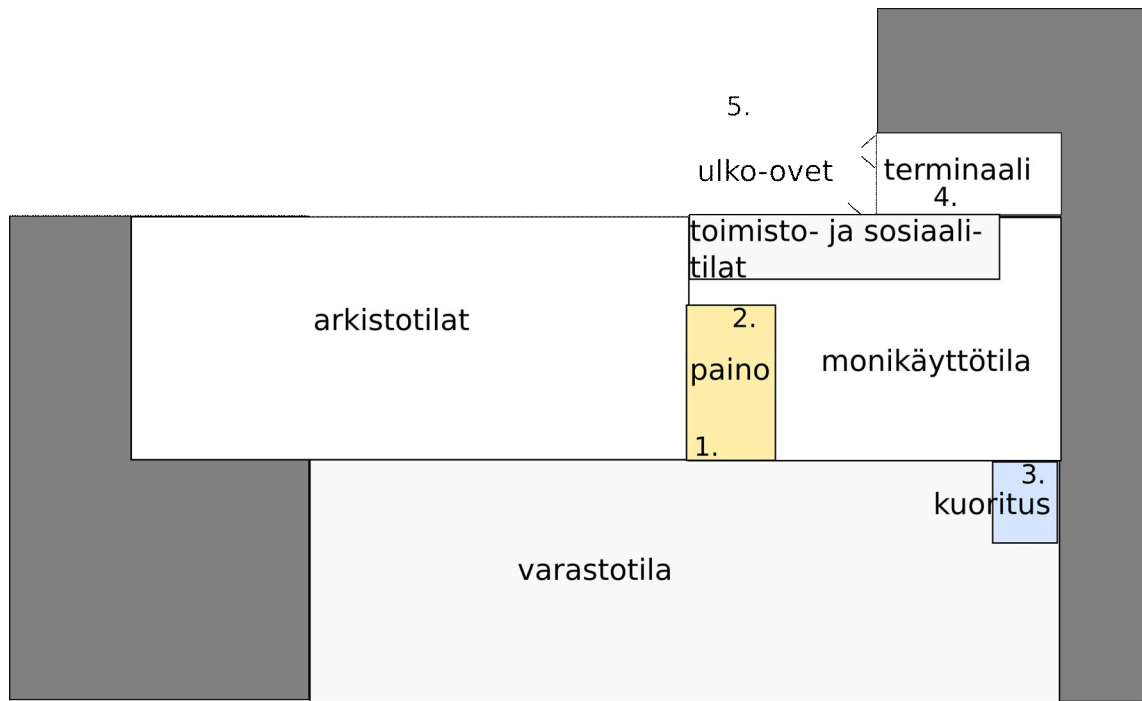
Menoxin digipainon toiminnot jakautuvat kahteen eri toimipisteeseen, pääpaino on Konalassa. Konalan painoyksikkö koostuu kahdesta värillisestä ja yhdestä mustavalkoisesta digitaalipainokoneesta sekä yhdestä suurkuvatulostimesta. Suurkuvatulostin on rullasyötteinen, muut Menoxin painokoneet ovat arkkikoneita. Konalassa on lisäksi erilaisia jälkikäsitteilylaitteita, kuten ”giljotiini” -tyyppinen paperileikkuri, nuuttaus- ja perforointikone, kaksi taittokonetta, kaksi erityyppistä liimanidontakonetta ja stiftauskone. Postituksen apuna käytetään kolmea kuorituskonetta.

Konalan digipainossa on erityisesti talviaikaan ongelmana liian alhainen suhteellinen ilmankosteus. Ilman kuivuuden vuoksi myös painossa käytettävät paperit kuivuvat liikaa. Papereiden kuivuminen aiheuttaa erilaisia ongelmia, kuten käyristymistä ja rypistymistä. Merkittävimmät ongelmat papereiden kuivuessa liikaa aiheutuvat niiden sähköisten ominaisuuksien muutoksista. Liian kuivina paperit varaavat helpommin sähköä hankautuessaan koneisiin. Varautuneet paperit ovat herkempiä tarttumaan toisiinsa ja painokoneisiin aiheuttaen tukoksia ja katkoksia ajossa. Painokoneen luovutuspuolella sähköiset paperit eivät laskeudu siisteihin pinoihin varausten aluksi hylkiessä toisiaan, ja arkkien laskeuduttua varaukset sitovat paperit toisiinsa. Tämä on erityisen ongelmallista jälkikäsitteilyn kannalta. Digitaalipainossa paperin sähköjohto-ominaisuuksilla on vielä erityinen merkityksensä, sillä väri siirretään paperille sähkövarauksen avulla. Liian kuivista papereista irtoaa myös pölyä helpommin.

Laitetoimittajat ja huoltajat vetoavat usein liian kuivaan sisäilmaan, kun laitteet eivät toimi halutulla tavalla. Paino- ja jälkikäsitteilykoneet on suunniteltu toimimaan painoon soveltuvissa kosteusolosuhteissa eli suhteellisen ilmankosteuden ollessa vähintään 40 %.

Konalan toimipisteessä sijaitsee myös muita Menoxin toimintoja, kuten varastointi- ja arkistointipalvelut. Tilat on jaettu toimistotiloihin, arkistoon, varastoon ja monikäyttötilaan. Toimistotilat ja arkisto ovat selkeästi omina tiloinaan, mutta varaston ja monikäyttötilan erottaa toisistaan vain verkkoaita. Painolla ei siis ole varsinaisesti omia seinin eristettyjä tiloja, vaan osa monikäyttötilasta on rajattu sermein ja hyllyin

painon käyttöön. Osa jälkikäsitteilylaitteista on erillään muista painon laitteista arkiston puolella niiden aiheuttaman metelin ja tilanpuutteen vuoksi, ja kuorituskoneet sijaitsevat varaston puolella samoista syistä. Kuvassa 5 näkyy pohjapiirros Konalan tiloista.

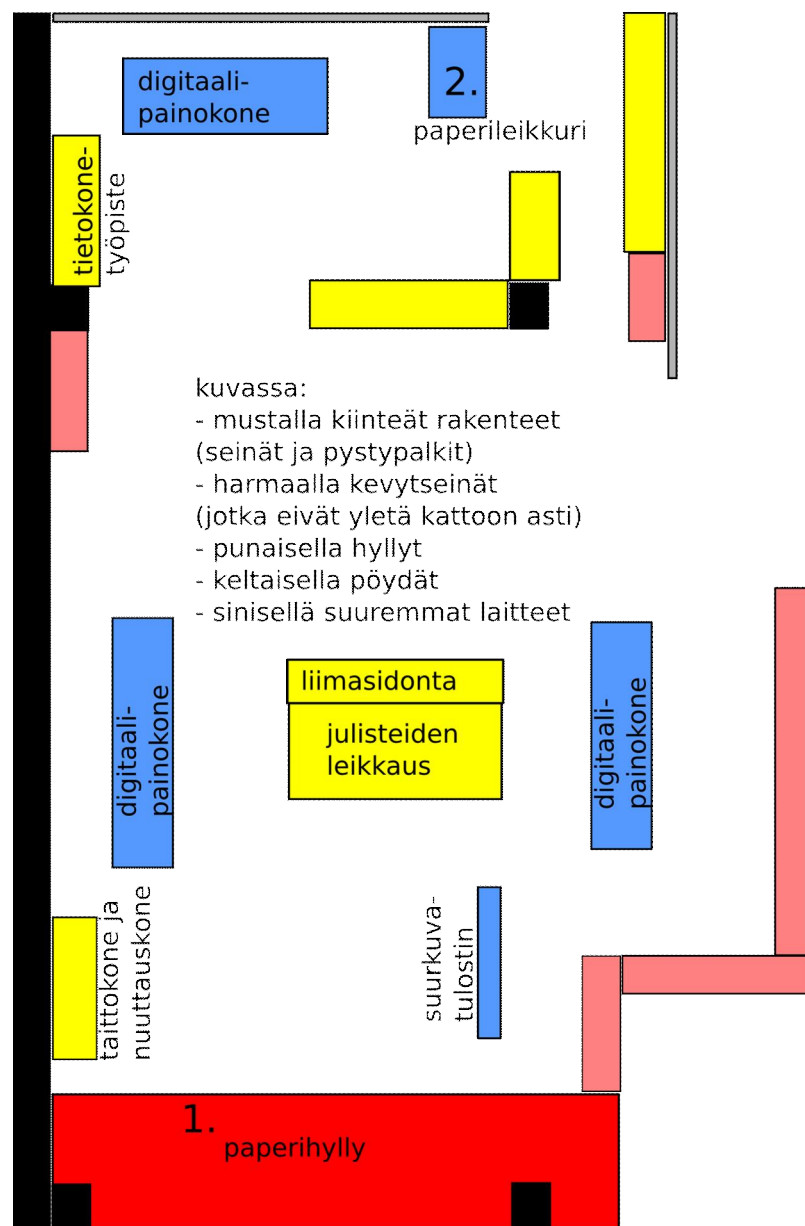


Kuva 5. Pohjapiirros Menoxin Konalan tiloista. (Numerot kertovat paikat, joissa suoritin mittauksia.)

Monikäyttötilan pinta-ala on noin 700 m², josta painon käytössä noin 140 m², ja huonekorkeus on noin 4 m. Varasto on pinta-alaltaan noin 1 700 m², ja sen huonekorkeus on noin 8 m. Kuorituskoneiden varaama alue varastosta on noin 60 m². Varastotila jatkuu rakennuksen ulkokattoon asti, mutta monikäyttöalueen kohdalla on välikatto ja sen yläpuolella toimistotiloja, mistä johtuvat korkeuserot. Piirroksessa harmaat alueet ovat muiden yritysten käytössä ja rakennus jatkuu niiden suuntiin.

Menoxin tilat Konalassa ovat erittäin haasteelliset ilmankostutuksen suunnittelun kannalta. Kostutusta ei tarvita koko tilaan, vaan ainoastaan painon toimintojen varaamille alueille. Koska paino on osa suurta yhtenäistä tilaa, jota rajoittavat vain hyllyt, sermit ja verkkoaita, on kosteuden leviämistä nykyisillä rakenteilla kuitenkin mahdotonta rajata ainoastaan painon alueelle. Koko tilan kostuttaminen riittävälle tasolle taas vaatisi todella tehokasta ilmankostutusjärjestelmää. Koska kostutustarve on

vain pienessä osassa koko tilasta, olisi niin mittavaan järjestelmään investoiminen taloudellisesti kannattamatonta. Myös käyttökustannukset nousisivat liian suuriksi, jos koko tila pyrittäisiin kostuttamaan. Mahdollisia ongelmia saattaa aiheuttaa myös monikäyttötilasta lähetys- ja vastaanottoterminaaliiin johtava lähes suora yhteys. Tilojen välisessä oviaukossa ilman virtausta estämässä ovat ainoastaan muovisuikaleista tehdyt verhot. Terminaaliiin ulko-ovia joudutaan luonnollisesti pitämään usein auki lähetyksiä lastattaessa ja purettaessa. Kuva 6 on pohjapiirros digipainon varaamasta alueesta.



Kuva 6. Pohjapiirros painosta (suuntaa antava, ei täydellisesti mittakaavassa). (Numerot kertovat paikat, joissa suoritin mittauksia.)

Aloitin ilmankostutusratkaisun suunnittelun kartoittamalla kostutustarvetta mittaamalla ilmankosteusmittarilla arvoja useasta eri pisteestä Menoxin Konalan tiloista ja rakennuksen ulkopuolelta. Mittaamani arvot olivat

- ilman lämpötila
- suhteellinen ilmankosteus
- kastepiste
- absoluuttinen ilmankosteus.

Suoritin mittauksia noin kuukauden ajan yhteensä kahdeksana kertana. Mittausvälit eivät olleet säännöllisiä, eivätkä tapahtuneet samaan kellonaikaan, vaan pyrin saamaan tuloksia mahdollisimman erilaisista sääoloista ja eri vuorokaudenaikoina. Tein mittauksia neljässä eri pisteessä rakennuksen sisällä ja referenssiksi yhdessä pisteessä rakennuksen ulkopuolella. Mittauspisteinä toimivat

1. digipainon paperihylly
2. digipainon paperileikkuri
3. kuorituskone varaston puolella
4. vastaanotto- ja lähetystermiinaali
5. pysäköintialue rakennuksen ulkopuolella.

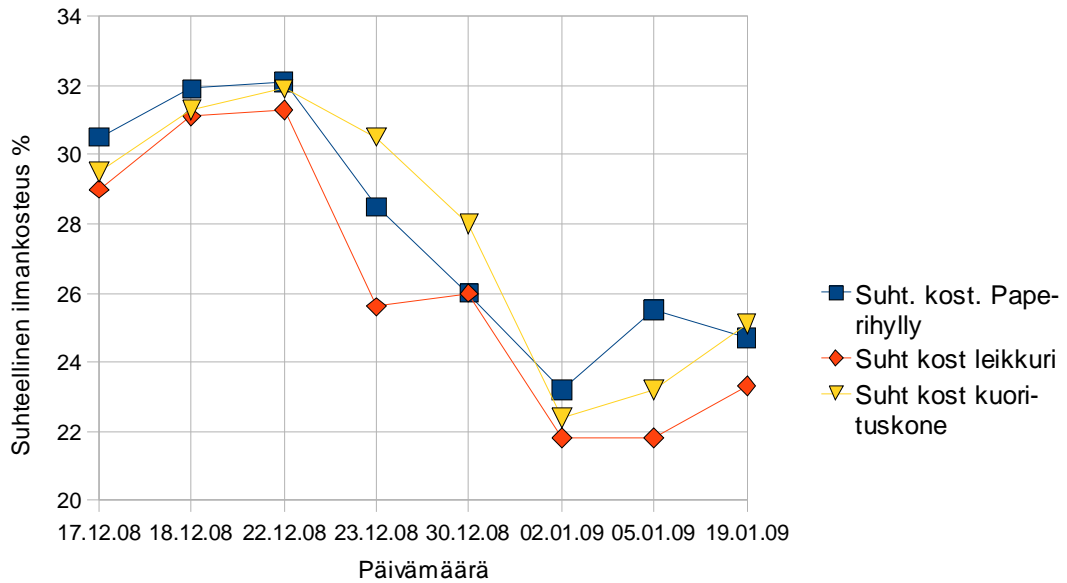
Mittauspaikat näkyvät pohjapiirroksissa (kuvat 5 s. 22 ja 6 s. 23).

Mittausten tarkoituksena oli selvittää lähtötilanne, josta ilmankosteutta tulisi lähteä nostamaan. Se oli jo valmiiksi selvillä, että ilma on liian kuivaa. Pyrin myös selvittämään ulkoilman lämpötilan ja sääolosuhteiden suhdetta sisäilman kosteuteen käytännössä Konalan tiloissa teoreettisten tietojen lisäksi. Mittauspisteitä otin tutkimukseen mukaan monta siitä syystä, että saan käsityksen siitä, kuinka tasaisesti ilmankosteus on levittäytynyt tiloihin.

4.2 Mittausten tulokset

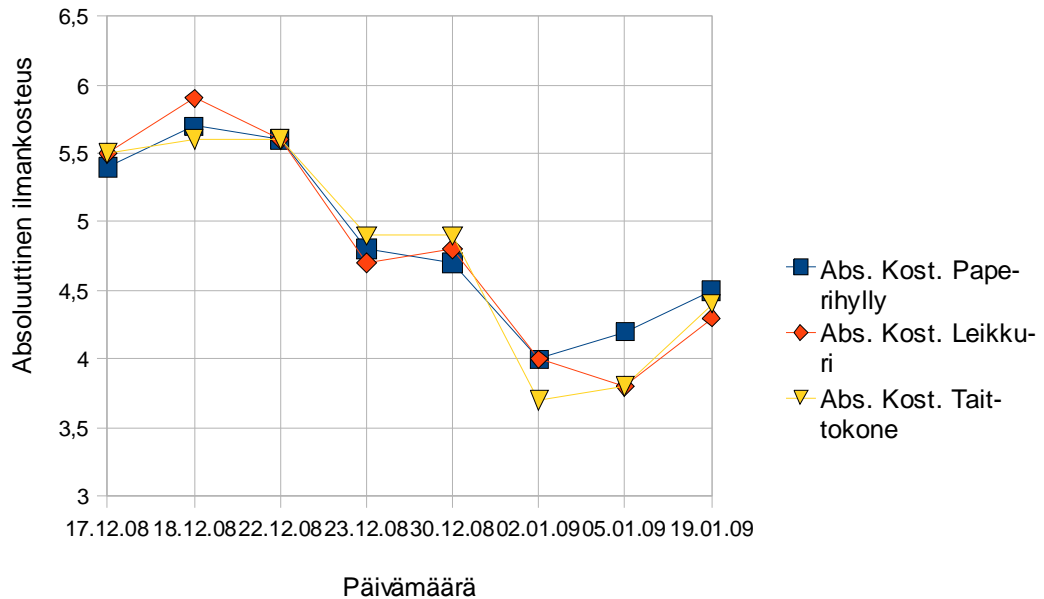
Suorittamani kosteusmittaukset olivat suuntaa antavia. Mittausten tuloksista ei voi vetää pitäviä johtopäätöksiä pienen otannan vuoksi, mutta niiden avulla saa käsityksen siitä, miten ulkoilman lämpötila ja kosteus vaikuttavat sisätilojen suhteelliseen ilmankosteuteen Menoxin Konalan tiloissa. Kostutuksen tarpeellisuus oli jo tiedossa ennen mittausten suorittamista, mutta mittausten pohjalta on mahdollista hieman arvioida, minkälaisissa sääolosuhteissa kostutukselle on tarvetta eli kuinka pitkään talvikaudella sitä tarvitaan. Kesällä Suomen olosuhteissa kostutus ei yleensä ole välttämätöntä kuivuuden vuoksi, mutta vakioitu suhteellinen ilmankosteus on silloinkin hyödyllinen paino-olosuhteiden tasaisuuden kannalta. Mittaustuloksia voidaan myös käyttää pohjana laskettaessa, paljonko vettä tulisi tiloihin haihduttaa, jotta suhteellinen ilmankosteus nousisi vaaditulle tasolle.

Sisätiloissa, lukuun ottamatta terminaalia, joka ei ole hyvin eristetty tila ja jossa usein pidetään lastauslaiturin ovia auki, kaikki mitatut arvot mahtuivat yleensä pienen marginaalin sisään. Saman päivän mittauksissa suurimmat erot suhteellisessa ilmankosteudessa eri mittapisteiden välillä olivat 5 prosenttiyksikköä (edelleen lukuun ottamatta terminaalia ja rakennuksen ulkopuolta) ja seuraavaksi suurimmat lähes 4 prosenttiyksikköä. Tähän saattoi kuitenkin vaikuttaa se, etten pystynyt mittaamaan kaikkia pisteitä samanaikaisesti ja mittausten aikana saatettiin esimerkiksi purkaa tai pakata lähetyksiä autoon, jolloin terminaalin ovet olisivat olleet auki ja terminaalin ja yleiskäyttötilan välisiä verhoja olisi availtu. Muina päivinä kolmen ensimmäisen mittapisteen erot mahtuivat 2 prosenttiyksikön sisään, kuten näkyy kuvassa 7. Terminaalin ja muun tilan välillä erot olivat odotetusti suurempia.



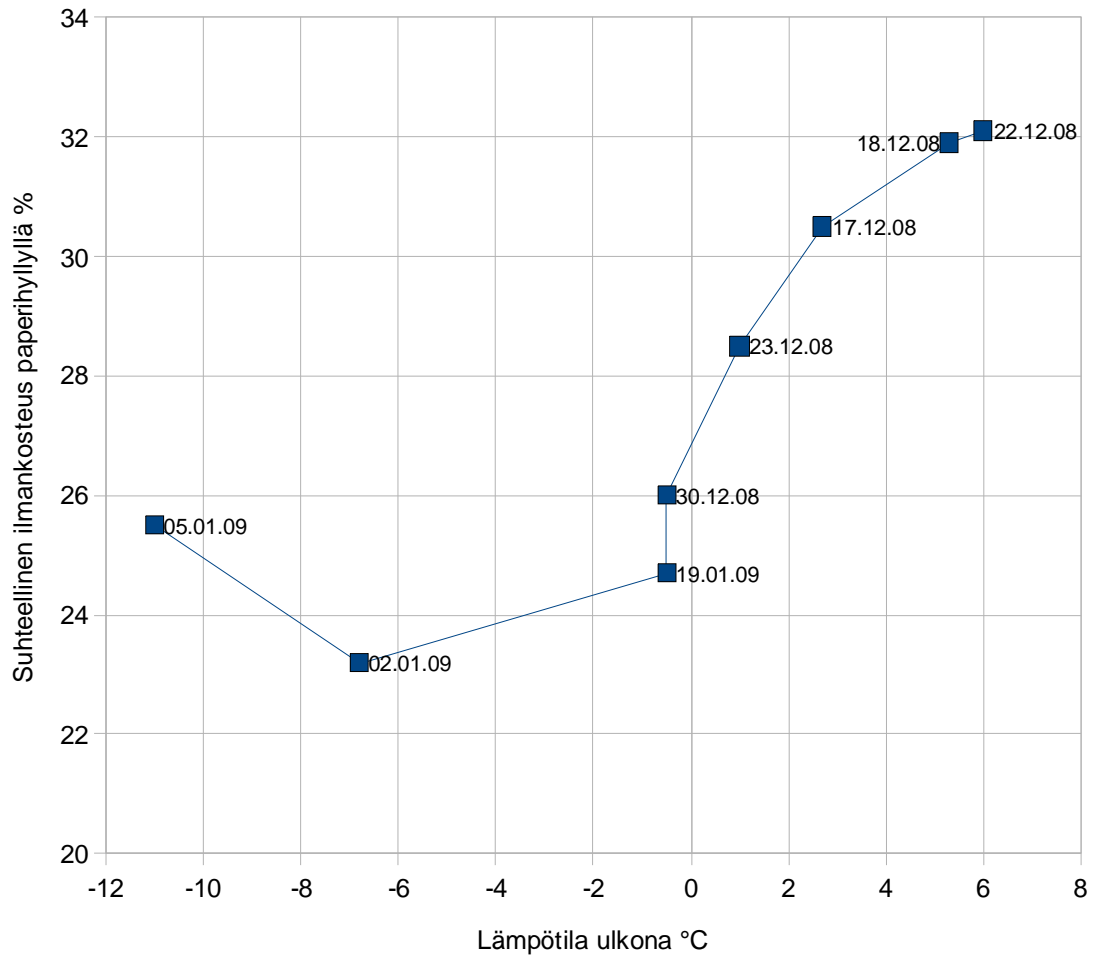
Kuva 7. Suhteellinen ilmankosteus kolmessa ensimmäisessä mittapisteessä sisällä.

Koska suhteellinen kosteus on riippuvainen lämpötilasta, saattavat erot mittapisteiden välillä johtua ainakin osittain lämpötilaeroista. Siitä syystä kosteuden todellisesta leviämisestä rakennuksen sisällä antavat paremman kuvan erot absoluuttisessa ilmankosteudessa (kuva 8 s. 27). Erot absoluuttisessa ilmankosteudessa saman päivän mittauksen välillä ovat selvästi pienemmät suhteessa eri päivien mittauksiin kuin suhteellisen ilmankosteuden erot. Ilmankosteus näyttäisi levittäytyvän tasaisesti Menoxin Konalan tiloihin.



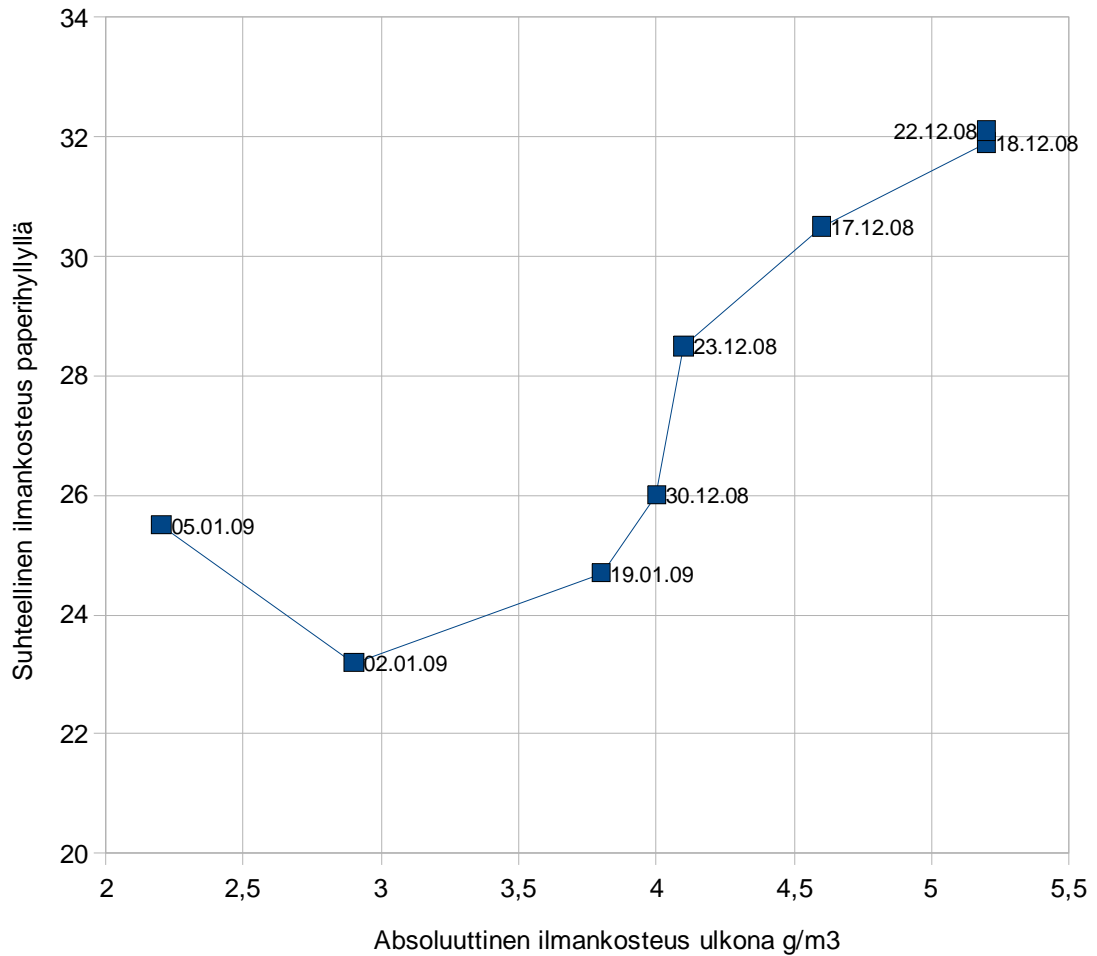
Kuva 8. Absoluuttinen ilmankosteus kolmessa ensimmäisessä mittapisteessä sisällä.

Painon toiminnan kannalta tärkeimpänä mittapisteenä voidaan pitää paperien säilytyspaikkana toimivaa hyllyä, joten käytän sitä vertailuissa. Kuvan 9 käyrä kuvaa paperihyllyllä mitatun suhteellisen ilmankosteuden suhdetta lämpötilaan ulkona. Käyrä tukee teorian pohjalta saatua tietoa siitä, että ulkoilman lämpötilan laskiessa sisäilman kosteus laskee myös. Ainoa selvä poikkeus on 5.1.2009 suoritetuissa mittauksissa, mutta tällöin ero paperihyllyn ja muiden sisätilojen mittapisteiden välillä on myös melko suuri, joten paperihyllyn mittauksissa saattaa olla tapahtunut virhe. On myös mahdollista, että hyllyyn on juuri avattu uusi paketillinen paperia, jonka kosteus on vaikuttanut mittaustulokseen. Kuvaajan perusteella vaikuttaisi siltä, että ulkolämpötilan laskiessa alle 10 °C:n on ilmankostutus viimeistään tarpeen, kun painon minimisuosituskosteusprosentti on 40. Ulkoilman lämpötilan perusteella saadaan jonkinlainen käsitys siitä, kuinka pitkä kostutusta vaativa kausi Suomessa on.



Kuva 9. Suhteellinen ilmankosteus paperihyllyllä suhteessa ulkoilman lämpötilaan

Lämpötila antaa rajat ulkoilman mahdolliselle kosteudelle suhteellisen ilmankosteuden ollessa aina 0—100 %. Ilmankosteuden lämpötilariippuvuutta käsiteltiin luvussa 2.1 sivulla 7. Kosteus ulkona voi kuitenkin vaihdella samallakin lämpötilalla huomattavasti. Ulkoilmasta mitattava suure, joka todellisuudessa vaikuttaa sisäilman suhteelliseen kosteuteen sisäilman lämpötilan ollessa suunnilleen vakioitu, on ulkoilman absoluuttinen vesisisältö. Kuvan 10 käyrä kuvaa ulkoilman absoluuttisen ilmankosteuden suhdetta paperihyllyllä mitattuun suhteelliseen ilmankosteuteen.



Kuva 10. Suhteellinen ilmankosteus paperihyllyllä suhteessa absoluuttiseen ilmankosteuteen ulkona.

Jälleen 5.1.2009 suoritettu mittaus poikkeaa trendistä. Edellä mainitut syyt vaikuttavat tähänkin. Muuten kuvaaja tukee lämpötilariippuvuuskuvaajasta saatuja tuloksia.

Toisaalta vaihtelu ulkoilman suhteellisessa ilmankosteudessa oli melko vähäistä eri mittauskertojen välillä, vaikka sää vaihtelikin aurinkoisesta lumisateeseen ja sumuiseen, joten on selvää, että absoluuttinen ilmankosteuskin korreloi näissä mittauksissa melko suoraan lämpötilan kanssa.

4.3 Suositukset kostutusongelmiin

Kostutustarve

Ilmankostutukseen sijoittaminen saattaa tuntua turhalta menoerältä, kun ajatellaan, etteivät kostutuslaitteet tuota mitään. On kuitenkin muistettava, että vakioiduilla paino-olosuhteilla on mahdollista vaikuttaa tuotantokustannuksiin merkittävästi. Liian kuivan huoneilman aiheuttamia taloudellisia tappioita on lähes mahdotonta arvioida ilman pidempää seurantajaksoa, johon tämän työn puitteissa ei ole resursseja. Seuranta tulisi suorittaa kesällä, jolloin kosteus on riittävä, ja kostutusta vaativan kauden aikana sekä verrata näiden jaksojen välisiä tuloksia mahdollisista kuivuuden aiheuttamista ongelmista. Ilmankosteus vaikuttaa niin moneen tekijään, että olisi hyvin vaikeaa erotella lyhyen seurantajakson aikana juuri kuivuudesta johtuvat ongelmat ja tehdä niiden perusteella yleistyksiä. Kausi, jonka aikana suhteellinen kosteus jää alle ohjearvojen, on kuitenkin niin pitkä ja kuivuuden aiheuttamat ongelmat niin moninaiset, että sijoitus kostutukseen varmastikin tulisi kannattavaksi.

Mittauksista saatiin suurpiirteinen tulos, jonka mukaan kostutusta Menoxin digipainossa tarvitaan viimeistään ulkolämpötilan laskiessa alle 10 °C:n. Ilmatieteen laitoksen keskiarvokarttojen perusteella tämä tarkoittaisi, että Etelä-Suomen olosuhteissa kostutus olisi tarpeen karkeasti arvioituna ainakin lokakuulta huhti-toukokuulle asti eli yli puolet vuodesta (10). Koneiden käyttökatkoksista aiheutuvan ajanhukan ja heikosta painojäljestä tai rypistyneistä arkeista johtuvan materiaalihukan väheneminen kompensoivat kostutukseen tehtyjä sijoituksia ja kostutuksen aiheuttamia käyttökustannuksia. Myös laite-edustajien ja huoltajien mahdollisuus vedota liian alhaiseen suhteelliseen ilmankosteuteen poistuu, ja laitteet on saatava toimimaan luvattulla tavalla.

Tilat

Painon jälkikäsitteilylaitteet ovat sijoitettuna useampaan paikkaan, ja optimitilanne olisi, että ilmankosteusolosuhteet olisivat suositelluissa rajoissa kaikissa pisteissä, joissa

paperia käsitellään. Tilannetta nykyisestä parantaisi kuitenkin huomattavasti jo se, että paperit säilyttäisivät kosteutensa siihen asti, kun niitä aletaan käsitellä. Tärkeintä olisikin, että alue, jossa papereita säilytetään, saadaan riittävän kosteaksi, joten pelkän varsinaisen painoalueen kostuttaminenkin auttaisi jo huomattavasti. Mikäli liian kuivasta ilmasta johtuvia ongelmia ei saataisi riittävästi hallintaan pelkän painon kostuttamisella, voitaisiin myöhemmin miettiä myös muiden alueiden, joissa paperia käsitellään, kostuttamista.

Menoxin digitaalipainon tilat Konalan toimipisteessä ovat erittäin haasteelliset ilmankostutuksen kannalta. Painon alue on osa suurempaa tilaa, jonka kokonaan kostuttaminen vaatisi mittavaa järjestelmää. Nykyisellään ilma pääsee kulkemaan painon ja muun tilan välillä niin vapaasti, että kosteuden leviämistä painon ulkopuolelle ei voida välttää. Monikäyttötilan ja siihen suorassa yhteydessä olevan varaston yhteenlaskettu tilavuus on noin 16 400 m³. Jos oletetaan tila täysin ilmatiiviiksi, ilman ilmastointia ja ovet suljettuiksi, täytyisi ilmaan haihduttaa noin 28 kg vettä, jotta suhteellinen ilmankosteus nousisi 30 %:sta 40 %:iin sisäilman lämpötilan ollessa 20 °C. Painon varaaman alueen tilavuus on vain noin 560 m³. Jos tälle tilalle tehdään sama oletus, eli että se olisi täysin ilmatiivis, sen suhteellisen kosteuden nostaminen 30 %:sta 40 %:iin vaatisi vain noin yhden kilogramman vesimäärän haihuttamista tilaan (laskelmat liitteessä 2). Tiedossani ei ole Konalan tilojen ilmastoinnin tehokkuutta, joten tarkkaa tietoa siitä, paljonko tunnin aikana tulisi vettä haihduttaa, jotta kosteus pysyisi yli 40 %:n tasolla, en voi laskea, mutta ero pelkän painon kostuttamisen ja koko tilan kostuttamisen välillä on kuitenkin huomattava.

Kostutuksen tehontarvetta mitoitettaessa vaihtoehtoina ovat suunnitella koko tilan kostutus, koettaa nykyisillä rakenteilla kostuttaa vain painon alue tai sitten rajata painon alue erilliseksi tilakseen lisärakenteilla. Järkevin ja kustannustehokkain vaihtoehto näistä olisi oman arvioni mukaan painon rajaaminen selkeämmin erilliseksi tilakseen. Samaa suosittelivat myös molemmat haastattelemani asiantuntijat (8; 9). Koko tilan kostuttaminen vaatisi niin suuren ja tehokkaan järjestelmän, että siihen sijoittaminen tuskin tulee kyseeseen, kun kostutusta ei koko alueelle tarvita.

Pelkän painon kostuttaminen nykyisillä rakenteilla siten, että kosteuden annettaisiin vapaasti levitä myös ympäröivään tilaan, mutta ainoastaan painon alueelle sijoitettaisiin kostutuslaitteet ja vain painon suhteellinen kosteus pyrittäisiin pitämään suositelluissa rajoissa, olisi tehotonta. Asiantuntijat, joiden kanssa asiasta keskustelin, arvioivat kostutustehon tarpeen moninkertaiseksi tällaisella ratkaisulla verrattuna selkeästi erilliseksi rajattuun tilaan. Tarkempaa arviota he eivät pystyneet antamaan ilman tilan ilmapvirtausten mittauksia (käytössäni ei ollut ilmanvirtausmittaria mittauksia tehdessäni) (8; 9). Näin ollen jouduttaisiin tässäkin tapauksessa sijoittamaan huomattavasti enemmän rahaa tehokkaampaan kostutuslaitteistoon kuin erillisen tilan tapauksessa. Myös käyttökustannukset olisivat moninkertaiset.

Painon eristämisen muusta tilasta voisi toteuttaa kohtuuhintaan kevyillä seinärakenteilla. Materiaalina voitaisiin käyttää esimerkiksi lastulevyä tai vaneria. Kaikkein halvin vaihtoehto olisivat muovikankaaiset seinät painon ympärille. Sellaisiakin on joihinkin kostutusta vaativiin tiloihin rakennettu (8). Oviaukkoja tulisi varmaankin olemaan kaksi, toinen postituksen suuntaan ja toinen toimistoille. Ainakin toisen oviaukoista olisi oltava riittävän iso, jotta siirtolavoilla kuljetettavat paperit ja muut mahdolliset suuremmat kuljetukset, kuten uudet laitehankinnat, saadaan tuotua painon tiloihin tai pois sieltä. Puusta rakennettujen seinien tapauksessa voitaisiin käyttää tavallisia ovia ja muovikankaan kanssa esimerkiksi suikalemuoviverhoja, jollaiset ovat jo käytössä terminaalin ja muun tilan välisessä oviaukossa.

Mikäli paino päätetään eristää omaksi tilakseen, mahdollisena ongelmana on nykyinen käytäntö käyttää painoa kulkureittinä toimistotilojen ja postituksen ja varaston alueiden välillä. Ovien jatkuva availu tietenkin päästäisi kosteuden leviämään painon ulkopuolelle ja vähentäisi tilan eristämisen tehoa. Vaihtoehtoinen reitti on kuitenkin olemassa, eikä se aiheuta ajallisesti merkittävää kiertoa. Oviaukot olisi mahdollista jättää myös pelkiksi aukoiksi. Pelkät seinätkin vähentäisivät ilmanvirtausta ja näin ollen kosteuden leviämistä etenkin oviaukoista kauempana olevassa painon osassa, jonne paperit ovat varastoituina, mutta tehokkaampaa toki olisi käyttää ovia tai verhoja.

Laitteet

Menoxin digipaino on yleensä viikonloput ja yleiset juhlapyhät suljettuna. Jotta papereiden ominaisuudet säilyisivät tasapainoisina, ilmankosteus tulisi kuitenkin pitää suositelluissa rajoissa myös silloin, kun painossa ei työskennellä. Kostutuksen tehon säätöön ja kosteuden seurantaan olisi siis hyödyllistä hankkia automaattinen säätöjärjestelmä mitta-antureineen. Samasta syystä olisi suoraan vesijohtoverkkoon liitettävä järjestelmä täytettävällä säiliöllä varustettua erillislaitetta järkevämpi ratkaisu. Mikäli valitaan järjestelmä, joka saadaan liitettyä vesijohtoverkkoon, ja paino päätetään eristää omaksi tilakseen, täytyy tilaa suunniteltaessa ottaa huomioon vesiputkien veto. Jos kuitenkin päädytään säiliöllä varustettuun ratkaisuun, täytyy sen koko mitoittaa niin suureksi, ettei vesi lopu kesken painon ollessa suljettuna. Säiliö täytyy myös muistaa täyttää aina ennen viikonloppuja ja lomia.

Mikäli Menoxissa päädytään eristämään paino omaksi tilakseen, riittää kostutustarpeen täyttämään pienitehoinenkin järjestelmä. Korkeapainejärjestelmät on usein suunniteltu suurempiin tiloihin ja suurempaan kostutustarpeeseen. Niissä ongelmaksi saattaisi muodostua myös melko matala huonekorkeus painon alueella. Paino on täynnä sähkölaitteita, ja mikäli korkeapainesuuttimia ei saada asennettua riittävän korkealle, niin että sumutettu vesi ei ehdi haihtua täysin ilmaan, se saattaa aiheuttaa ongelmia laitteiden kanssa. Puhdistamaton vesi aiheuttaisi vielä suuremman riskin veden pisaroinnille laitteiden päälle, mikäli kalkki pääsisi kerääntymään suuttimiin, joten vedenpuhdistuslaitteet olisi suotavaa hankkia korkeapainejärjestelmän kanssa. Näin pienessä järjestelmässä puhdistuslaitteiden suhteellinen osuus hinnasta olisi melko suuri. Veden puhdistus olisi myös siitä syystä suotavaa, että yhtenä tavoitteena kostutusta suunniteltaessa on vähentää pölyn aiheuttamia ongelmia. Käsittelemättömän veden suihkuttaminen tilaan lisäisi kalkkipölyä.

Alipainejärjestelmän suuttimet olisi mahdollista asentaa alemmas kuin korkeapainejärjestelmän, ilman että ne aiheuttaisivat laitteiden tai lattian kastumisongelmaa. Alipainejärjestelmän mahdollisena ongelmana on paineen tuottava kompressori. Painon alueelta on pyritty muutenkin vähentämään meteliä tuottavia

laitteita, joten kompressorin sijoittaminen sinne ei olisi järkevä ratkaisu. Kompressori tosin voidaan sijoittaa kauemmaskin suuttimista, mutta sopivaa paikkaa ei välttämättä löydy läheltä, joten paineilmaputket jouduttaisiin vetämään kauempaa. Yhtenä mahdollisuutena olisi rakentaa jonkinlainen äänieristetty laatikko kompressorille. Myös alipainejärjestelmän kanssa vedenpuhdistus olisi tarpeen. Alipainejärjestelmiäkin käytetään usein suuremmissa tiloissa, mutta säädeltävän pisarakoon ansiosta suuttimet on mahdollista sijoittaa alemmas kuin korkeapainejärjestelmän suuttimet, joten niillä on mahdollista kosteuttaa myös matalampia ja pienempiä tiloja.

Veden höyryttämiseen perustuvissa laitteissa etuna pieniä ja matalia tiloja kostutettaessa on riskittömyys pisaroinnin suhteen. Kun vesi on valmiiksi höyrystyneenä, se sekoittuu ilmaan heti tullessaan ulos suuttimista eikä sen tarvitse ehtiä haihtua matkalla suuttimelta maahan, jolloin suuttimien sijoittelu on siis helpompaa. Kun vesi höyrytetään ennen sen sumuttamista tilaan, jäävät kalkki ja muut epäpuhtaudet säiliöön, jossa höyryttäminen tapahtuu, joten erillistä puhdistuslaitteistoa ei tarvita. Ainoastaan säiliö joudutaan puhdistamaan kerääntyneestä kalkista sopivin väliajoin.

Muihin järjestelmiin nähden kosteuden tuotto höyryjärjestelmällä kuluttaa jonkin verran enemmän energiaa. Toisaalta koska kostutustarve Menoxissa ajoittuu talvikauteen eikä tiloissa käytetä merkittävästi lämpötilaa nostavia koneita, ei ilmankostutuksen viilentävästä vaikutuksesta ole hyötyä. Päinvastoin, lämmitystä jouduttaisiin nostamaan, mikäli kostutus hoidettaisiin laitteistolla, jossa vesi suihkutetaan nestemäisessä olomuodossaan ilmaan, josta se sitoisi haihtuessaan lämpöenergiaa. Käyttökustannukset eivät siis olisi merkittävästi muita vaihtoehtoja suuremmat höyryjärjestelmän kanssa.

Höyryjärjestelmän suurimpana heikkoutena Menoxin tapauksessa pitäisin poistovesiputkien tarvetta. Digipainon yhteydessä ei ole viemäreitä, vaan putket täytyisi vetää lähimmän WC:n viemäreihin. Matka WC:lle ei kuitenkaan ole kuin 10—25 m, riippuen siitä, mihin höyryntuotokeskus päätetään sijoittaa. Sijoituksessa täytyy ottaa huomioon, että veden täytyy valua alaspäin viemärille saakka.

Mielestäni höyryyn perustuva menetelmä olisi Menoxin digipainoon parhaiten soveltuva tekniikka. Asiasta kannattaa kuitenkin neuvotella vielä myös laite-edustajien kanssa. Jos painon alue päätetään eristää omaksi tilakseen, riittää tilan kostuttamiseen pienikin järjestelmä. Tarkempaa kostutustehon tarvetta en pysty arvioimaan ilman tietoa ilmastoinnin tehosta ja ilman ilmavirtausmittauksia, mutta laitteita myyvien yritysten tarjoamien pienimpien höyryyn perustuvien keskusyksiköiden pitäisi riittää, koska tila on vain hieman alle 150 m². Suuttimien sijoitteluakaan ei voi tarkemmin suunnitella ilman siitä tietoa mihin suuntaan ilma tilassa virtaa. Tärkein paikka kuitenkin olisi paperihyllyn läheisyydessä.

Paperin käsittelyohjeita

Seuraavaksi ohjeita siitä, miten liian kuivan ilman tuottamia ongelmia voitaisiin vähentää ennen kostutuslaitteiston hankintaa tai jos päätetään olla hankkimatta sitä.

Ilman kostutusta paperipaketit tulisi pitää suljettuina, kunnes niiden painaminen aloitetaan. Painokoneita ei kannata ladata valmiiksi, esimerkiksi edellisenä iltana ennen kotiin lähtöä, etteivät paperit ehdi kuivua. Mikäli mahdollista, olisi paketit hyödyllistä sulkea käytön jälkeen, jos niihin jää vielä arkkeja jäljelle. Ainakin harvemmin käytettyjen paperilaatujen kanssa olisi syytä toimia näin. Työt, jotka vaativat jälkikäsittelyä tai koneellista postitusta painamisen jälkeen, olisi järkevää painaa vasta juuri ennen jälkikäsittelyn aloittamista. Jos töitä kuitenkin joudutaan painamaan varastoon odottamaan jälkikäsittelyä, olisi arkit hyvä pakata mahdollisimman ilmatiiviisti, esimerkiksi kiertämällä pakkauskelmua arkipinon ympärille.

Mikäli kostutusjärjestelmä hankitaan vain varsinaisen painon alueelle, tulisi kaikki jälkikäsittelyä kostutusalueen ulkopuolella odottavat työt säilyttää kostutetulla alueella siihen asti, kunnes jälkikäsittely aloitetaan. Huolimatta siitä, päätetäänkö Menoxiin hankkia kostutusjärjestelmää, olisi talviaikaan tärkeää tasapainottaa paperit vallitseviin lämpötilaolosuhteisiin ennen niiden käyttöönottoa. Tämä tarkoittaa kylmästä sisälle

tuodun paperilavan seisottamista vähintään vuorokauden yli, ennen kuin paperipakkauksia avataan.

5 Yhteenveto

Työn tilaaja, Menox palvelut Oy, ei asettanut työlle muita tavoitteita kuin selvittää ilmankostutuksen tarpeellisuutta ja siihen käytettäviä metodeja sekä niiden soveltuvuutta Menoxin digitaalipainoon. Oma tavoitteenani oli löytää valmis ratkaisu kostutuksen toteutukselle, mikäli se olisi tarpeellista (ennakko-oletuksena oli, että kostutusta tarvitaan) ja tehdä kustannusarvio hankkeen toteutukseen. Projektin edetessä ymmärsin omat tavoitteeni liioitelluiksi, koska minulla ei ollut riittävästi asiantuntemusta valmiin ratkaisun suunnitteluun enkä pystynyt sitä riittävästi hankkimaan. Lisäksi minulta puuttui mittalaitteita, joita olisin tarvinnut suunnitelmien ja laskelmien tekemiseen. Ilmankostutusjärjestelmät ovat luonteeltaan sellaisia, että ne myydään asiakkaan tarpeiden mukaan suunniteltuina ja mitoitettuina paketteina tarvittavia komponentteja käyttäen, eikä niitä ole valmiiksi hinnoiteltu, joten kustannusarvion tekeminenkin oli mahdotonta.

Suhteellinen ilmankosteus kertoo ilman absoluuttisen vesisisällön suhteen siihen vesimäärään, joka ilmaan on mahdollista olla höyrystyneenä samassa lämpötilassa. Kastepiste on se lämpötila, jossa ilmassa oleva vesi alkaa tiivistyä nesteeksi. Mitä lämpimämpi ilma, sitä enemmän siihen voi olla vettä höyrystyneenä. Kun kylmää ilmaa lämmitetään lisäämättä siihen vettä, laskee sen suhteellinen ilmankosteus.

Suhteellisen ilmankosteuden tärkeimmät vaikutukset painon kannalta ovat vaikutukset paperiin. Kun ilma on liian kosteaa, absorboivat paperit vettä ilmasta. Jos taas ilma on liian kuivaa, kuivuvat paperit liikaa. Suomessa, etenkin talvella, ongelmaksi muodostuu ennemminkin liian kuiva kuin kostea ilma. Kun paperiarkit kuivuvat, vetäytyvät niiden kuidut kokoon ja aiheuttavat mittamuutoksia. Jos paperit ovat säilytettyinä tiiviissä pinnoissa, ne kuivuvat epätasaisesti ja käyristyvät. Myös paperin sähkönjoht ominaisuudet muuttuvat kosteuden mukana. Kuivuessaan paperien pintaresistiivisyys

kasvaa ja niihin kerääntyy enemmän staattista sähköä. Sähköiset ja käyrät arkit aiheuttavat ajettavuusongelmia painokoneissa. Digitaalipainossa sähkönjoht ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi myös värien siirtymiseen paperille.

Tapoja ilmankostuttamiseen on monia. Kostutusjärjestelmä on mahdollista asentaa ilmanvaihtokanavaan siten, että tilaan tuleva korvausilma on jo valmiiksi riittävän kosteaa. Toinen mahdollisuus on sumuttaa kosteus suoraan tilaan, joko useamman suuttimen järjestelmällä tai pienemmällä erillislaitteella. Yleisimpiä tekniikoita kostuttamiseen ovat veden nestemäisessä olomuodossaan tilaan suihkuttavat ali- ja korkeapainejärjestelmät, haihtumiseen perustuvat kennot ja veden kuumentamiseen perustuvat höyryjärjestelmät. Alipainejärjestelmät perustuvat paineilman käyttöön ja korkeapainejärjestelmät veden paineistamiseen.

Menoxin tiloissa suorittamistani mittauksista selvisi, että kosteus on tasaisesti levittäytynyt koko tilaan. Mittausten perusteella pystyin myös arvioimaan, että kostutus olisi tarpeen viimeistään ulkolämpötilan laskiessa alle 10 °C:seen.

Suositukseni on eristää paino erilliseksi tilakseen, jotta kosteus ei pääse liiaksi leviämään ympäröivään tilaan. Tällä tavoin kostutus voidaan hoitaa pienellä ja halvemmalla järjestelmällä ja myös käyttökustannuksissa säästetään. Oman arvioni mukaan pieni höyryjärjestelmä voisi olla tekniikoista soveltuvin Menoxin tarpeisiin. Erilaisista tekniikoista kannattaa kuitenkin neuvotella vielä tarkemmin asiantuntijoiden kanssa laitteita hankittaessa. Paperien varastointiin ja käsittelyyn kannattaa kiinnittää huomiota. Mikäli papereita joudutaan säilyttämään kostuttamattomalla alueella, ne olisi syytä pitää mahdollisimman tiiviisti pakattuina siihen asti, että niitä aletaan käsitellä. Jos joudutaan painamaan töitä varastoon odottamaan jälkikäsitelyä, ne tulisi joko säilyttää kostutetulla alueella tai sitten pakata uudestaan.

Uskon Menoxille olevan hyötyä tekemistäni selvityksistä ja mittauksista jatkoa ajatellen. Tekemiäni suosituksia voidaan käyttää pohjana, kun kostutushanketta viedään eteenpäin.

Lähteet

- 1 Ilmankosteus. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmankosteus>>. Päivitetty 27.5.2008. Luettu 15.1.2009.
- 2 Thompson, Bob. Printing Materials Science and Technology. Surrey: Pira International, 1998.
- 3 Pope, Tamara D. The Guide to Paper and Digital Printing. Charlottesville: INTERQUEST.1999.
- 4 Kastepiste. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kastepiste>>. Päivitetty 15.1.2009. Luettu 16.1.2009.
- 5 Lehtonen, Eero; Mattila, Pentti; Veilo, Petri; Raninen, Tanja. Digitaalinen painoviestintä. Vantaa: WSOY, 2003.
- 6 Lehtinen, Marko. Elektrofotografia ja sen asettamat vaatimukset painopaperille. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, 2006.
- 7 Mäkelä, Reetta. Paperin ominaisuuksien ja kuivatoonerin partikkelikoon vaikutus elektrofotografian mikromittaiseen laatuun. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, 2005.
- 8 Englund, Marcus. Toimitusjohtaja, Caldomix Oy, Helsinki. Keskustelu 9.12.2008.
- 9 Päivärinta, Jarmo. Toimitusjohtaja, Brautek Oy, Espoo. Keskustelu 15.12.2008.
- 10 Ilmastotilastot. (WWW-dokumentti.) Ilmatieteen laitos.
<<http://www.fmi.fi/saa/tilastot.html>>. Luettu 19.3.2009.
- 11 Climate/humidity table. (WWW-dokumentti.) Transport information service.
<http://www.tis-gdv.de/tis_e/misc/klima.htm>. Luettu 23.3.2009.

Liite 1. Kosteusmittausten tulokset 1/2

Kosteus Mittaukset

Pvm: 17.12.08 15:00 Sää: pilvinen

Erityistä:

Terminaali oviauki

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	21	30,5	2,6	5,4
giljotiini	21,3	29	2,6	5,5
kuorituskone	21,1	29,5	2,6	5,5
terminaali	16,3	30,5	-0,9	4,2
Ulko	2,7	75	-2,5	4,6

Kosteus Mittaukset

Pvm: 18.12.08 14:30 Sää: pilvinen

Erityistä:

Terminaalissa oven availua ei koko ajan auki

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	20,6	31,9	3,1	5,7
giljotiini	21,3	31,1	3,7	5,9
kuorituskone	20,6	31,3	3	5,6
terminaali	17,5	34,7	1,8	5,2
Ulko	5,3	77	0,8	5,2

Kosteus Mittaukset

Pvm: 22.12.08 13:15 Sää: pilvinen

Erityistä:

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	20,1	32,1	2,9	5,6
giljotiini	20,8	31,3	3,1	5,6
kuorituskone	20,2	31,9	3	5,6
terminaali	18,1	33,5	1,5	5,1
Ulko	6	69,9	0,5	5,2

Kosteus Mittaukset

Pvm: 23.12.08 14:15 Sää: pilvinen

Erityistä:

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	20,2	28,5	0,9	4,8
giljotiini	21	25,6	0,5	4,7
kuorituskone	20,2	30,5	1,4	4,9
terminaali	17,8	25	-2,7	3,7
Ulko	1	68,8	-4,6	4,1

Liite 1. Kosteusmittausten tulokset 2/2

Kosteus Mittaukset

Pvm: 30.12.08 09:45 Sää: pilvinen

Erityistä:

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	20,3	26	0,1	4,7
giljotiini	20,5	26	0,1	4,8
kuorituskone	19,8	28	1	4,9
terminaali	17,7	24,2	-3,7	3,5
Ilko	-0,5	72,6	-4,7	4

Kosteus Mittaukset

Pvm: 02.01.09 13:30 Sää: Aurinkoinen

Erityistä:

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	20,1	23,2	-1,8	4
giljotiini	21	21,8	-2	4
kuorituskone	20,3	22,4	-1,8	3,7
terminaali	17,3	13,5	-10	1,9
Ilko	-6,8	70,6	-11	2,9

Kosteus Mittaukset

Pvm: 05.01.09 00:00 Sää: Aurinkoinen

Erityistä:

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	19,3	25,5	-1,2	4,2
giljotiini	19,8	21,8	-2,4	3,8
kuorituskone	19,3	23,2	-2,5	3,8
terminaali	17,5	7,5	-18	1,7
Ilko	-11	61,6	-16	2,2

Kosteus Mittaukset

Pvm: 19.01.09 13:30 Sää: Pilvinen

Erityistä:

Paikka	Lämpötila	Suht.Kost.	Kastepiste	Abs.Kost.
Paperihylly	20,7	24,7	-0,5	4,5
giljotiini	21,2	23,3	-0,8	4,3
kuorituskone	20,3	25,1	-0,7	4,4
terminaali	16,7	24,2	-4	3,5
Ilko	-0,5	72,4	-5,2	3,8

Liite 2. Laskelmia kostutustarpeesta

Koko tilan kostutus:

Tilavuusarvio monikäyttötila+varasto:

$$700\text{m}^2 * 4\text{m} + 1700\text{m}^2 * 8\text{m} = 16400\text{m}^3$$

Vesihöyrystä kylläisen ilman absoluuttinen kosteus lämpötilan ollessa 20°C:

$$SH_{20^\circ\text{C}} = 17.3 \text{ g/m}^3 \text{ (11).}$$

Ilan absoluuttinen vesisisältö lämpötilan ollessa 20 °C ja suhteellisen ilmankosteuden

$$\text{ollessa } 30 \% : AH_{20^\circ\text{C}, 30 \%} = 5,2 \text{ g/m}^3 \text{ (11).}$$

Ilan absoluuttinen vesisisältö lämpötilan ollessa 20 °C ja suhteellisen ilmankosteuden

$$\text{ollessa } 40 \% : AH_{20^\circ\text{C}, 40 \%} = 6,9 \text{ g/m}^3 \text{ (11).}$$

Kostutustarve jos koko tilan suhteellinen kosteus halutaan nostaa 30%:sta 40%:tiin:

$$6,9 \text{ g/m}^3 - 5,2 \text{ g/m}^3 * 16400\text{m}^3 = 27880\text{g} = 27,880\text{kg} .$$

Pelkän painon kostutus:

Tilavuusarvio paino:

$$140\text{m}^2 * 4\text{m} = 560\text{m}^3$$

Kostutustarve jos pelkän painon suhteellinen kosteus halutaan nostaa 30 %:sta

40 %:tiin:

$$6,9 \text{ g/m}^3 - 5,2 \text{ g/m}^3 * 560\text{m}^3 = 952\text{g} = 0,952\text{kg} .$$