

Eero Harjukoski

Uimahallitilojen energiatehokas kuivaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
11.03.2012

| | |
|--|---|
| Tekijä(t) Otsikko | Eero Harjukoski Uimahallitilojen energiatehokas kuivaus |
| Sivumäärä Aika | 37 sivua + 6 liitettä 11.03.2012 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | talotekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | tuotantopainotteinen |
| Ohjaaja(t) | toimitusjohtaja Lauri Jääskeläinen lehtori Jorma Säteri |
| <p>Tämä insinöörityö tehtiin TKK:n tutkimusryhmälle, joka selvittää uimahallien ja jäähallien energiatehokkuutta ja sen parantamista. Työ liittyi TKK:n tutkimusryhmän vuonna 2009 tekemään selvitykseen Hakunilan uimahallin allastilojen sen hetkisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ja energiatehokkuudesta. Tehdyssä selvityksessä hyödynnettiin insinöörityössä tehtyjä mittaustuloksia Hakunilan uimahallin ilmanvaihtojärjestelmistä.</p> <p>Insinöörityön tavoitteena oli kuvata uima-allastilojen ilmanvaihto-olosuhteiden vaatimukset, esitellä yleisimmät uima-allastilojen ilmankuivausprosessit ja selvittää Hakunilan uimahallin allastilojen nykytilanne ilmanvaihdon toiminnan osalta erilaisilla mittauksilla.</p> <p>Hakunilan uimahalli oli menossa perusteelliseen korjaukseen vuoden 2010 aikana. Kohteessa tehdyillä mittauksilla oli tarkoitus selvittää nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja sen puutteet, jotta tulevassa peruskorjauksessa löydetty ongelmat ja havaitut kehitys-ehdotukset voitaisiin ottaa huomioon. Kohteesta tehdyt suunnitelmat olivat kuitenkin mittausten suoritusvaiheessa jo varsin pitkällä, eikä niistä saatua tietoa ehditty kaikin osin saada mukaan suunnitteluun. Selvää kuitenkin oli, että tämäntyyppiset selvitykset olisivat jatkossa varsin tarpeellisia ennen peruskorjauksen suunnittelun aloitusta.</p> <p>Hakunilan uimahallin mittauksissa selvisi kuivatun kiertoilman käytön ehdoton hyödyllisyys ilmanvaihtolaitoksen energiatehokkuuden parantajana. Kondensoivan kuivauksen lauhde-lämmön tehokkaan talteenoton varmistamiseksi, olisi hyvä ottaa harkintaan käyttöveden tai allasvesien lämmitys hukkalämmöllä. Huoltohenkilökuntaa haastateltaessa selvisi, että kondensoivan kuivauksen heikoin lenkki on sen laitteiden toimivuus. Laitoksiin valittavat laitteet on valittava varmatoimisiksi ja niissä on oltava riittävän tarkat mittaus-, hälytys- ja seurantatoiminnot, jotta niiden toimintaa voidaan tarkastella ja ilmeneviin vikoihin reagoida nopeasti.</p> | |
| Avainsanat | ilmastointi, uima-allastilat, energiatehokkuus, kosteudenpoisto |

| | |
|---|--|
| Author(s) Title | Eero Harjukoski Energy efficient dehumidification of swimming pool facilities |
| Number of Pages Date | 37 pages + 6 appendices 11 March 2012 |
| Degree | Bachelor of engineering |
| Degree Programme | Building Service Engineering |
| Specialisation option | HVAC Engineering, Production Orientation |
| Instructor(s) | Lauri Jääskeläinen, Instructor Jorma Säteri, Senior Lecturer |
| <p>The aim of this final year project was to describe the requirements for the air conditioning of swimming pool facilities and to present the most common air-drying processes at swimming pool facilities. The aim was also to investigate the current situation of the air conditioning system at the Hakunila Swimming Pool and find out how to improve the energy efficiency of the air dehumidification.</p> <p>A series of measurements were made in the Hakunila Swimming Pool between the 18th and 24th of March 2010. The most important measurements were made with air temperature/humidity data loggers. With the results of the measurements and the interviews of the maintenance staff it was possible to figure out how to improve the current air conditioning system.</p> <p>From the measurements it was clear that it would be very beneficial to use dried rotational air in order to improve the energy efficiency of the air conditioning facility. To ensure heat recovery from the waste heat of the condensation drying, the alternative of heating both the pool water and the tap water with waste heat should be considered. Furthermore, the equipment in the facilities should be reliable at all times. In the future, studies like this should always be carried out before planning renovations in swimming pool facilities.</p> | |
| Keywords | Air conditioning, swimming pool facilities, energy efficiency, dehumidification |

Sisällys

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Insinööriyön tavoitteet | 1 |
| 3 | Olosuhteet uimahallitiloissa | 2 |
| 3.1 | Sisäilman laatu ja ilman liike | 2 |
| 3.1.1 | Määräykset | 2 |
| 3.1.2 | Terveydelliset seikat | 3 |
| 3.2 | Allasvesien lämpötila | 4 |
| 3.3 | Allastilan ilman lämpötila | 4 |
| 3.4 | Allastilan ilman suhteellinen kosteus | 5 |
| 4 | Ilmanvaihdon prosessit | 6 |
| 4.1 | Mollier-diagrammi | 6 |
| 4.2 | Lämmitys | 8 |
| 4.3 | Jäähdytys | 8 |
| 4.4 | Lämmöntalteenotto | 10 |
| 4.5 | Ilmavirtojen sekoittaminen | 11 |
| 4.6 | Kuivaus | 11 |
| 5 | Uima-allastilojen kuivaus | 12 |
| 5.1 | Kondensoiva kuivaus ja ilmavirtojen sekoitus | 12 |
| 5.2 | Kuivaus ulkoilmalla | 12 |
| 6 | Hakunilan uimahallin mittaukset | 13 |
| 6.1 | Hakunilan uimahallin esitiedot | 13 |
| 6.2 | Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihdon toimintaperiaate | 16 |
| 6.3 | Mittalaitteet | 17 |
| 6.4 | Mittauksen tavoitteet | 20 |
| 6.5 | Mittauksen valmistelu | 21 |
| 6.6 | Mittauksen toteutus | 21 |
| 6.7 | Mittausten purku | 23 |
| 7 | Hakunilan uimahallin mittaustulokset | 23 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.1 | Mittaustulosten käsittely | 23 |
| 7.2 | Ilmamäärät allas- ja pesutiloissa | 24 |
| 7.3 | Allasvesien lämpötilat | 24 |
| 7.4 | Sisäilman ja poistoilman olosuhteet uima-allastiloissa | 25 |
| 7.5 | Ulkoilman ja raitisilman olosuhteet mittausjaksolla | 26 |
| 7.6 | Allastilojen kosteustuotto | 27 |
| 7.7 | Kiertoilman olosuhteet kondensoivan jäähdyttimen jälkeen | 28 |
| 7.8 | Tuloilma LTO:n ja lauhduttimen jälkeen | 29 |
| 7.9 | Ilmanvaihdon ja kuivaimen kuivausteho | 30 |
| 7.10 | Kiertoilman kondensoivan kuivaimen toiminta | 30 |
| 8 | Päätelmät | 31 |
| 8.1 | Hakunilan uimahallin nykyisen ilmanvaihdon toiminta | 31 |
| 8.1.1 | Allastilan ilman olosuhteet | 31 |
| 8.1.2 | Allastilan ilmanvaihtokojeen toiminta | 32 |
| 8.1.3 | Esimerkki ilman olotilan muutoksista ilmastointikojeessa TIK1/PIK1 | 32 |
| 8.1.4 | Pesu-, sauna- ja pukuhuonetilat ilmanvaihtokojeineen | 33 |
| 8.2 | Kehitysehdotukset mittauksien perusteella | 33 |
| 8.2.1 | Allastilan ilmanvaihtokojeen ja kondensoivan kuivaimen energiatehokkuuden parantaminen | 33 |
| 8.2.2 | Pesu-, sauna- ja pukuhuonetilojen ilmanvaihtolaitteiden energiatehokkuuden parantaminen | 35 |
| 8.2.3 | Yleiset kehitysehdotukset ilmanvaihtokojeiden varusteluun | 35 |
| 9 | Yhteenveto | 36 |
| | Lähteet | 37 |

Liitteet

Liite 1. Mollier-diagrammi

Liite 2. Toimintakaavio, Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihtokoje TIK1/PIK1 sekä dataloggerien sijoituspisteet kojeessa.

Liite 3. Toimintakaavio, Hakunilan uimahallin pesu-, sauna- ja pukuhuonetilojen ilmanvaihtokoje TIK2/PIK2 sekä dataloggerien sijoituspisteet kojeessa.

Liite 4. Säättökaavio, Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihtokoje TIK1/PIK1

Liite 5. Tulo- ja poistoilman lämpötilan- ja kosteuden muutokset ilmastointikojeen TIK1/PIK1 eri kohdissa.

Liite 6. Kondensoivan kuivaimen lauhdelämmön talteenoton parannusehdotus

1 Johdanto

Suomessa on paljon uimahalleja, virkistysuimaloita ja kylpylöitä. Uimahallit on yleensä tarkoitettu urheiluun, kuntoutukseen ja uimaopetukseen. Virkistysuimalat tarjoavat perinteisten uimahallipalveluiden lisäksi erilaisia rentoutumismahdollisuuksia ja mahdollisuuden monenlaisiin vesileikkeihin. Kylpylät taas voidaan jakaa terveyskylpylöihin ja virkistyskylpylöihin. Virkistyskylpylät tarjoavat vesiliukumäkiä, aaltoaltaita, poreammeita sekä erilaisia saunomismahdollisuuksia. Terveyskylpylät ovat hoitopainotteisia kylpylöitä, joissa pääpaino on erilaisilla terapia- ja hoitoaltailla sekä niiden ohessa tarjottavilla kylpylä- ja hieronta palveluilla. (2)

Yhteistä näille kaikille uimahallityypeille on niiden LVIA-tekniisesti haastava sisäilmasto. Kostea ja lämmin sisäilma vaatii paljon ilmanvaihtoa ja lämmitystehoa, jotta olot uimahalleissa pysyisivät siedettävänä sekä käyttäjille että henkilökunnalle. (2)

Kuntouintiin tarkoitetun altaan allasveden mitoituslämpötila on +26... +28 °C, kylpylöissä olevien porealtaiden allasveden lämpötilan mitoituslämpötilat ovat jopa +35... 37 °C. Jotta veden haihtuminen altaista pysyisi kohtuullisena, on allastilan ilman lämpötila syytä mitoittaa noin 1,5–2,5 °C allasveden lämpötilaa korkeammaksi. Ilman suhteellinen kosteus pyritään pitämään samasta syystä noin 45–55 %:ssa. Nämä vaatimukset tekevät uima-allastilojen ilmanvaihdosta huomattavasti haastavamman kuin perinteisissä kohteissa, etenkin Suomen vaihtelevissa sääoloissa. (2)

Jotta ilmanvaihto pystyttäisiin toteuttamaan uimahalleissa mahdollisimman energiatehokkaasti, on tarpeellista selvittää parhaat mahdolliset tavat kuivata ilmaa, ottaa lämpö talteen ja hyödyntää kiertoilmaa.

2 Insinööriyön tavoitteet

Insinööriyön tavoitteena on selvittää uima-allastilojen optimaaliset toimintaolosuhteet, jossa sisäilma pysyy miellyttävänä ja ilmanvaihtoon ja ilman kuivaamiseen kuluva energia määrä kohtuullisena.

Mallikohteena on Hakunilan uimahalli. Hakunilan uimahallissa suoritetaan mittaukset, joissa selvitetään nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Mittauksissa selvitetään uima-allastilan kosteuden tuotto, sisäilmaolosuhteet, kosteuden poisto raitisilman ja kondenssikuivaimella varustetun kiertoilman avulla.

Mittausten perusteella selvitetään, miten Hakunilan uimahallin sisäilman olosuhteet vastaavat suositeltuja tasoja. Samalla selvitetään uima-allastilan nykyisen ilmastointilaitteen energiankulutusta. Mittaustulosten perusteella esitetään parannusehdotukset nykyiseen järjestelmään niin sisäilman tason kuin energiankulutuksenkin kannalta.

Pohjatietoina insinööriyössä käydään läpi ilmanvaihdon perusprosessit, jotka liittyvät olennaisesti sisäilman olosuhteiden hallintaan.

3 Olosuhteet uimahallitiloissa

3.1 Sisäilman laatu ja ilman liike

3.1.1 Määräykset

Uimahalleja koskevat samat sisäilman laatua koskevat määräykset ja ohjeet kuin muitakin rakennuksia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 määritellään uima-allastilan ulkoilmavirraksi vähintään $2 \text{ dm}^3/\text{m}^2$. Arvoa on tulkittava siten, että tämän ilmavirran on toteuduttava aina kun allastiloissa on uimareita tai henkilökuntaa.

Normaalisti allastilojen raitisilmavirrat ovat kuitenkin määräyksiä suurempia, sillä liiallisen kosteuden poisto ja ihmisistä ja allasvedestä vapautuvien epäpuhtauksien poisto vaatii määräyksiä suurempia raitisilmavirtoja. Poikkeuksena voi olla talviaika, jolloin ulkoilman vähäinen kosteus voi tiputtaa kosteuden hallintaan tarvittavat raitisilmavirrat rakentamismääräyskokoelman määrittämän raitisilmavirran, $2 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, alle. Näin ollen ilmanvaihtoa on ohjattava siten, että rakennusmääräyskokoelman määräykset täyttyvät.

Allastilan ilman suurimaksi sallituksi nopeudeksi määritellään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan $0,4 \text{ m/s}$. Alueilla, joilla uimarit liikkuvat ja oleskelevat, suositellaan suurimmaksi nopeudeksi $0,15 \text{ m/s}$. Altaan kohdalla ilman nopeudet voivat olla suurempiakin.

3.1.2 Terveydelliset seikat

Maankäyttö- ja rakennusasetuksen (895/1999) 50 §:ssä edellytetään, että rakennuksesta ei saa aiheutua hygienian tai terveyden vaarantumista syistä, jotka liittyvät mm. ilmassa oleviin vaarallisiin hiukkasiin tai kaasuihin taikka rakennuksen osien tai sisäpintojen kosteuteen. (6)

Terveydellisiin seikkoihin on kiinnitettävä uimahallitiloissa erityistä huomiota, sillä uima-allastilojen ilma on hyvin kosteaa, lämmintä ja siinä on paljon allasvedestä haihtuneita epäpuhtauksia. Allasveden mukana ilmaan siirtyy mm. veden kloorauksesta muodostuvia klooriyhdisteitä. Nämä klooriyhdisteet aiheuttavat uimahalleille tyypillisen ”kloorin hajun”. (6)

Uima-allastilojen ilmastointi on suunniteltava siten, että tiloihin syntyvät epäpuhtaudet saadaan riittävässä määrin poistettua allastiloista. Ilmanvaihdon mitoitus hankaloittaa se, ettei kaikille ilmassa esiintyvillä haitallisilla aineilla ole määritelty tarkkoja enimmäispitoisuuksia Suomessa. (6)

Allasvedestä haihtuvien epäpuhtauksien määrän vaikuttaa pääosin samat asiat, kuin veden haihtumiseen altaasta. Tämän tiedon avulla on voitu määrittää karkea nyrkkisääntö, jonka mukaan epäpuhtauksien poistoon allastilan ilmasta tarvitaan vähintään 30 % samasta ilmavirrasta, joka vaaditaan tilan kosteuden poistoon. Tästä syystä ilmavirran mitoittavaksi tekijäksi riittää yleensä riittävä kosteuden poisto. (6)

3.2 Allasvesien lämpötila

Allastilojen ilmanvaihdon mitoituksen kannalta oleelliset lähtötiedot ovat allasvesien lämpötila ja altaiden koko. Allasveden lämpötila määrittää allastilan halutun ilman lämpötilan. Ohjearvot erilaisille allastyypeille on esitetty LVI-kortissa 06-10451 (liite 2). Tässä ne on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Allasveden lämpötilojen ohjearvot eri allastyypeille.

| Allastyypit: | Allasveden lämpötilan ohjearvo, °C |
|--|------------------------------------|
| Pääallas, kunto- ja kilpauintiin | +26...+28 |
| Hyppyallas, sukellus, uppopallo | +26...+28 |
| Monitoimiallas, vesivoimisteluun ja vauvauintiin | +30...+34 |
| Vauvauinti | vähintään +32 |
| terapia-allas, vesiterapia | +30...+32 |
| Opetusallas, uimaopetus | +28...+30 |
| Kahluuallas, pikkulasten leikki | +30...+32 |
| Kylmävesiallas | +4...+8 |
| Vesiliukumäkien alastuloallas | +30...+32 |
| Poreallas ja vesihieronta normaaleissa uimahalleissa | +30...+33 |
| Poreallas ja vesihieronta kylpylöissä | +35...+37 |

3.3 Allastilan ilman lämpötila

Jotta allasveden haihtuminen altaista vähenisi, pyritään allastilan lämpötila pitämään aina hieman allasveden lämpötilaa korkeampana. Koska ilmanvaihdon mitoittavana tekijänä allastiloissa on yleensä haihtuva kosteus, pystytään haihduntaa pienentämällä pienentämään myös tarvittavaa ilmanvaihtoa. Tämä tietysti pienentää myös uimahallin energiakulutusta.

Uimahallin käyttäjät hyötyvät riittävän korkeasta ilman lämpötilasta siten, että haihdunta uimareiden iholla olevasta vedestä vähenee ja sen aiheuttama viileyden tunne siinä samalla.

Normaalisti allastilan ilman lämpötilaksi pyritään asettamaan noin 1,5–2,5 °C korkeampi lämpötila kuin tilan allasveden lämpötila. Viihtyisyyden ja haihtumisen pienentämisen kannalta ilman lämpötila voisi olla jopa 4 °C allasveden lämpötilaa suurempi. Yleensä pyritään kuitenkin siihen, ettei allastilan lämpötila ole yli 31 °C. (2)

3.4 Allastilan ilman suhteellinen kosteus

Jotta veden haihtuminen allastiloissa pysyisi mahdollisimman pienenä, pidetään ilman suhteellinen kosteus mahdollisimman korkeana. Tämä tarkoittaa yleensä 45–55 %:n suhteellista kosteutta, jonka mukaan ilmanvaihto mitoitetaan. Suhteellinen kosteus ei saa ylittää 60 %:a kuin hetkellisesti, sillä yli 60 %:n suhteellinen kosteus tarjoaa suotuisat olosuhteet mikrobikasvustoille ja huonontaa uimareiden viihtyisyyttä uimahallitiloissa.

LVI-kortissa 06-10451 on esitetty sveitsiläinen ohje suhteellisen kosteuden ylärajalle. Tämä ns. huonovointisuusraja suhteelliselle kosteudelle riippuu allastilan lämpötilasta seuraavalla tavalla: 28 °C / 60 %, 30 °C / 55 %, 32 °C / 50 %.

Vanhoissa uimahalleissa on usein lämmöneristyskyvyiltään huonoja rakenteita, jolloin ilman suhteellista kosteutta voidaan joutua alentamaan talviaikoina, jotta vältyttäisiin kosteuden tiivistyminen rakenteisiin.

Jotta allastilojen suhteellista kosteutta ei tarvitsisi vähentää, on allastilan rakenteiden oltava sellaisia, että kovimmillakaan pakkasilla rakenteiden pintalämpötiloilla ilman suhteellinen kosteus ei nousisi yli 85 %:n.

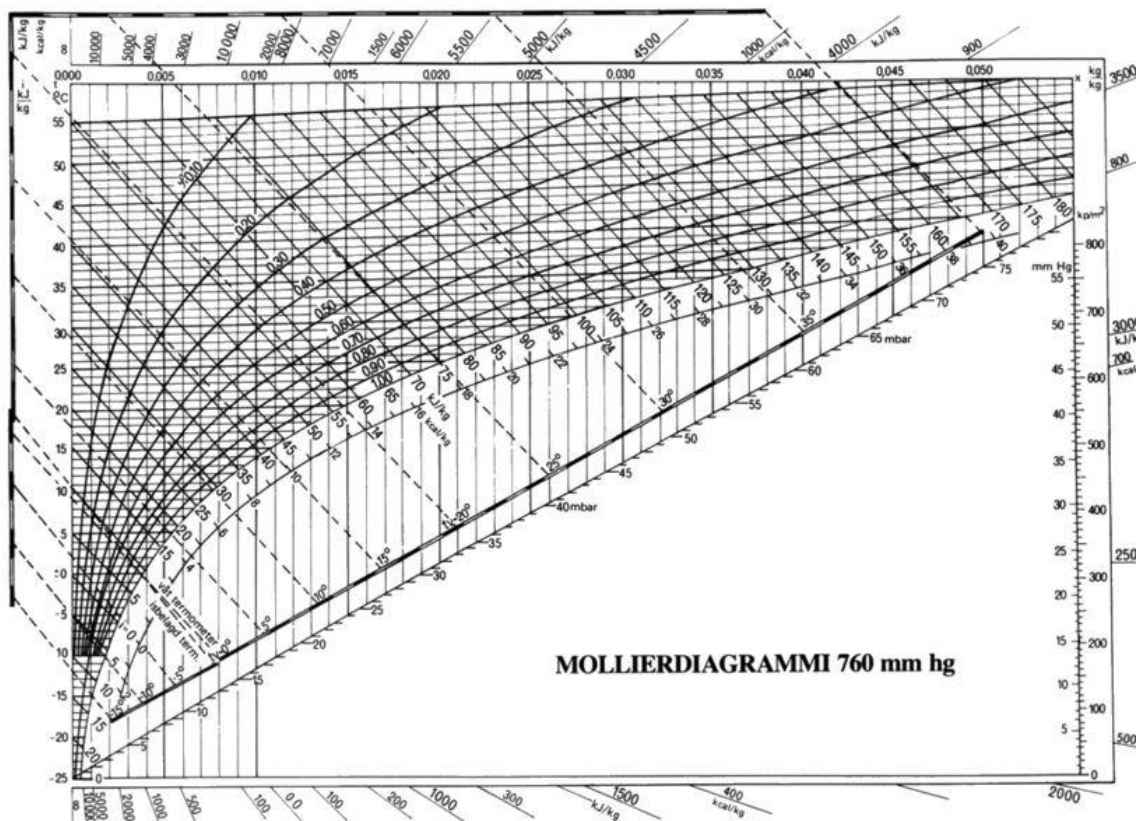
Rakenteista lämpötekniisesti heikoimpia ovat yleensä ikkunat ja ulko-ovet. Näiden pintalämpötilaa voidaan nostaa ikkunan pintaa pitkin tapahtuvalla lämpimän ilman puhalluksella tai vaikka sähkölämmitteisillä lasilla.

Nykyisillä lämmöneristysvaatimuksilla tehdyt uimahallit pystyvät yleensä toimimaan ilman suhteellisen kosteuden laskemisen tarvetta, jos rakenteisiin ei ole jäänyt kylmäsiltoja. (2)

4 Ilmanvaihdon prosessit

4.1 Mollier-diagrammi

Mollier-diagrammi on hyvä työkalu tutkittaessa erilaisia ilmanvaihdon prosesseja. Sen avulla voidaan esittää ilman suhteellinen kosteus, absoluuttinen kosteus, lämpötila ja entalpia, sekä niiden muutokset erilaisissa ilmanvaihdon prosesseissa. Sen avulla voidaan helposti kuvata ilman olotilan muutokset esimerkiksi ilmaa jäähdytettäessä, lämmitettäessä ja kuivatessa. Kuvan 1 Mollier-diagrammi esittää ilman olotilat lämpötiloissa $-25... +55$ ja absoluuttiset kosteuden arvot väliltä $0... 055$ kg/kg k.i. Mollier-diagrammissa esitetyt ilman ominaisuudet muuttuvat ilmanpaineen muuttuessa, siksi niissä yleensä esitetään, missä ilmanpaineessa kyseinen diagrammi pätee. Koko sivun Mollier-diagrammi esitetty liitteessä 1.



Kuva 1. Mollier-diagrammin avulla on helppo tarkastella ilman ominaisuuksia eri lämpötiloissa ja kosteuspitoisuuksissa sekä kuvata erilaisia ilmanvaihdon prosesseja.

Mollierdiagrammissa käytetään yleensä seuraavia suureita:

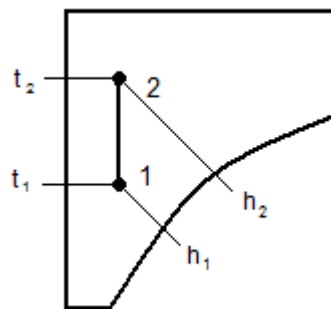
| | |
|-----------------------------------|------------|
| t on kuiva lämpötila | °C |
| φ on suhteellinen kosteus | % |
| x on vesisisältö | kg/kg k.i. |
| h on entalpia (lämpösisältö) | kJ/kg |

Mollierdiagrammin vasemman laidan pystyakseli kuvaa ilman kuivalämpötilaa, °C. Samalla se kuvaa ilman suhteellista kosteutta 0 %. Pystyakselilta oikealle siirryttäessä on diagrammiin piiretty kaarevia viivoja 0,10... 1,00. Nämä kaarevat viivat kuvaavat ilman suhteellista kosteutta. Viiva, jossa suhteellinen kosteus on 1.00 eli 100 %, kuvaa samalla ilman kastepistettä. Diagrammin ylälaidassa vaaka-akselilla on esitetty ilman vesisisältö, kg/kg k.i. Tämä akseli kuvaa ilman vesisisältöä, kilogrammaa vettä yhtä kilogrammaa kuivaa ilmaa kohden. Kuivan ilman määrä pysyy muuttumattomana ilman vesihöyryn määrästä riippumatta.

Ilman entalpia eli lämpösisältö on ilmoitettu ilman 100 %:n suhteellista kosteutta kuvaavan käyrän eli kastepistekäyrän viereen. Entalpia on esitetty 5 kJ:n/kg välein kastepistekäyrältä vasemmalle ylös kulkevinä suorina.

4.2 Lämmitys

Ilmanvaihtokoneessa ilmaa lämmitetään yleensä joko vesikiertoisella lämpöpatterilla tai sähköpatterilla. Ilmaa lämmitettäessä absoluuttinen kosteus pysyy muuttumattomana, mutta ilman suhteellinen kosteus laskee, koska lämpimämpi ilma pystyy sitomaan enemmän kosteutta kuin viileämpi ilma. Lämmitettäessä ilmaa ilman lämpösisältö luonnollisesti kasvaa. Mollierdiagrammissa prosessi kuvataan pystysuoraan nousevalla käyrällä (kuva 2). (4)



Kuva 2. Ilman lämmitysprosessi Mollierdiagrammista luettuna. Ilmaa lämmitetään pisteestä 1 pisteeseen 2. Koska absoluuttinen kosteus ei vähene eikä lisääny, nousee viiva pystysuoraan. Sen sijaan suhteellinen kosteus laskee. Lämpötila ja entalpia kasvaa.

4.3 Jäähdytys

Ilmaa jäähdytetään yleensä jäähdytyspatterilla, tällöin ilma johdetaan jäähdytettyjen pintojen läpi. Jos jäähdyttävä pinta on lämpimämpi kuin ilman kastepiste, ei kosteuden positumista tapahdu. Tämä ns. kuivajäähdytys kuvataan mollierdiagrammissa kuten lämmitysprosessi, mutta ylhäältä alas. (4)

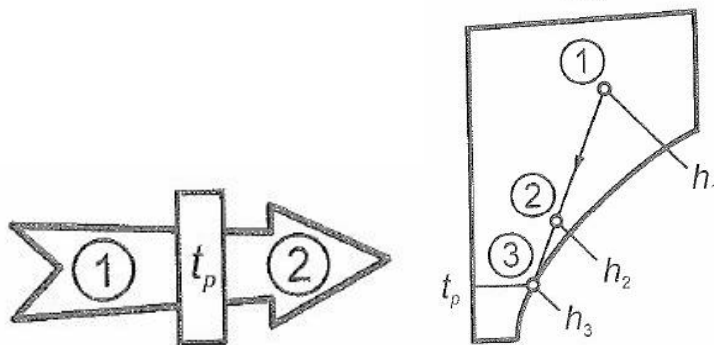
Usein jäähdytys toteutetaan kuitenkin jäähdytyspatterilla, jonka pinta on kylmempi kuin kastepiste. Tällöin jäähdytyspatterin pinnalle tiivistyy vettä, patterin pinta on siis märkä. Tällöin puhutaan märkäjäähdytyksestä. (4)

Märkäjäähdytys voidaan jakaa kahteen ryhmään. Toisessa ryhmässä jäähdytyspatterin pintalämpötila on koko jäähdytyspinnaltaan sama. Tällaisia ovat suorahöyrysteiset patterit, joissa lämmönsiirtoaineena on höyrystyvä kylmäaine (Kuva 3). Toisessa ryhmässä patterin pintalämpötila muuttuu lämmönsiirrin pintaa pitkin (kuva 4). Tähän

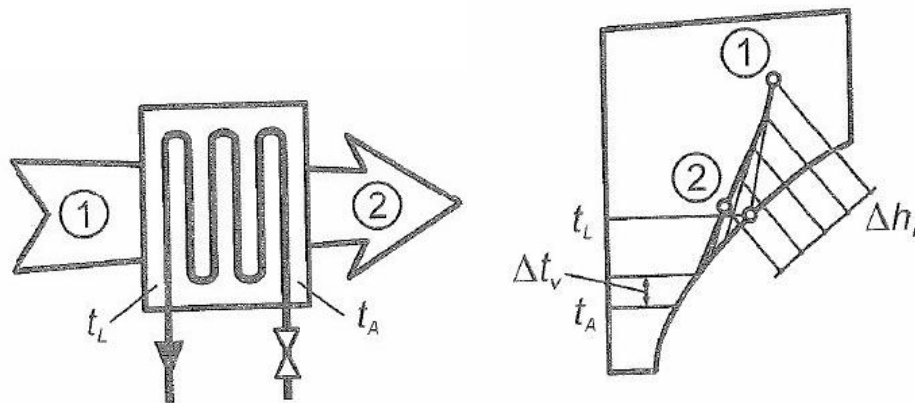
ryhmään kuuluvat nestejäähdytteiset patterit, joissa lämmönsiirrinaineena on esimerkiksi kylmä vesi. (4)

Mollier-diagrammissa esitettynä märkjäähdytyksen prosessisuora liikkuu lähtöolotilasta kohti jäähdytyspatterin keskimääräistä pintalämpötilaa. Kuvissa 3 ja 4 esitetyistä prosessisuorista voi huomata, että ilman absoluuttinen kosteus pienenee. Tämä johtuu siitä, että ilman kosteus tiivistyy jäähdytyspatterin pinnalle ja valuu siitä yleensä kondenssipoistoputkea pitkin viemäröintipisteeseen. Jäähdytettävän ilman loppulämpötila jää suora- ja kosteudella jäähdytyspattereilla noin $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja vesikiertoisilla jäähdytyspattereilla noin $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ patterin keskimääräistä pintalämpötilaa korkeammaksi. (4)

Lisäksi voidaan käyttää evaporatiivista jäähdytystä. Tässä jäähdytystavassa ilmaa jäähdytetään ohjaamalla ilmavirta märän kennoston läpi. Ilman lämpö siirtyy veteen, joka haihtuu ilmaan. Tällöin jäähdytettävä ilma jäähtyy ja kostuu. Ilman kämpösisältö pysyy muuttumattomana, mutta sen lämpötila laskee. Tämä jäähdytysmuoto on uimahallitiloissa hyödytön, sillä tarkoituksena on yleensä mieluummin poistaa ilmasta kosteutta lisäämisen sijaan. (4)



Kuva 3. Suora- ja kosteudella jäähdytyspatterilla märkjäähdytysprosessissa ilman lämpötila lähenee jäähdytyspatterin pintalämpötilaa kastepisteessä. Koska patterin pinnalle tiivistyy vettä ilmasta, ilman absoluuttinen kosteus vähenee (8, s. 92.)



Kuva 4. Vesi- tai glykolikiertoisen jäähdytyspatterin pintalämpötila muuttuu, kun kiertävä neste lämpimää kulkiessaan patterin läpi. Tästä johtuen jäähdytyspatterin jälkeinen ilman olotila ei ole prosessisuoralla (8, s. 92.)

4.4 Lämmöntalteenotto

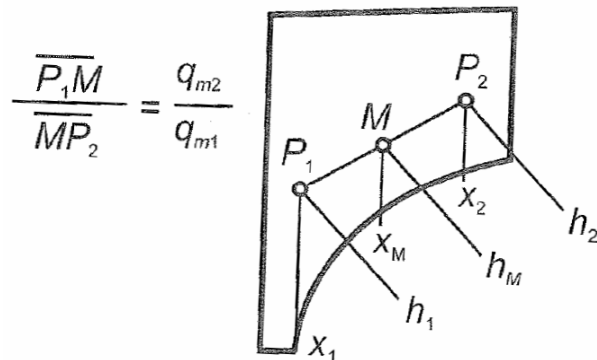
Ilmanvaihdon lämmöntalteenotossa lämpimästä poistoilmasta otetaan lämpöä ja se siirretään viileään raitisilman lämmittämiseen. Kaikissa lämmöntalteenottomuodoissa tuloilma ottaa lämpötehoa vastaan kuin poistoilma sitä luovuttaa. (11, s. 90)

Lämmöntalteenottolaitteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: hygroskooppiset ja ei-hygroskooppiset. Hygroskooppiset lämmöntalteenottolaitteet siirtävät myös ilman kosteutta virtauksesta toiseen. Hygroskooppinen lämmöntalteenottolaite on yleensä pyörivä kennosto, joka pyörii puoliksi tuloilman ja puoliksi poistoilman virtauksen puolella. Muut lämmöntalteenottolaitteet ovat yleensä ei-hygroskooppisia, eli niissä ei siirry kosteutta virtauksesta toiseen. (8)

Eri lämmöntalteenottolaitteiden lämpötilahyötysuhteet vaihtelevat paljon. Huonoimpaan hyötysuhteeseen pääsevät virtaavan väliaineen avulla toimivat lämmöntalteenottolaitteet. Ne yltävät vain noin 40-60 %:n lämpötilahyötysuhteeseen. Parhaan lämpötilahyötysuhteen antavat Regeneratiiviset lämmöntalteenottolaitteet, ns. pyörivät lämmöntalteenottolaitteet. Näissä laitteissa lämpötilahyötysuhde vaihtelee 60-80 %:n välillä. Varjopuolena regeneratiiviset lämmöntalteenottolaitteet siirtävät jonkin verran myös poistoilmaa tuuloilmaan, joka rajoittaa niiden käyttöä, poistoilman ollessa puhtausluokaltaan likaista. Muut lämmönsiirtimet kuten levylämmönsiirtimet sijoittuvat hyötysuhteeltaan näiden kahden lämmöntalteenottomallin väliin. (8, s. 96.)

4.5 Ilmavirtojen sekoittaminen

Ilmavirtojen sekoittaminen on yleinen ilmastointiprosessi josta hyvä esimerkki on rakennuksen poistoilman sekoittaminen tuloilmaan eli kiertoilman käyttö. Mollier-piirroksessa (kuva 5) sekoitetun ilman tila nähdään sekoitettavien ilmojen tilojen yhdysjanalla. Sekoituspiste osuu janalla kääntäen sekoitettavien massavirtojen suhteessa siten, että se on lähempänä suuremman massavirran pistettä.(4)



Kuva 5. Ilmavirtojen sekoituspiste (kuvassa M) Mollier-piirroksessa. Kuvassa sekoitettavat ilmavirrat ovat yhtä suuret, joten sekoitetun ilman ominaispiste jää sekoitettavien ilmavirtojen välisen janan keskelle (8, s. 90.)

4.6 Kuivaus

Ilmavirtojen kuivaus on käytännössä sama prosessi kuin ilman märkääjäähdytys. Kun ilmaa jäähdytetään jäähdytyspatterilla, jonka pinta on kylmempi kuin jäähdytetyn ilman kastepiste, alkaa jäähdytyspatterin pinnalle tiivistyä vettä. Patterin jälkeen ilma on jäähtynyt, ja sen absoluuttinen kosteus on pienentynyt. Kun prosessin päätarkoitus on jäähdytyksen sijaan kuivaus, puhutaan kondensoivasta kuivauksesta.

Kondensoivissa kuivaimissa on usein suora höyrysteinen jäähdytyspatterit. Kondensoivan kuivaimen höyrystin ja lauhdutin on usein kytketty sarjaan siten, että ilmavirtakulkee ensin höyrystimen läpi, jossa ilmasta tiivistyy pois vettä ja ilman lämpötila laskee. Tämän jälkeen ilmavirta ohjataan kondensoivan kuivaimen lauhdutuspatteriin, jossa kuivattu ilma lämpenee. Lopputuloksena on ilmaa, joka on kuivempaa ja lämpimämpää kuin ilma ennen kondensoivaa kuivainta.

5 Uima-allastilojen kuivaus

5.1 Kondensoiva kuivaus ja ilmavirtojen sekoitus

Kondensoivassa kuivauksessa kuivattava ilma ohjataan jäähdytyspatteriin, jonka pintalämpötila on pienempi kuin kuivattavan ilman kastepiste. Ilmassa oleva vesi tiivistyy jäähdytyspatterin pinnalle, josta se valuu joko kondenssiastian tai kondenssiputkea pitkin esimerkiksi viemäriin. Jäähdytyspatterin jälkeen ilma on viileämpää, sen suhteellinen kosteus on erittäin suuri, mutta absoluuttinen kosteus on reilusti vähäisempi kuin ennen jäähdytyspatteria.

Kondensoivan kuivaimen jäähdytyspatteri toimii perinteisen kylmäprosessin tavoin, joten jäähdytin tarvitsee lauhduttimen, josta höyrystimen sitoma energia vapautuu. Tämä lauhdelämpö voidaan ohjata hyötykäyttöön, vaikkapa ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen. Tämä tekee kondensoivasta kuivauksesta erittäin energiatehokkaan tavan ilman kuivaukseen.

Usein käytännön sovellus on esimerkiksi sellainen, että uima-allastilan poistoilmasta otetaan kiertoilmaa, jota kuivataan. Tämä kiertoilma sekoittuu raittiiseen tuloilmaan. Ilmojen seos puhalletaan tuloilmana uima-allasosastolle. Ennen kuin tuloilma puhalletaan halliin, se kulkee kuivaimen lauhduttimena toimivan patterin läpi. Näin ilman kuivauksesta syntyvä lauhdelämpö saadaan hyödynnettyä. Lauhdelämpö voidaan myös ohjata esimerkiksi allasveden tai lämpimän käyttöveden lämmitykseen. (8)

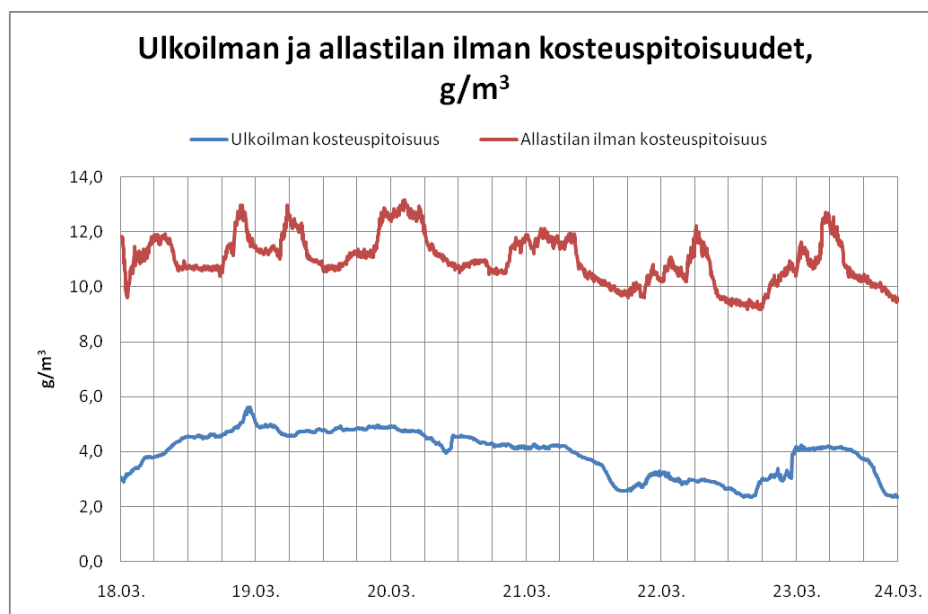
5.2 Kuivaus ulkoilmalla

Kosteissa uima-allastiloissa on Suomen oloissa aina suuremmat absoluuttiset kosteudet kuin ulkoilmassa. Allastilat voidaan siis kuivata poistamalla kostea ja lämmintä sisäilmaa ja tuomalla ulkoa kuivempaa ja viileämpää ulkoilmaa.

Ilma pystyy sitomaan sitä enemmän kosteutta itseensä, mitä lämpimämpää se on. Tästä syystä kylmillä talvisäillä ilman absoluuttinen kosteus on hyvin pieni, vaikka suhteellinen kosteus olisi lähes sata prosenttia. Kesäisin lämmin ulkoilma sitoo itseensä suuren määrän kosteutta, vaikka suhteellinen kosteus on pienempi kuin talviaikaan. Tästä johtuen allastilat saadaan talviaikaan kuivattua paljon pienemmällä ilmamäärällä

kuin kesäaikaan. Ilman kyky sitoa kosteutta itseensä eri lämpötiloissa on esitetty Mollier-diagrammissa. (8)

Esimerkkinä Hakunilan uimahallissa mitattu allastilan absoluuttinen kosteus on ollut 21.3. keskipäivällä $11,9 \text{ g/m}^3$ ja ulkoilman $4,1 \text{ g/m}^3$ (kuva 6). Näin ollen jokainen vaihdettu ilmakuutio kuivaa allastilaa $7,8 \text{ g}$. Jos ilmanvaihto on esimerkiksi $3 \text{ m}^3/\text{s}$, poistuu allastilasta kosteutta noin $84,2 \text{ kg/h}$. Toisaalta jonain kesäpäivänä ulkoilman absoluuttinen kosteus voi olla $10,0 \text{ g/m}^3$. Tällöin ilmanvaihdon avulla poistuu vain $1,9 \text{ g/m}^3$. Kun ilmavirta on $3 \text{ m}^3/\text{s}$, poistuisi allastilasta kosteutta vain n. $20,5 \text{ kg/h}$.



Kuva 6. Hakunilan uima-allastilan ilman kosteuspitoisuus ja ulkoilman kosteuspitoisuus, yksikkönä g/m^3 .

6 Hakunilan uimahallin mittaukset

6.1 Hakunilan uimahallin esitiedot

Hakunilan uimahalli on valmistunut vuonna 1982. Se sijaitsee Sotungintie 17:llä, Vantaalla. Kiinteistön omistaa Vantaan kaupunki. Rakennuksen tilavuus on n. $20\,900 \text{ m}^3$, sen bruttoala on $4\,049 \text{ m}^2$ ja kerrosala $2\,991 \text{ m}^2$. Uimahallissa on pukuhuonetilat noin 300 hengelle kerrallaan. Isossa uima-altaassa on 8 kpl 2,5 metriä leveitä ratoja, vesipinta-ala on yhteensä noin 510 m^2 . Ison uima-altaan syvyys on

1,25–2,0 metriä. Ison uima-altaan lisäksi rakennuksessa on opetusallas, jonka pinta-ala on 99 m² ja syvyys 0,2–0,9 metriä. Allastilan pinta-ala on n. 1 050 m². (9, s. 6.)

Rakennus on teräsbetonirakenteinen, jos ei oteta huomioon uimahallitilan yläpohjan kantavia liimapuupalkkeja. Rakennuksen julkisivut ovat punatiilipintaisia teräsbetonielementtejä ja teräsbetonia, lasia ja julkisivulasia. (9, s. 6.)

Hallin vesikattorakenteet on uusittu vuonna 2000. Muita peruskorjausluonteisia toimenpiteitä ei ole tehty. (9, s. 6.)

Kiinteistö on liitetty kaukolämpöverkkoon. Käytössä on edelleen alkuperäinen lämmönjakokeskus. Lämmönjakokeskuksessa on siirtimet käyttövedelle, lämmitykselle ja ilmanvaihdolle sekä uima-allasvedelle. Lämmönjakojärjestelmänä on uima-allas- ja pesutiloissa vesikiertoinen lattialämmitys. Muissa tiloissa vesikiertoiset patterit. (9, s. 6.)

Vesijohto- ja viemäriverkostot kalusteineen ovat pääosin alkuperäisiä. Sadevedet johdetaan katolta rakennuksen sisäisillä sadevesiviemäreillä. (9, s. 6.)

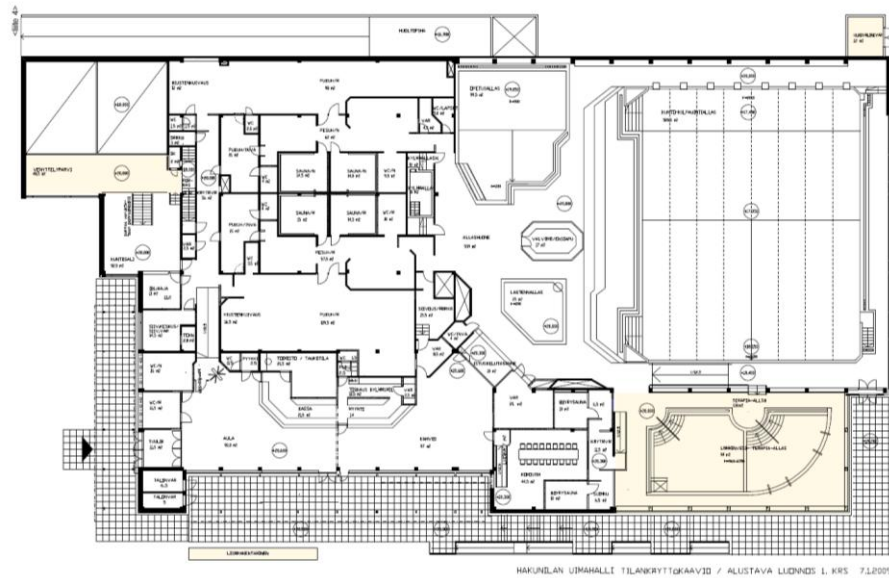
Uimahallin vedenkäsittelyjärjestelmä on alkuperäinen. Uima-allasvesi käsitellään avohiekkasuodatusaltaissa ja kylmäaltaalla on oma painehiekkasuodatin. (9, s. 6.)

Rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Tuloilmakoneilla ja poistoilmakoneilla on omat ilmanvaihtohuoneensa, ja siksi lämmöntalteenotto on toteutettu ns. glykolipatterilämmöntalteenotolla. (9, s. 6.)

Uima-allastilojen tuloilma puhalletaan ikkunoiden alta ja katosta. Poistoilmasäleiköt sijaitsevat katossa. Muissa tiloissa ilmanvaihto on toteutettu tavanomaiseen tapaan. (9, s. 6.)

Poistoilmakoneisiin on lisätty suodattimet ja uusittu LTO-patterit. Uima-allastilan poistoilmasta otettavaan kiertoilmaan on vuonna 1996 lisätty ilmankuivain, jonka lauhdutin on liitetty lämmittämään tuloilmaa. Koko ilmanvaihtolaitos on uusimisen tarpeessa. (9, s. 6.)

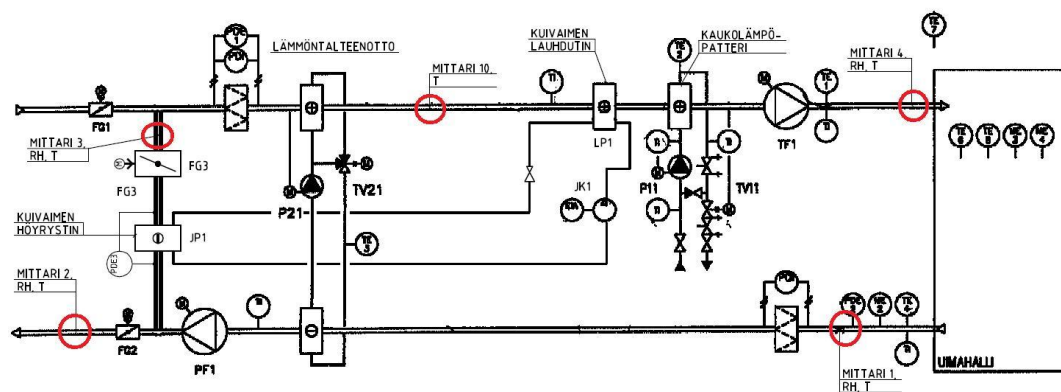
Hakunilan uimahallista on tehty L2-tason suunnitelmat koko laitoksen peruskorjauksesta ja laajennuksesta. Peruskorjauksen yhteydessä uusitaan mm. koko ilmanvaihtojärjestelmä ja kohteeseen rakennetaan uusi terapia-allas (kuva 7).



Kuva 7. Alustava luonnos uudistuvasta Hakunilan uimahallista, oikean alalaidan terapia-allas on laajennus, jota ei ollut olemassa mittauksia tehtäessä.

6.2 Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihdon toimintaperiaate

Hakunilan uimahallin allastilojen ilmanvaihto järjestetään koneellisella tulo- ja poistokojeella TIK1/PIK1. Ilmanvaihtokojee on varustettu tarvittavilla suodattimilla ja sulkupelleillä. Tulokoje ja poistokoje sijaitsevat eri huoneissa, joten lämmöntalteenotto on toteutettu glykolikiertoisilla lämmöntalteenottopattereilla. Tulokoje on varustettu myös tavallisella vesikiertoisella lämmityspatterilla. Lisäksi poistoilmasta otetaan kiertoilmaa, jota kuivataan suorahöyrysteisellä jäähdytyspatterilla. Kuivaimen lauhdutuspatteri on kytketty tuloilmakojeeseen lämmöntalteenottopatterin jälkeen ja ennen vesikiertoista lämmityspatteria. Kiertoilma sekoitetaan raittiiseen ilmaan ennen tuloilman suodatinta ja lämmityspattereita. Laitteiden sijoitukset on nähtävissä kuvassa 8 esitettyssä toimintakaaviossa.



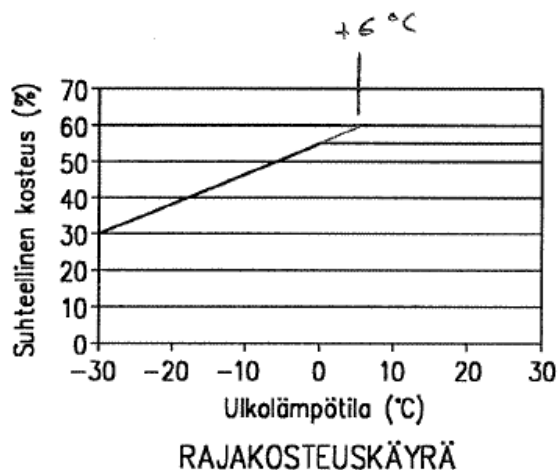
Kuva 8. Allastilan ilmastointikojeen TIK1/PIK1 toimintakaavio, josta näkee laitteiden sijoituksen kojeessa sekä mittauksissa käytettyjen dataloggereiden sijoitukset. Toimintakaavio suurempana liitteessä 2.

Päiväkäytössä (06.00–20.00) puhaltimet ovat aikaohjelman mukaisesti jatkuvasti käytössä. Yökäytössä puhaltimien käyntiä ohjataan allastilan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella. Puhaltimet ovat yökäytössä pois päältä ja käynnistyvät, jos ilman suhteellinen kosteus nousee yli asetetun arvon tai hallin lämpötila laskee alle asetusarvonsa. Tuloilman lämpötilaa säädetään huonetilan lämpötilan mukaisesti tarpeen mukaan pienemmäksi tai suuremmaksi.

Talviaikaan ilmanvaihtokojeen pellit säädetään siten, että kuivattu kiertoilmavirta on 50 % raittiin ilman virrasta. Kesäaikaan kiertoilmaa ei käytetä, ellei allastilan kosteus

ylit kuvassa 9 esitetyn rajakosteuskäyrän asetusarvoja. Mikäli rajakosteuskäyrän määrittämä ilmankosteus ylittyy käynnistetään kuivatun kiertoilman käyttö kuten talviaikaankin.

Ilmanvaihtokojeen TIK1/PIK1 toiminta on esitetty tarkemmin liitteenä 4 olevassa säätökaaviossa.



Kuva 9. Allastilan ilman suhteellista kosteutta säädetään ulkoilman lämpötilan perusteella kuvassa esitetyn rajakosteuskäyrän mukaisesti.

6.3 Mittalaitteet

Mittauksissa käytettiin mittalaitteina dataloggereita, ilmavirtapropelia ja TSI-paineeromittaria. Laitteiden toimintaa on selvitetty tarkemmin alla.

Dataloggerit

Dataloggeri on laite, joka mittaa jotain tiettyä suuretta ja kerää mittaustuloksen muistiinsa. Dataloggerit ohjelmoidaan usein tietokoneella mittaamaan ja kirjaamaan mittaustulos ylös määrättylle ajanjaksolle määrätyn välein. Esimerkiksi dataloggeri, joka on varustettu lämpötila-anturilla, voidaan ohjelmoida tietokoneella mittaamaan viikon ajan ympäristönsä lämpötilaa 10 minuutin välein ja kirjaamaan tiedot ylös loggerin sisäiseen muistiin. Kun mittausjakso on päättynyt, mittaustiedot puretaan tietokoneella usein esimerkiksi excel-muotoon, jolloin mittaustuloksista saadaan tehtyä

kuvaajia, jotka ovat hyvin havainnollistavia. Esimerkiksi lämpötilan vaihtelut pitkällä ajanjaksolla saadaan selville yhdellä vilkaisulla.

Hakunilan uimalhallin mittauksissa käytettiin kahdenlaisia dataloggereita. Tärkeimpinä loggereina toimivat Exotec Instrumentin TH-680L-dataloggerit, joilla voidaan mitata sekä ilman lämpötilaa että ilman suhteellista kosteutta. Lisäksi käytettiin Testo 174 -dataloggeria. Testo 174 -dataloggereilla voidaan mitata ainoastaan ilman lämpötilaa. Molemmat dataloggerimallit ovat tarkkoja. Mittausvirhe on Testo 174 -loggereilla $\pm 0,5$ °C. TH-680L-dataloggerien mittausvirhe on valmistajan mukaan lämpötilan osalta $\pm 1,5$ °C mitattaessa lämpötiloja välillä 0–40 °C. Ilman suhteellista kosteutta mitattaessa mittausvirhe oli valmistajan mukaan ± 5 %. Dataloggerit kalibroitiin Teknillisen korkeakoulun tiloissa. Kalibroinnin yhteydessä todettiin, että mittarit olivat jopa tarkempia kuin valmistaja lupasi. Mittauksissa käytetyt dataloggerit näkyvät kuvassa 10.



Kuva 10. Vasemalla TH-680L-kosteus/lämpötiladataloggeri, oikealla Testo 174 -lämpötiladataloggeri.

Airflow-ilmavirtamittari

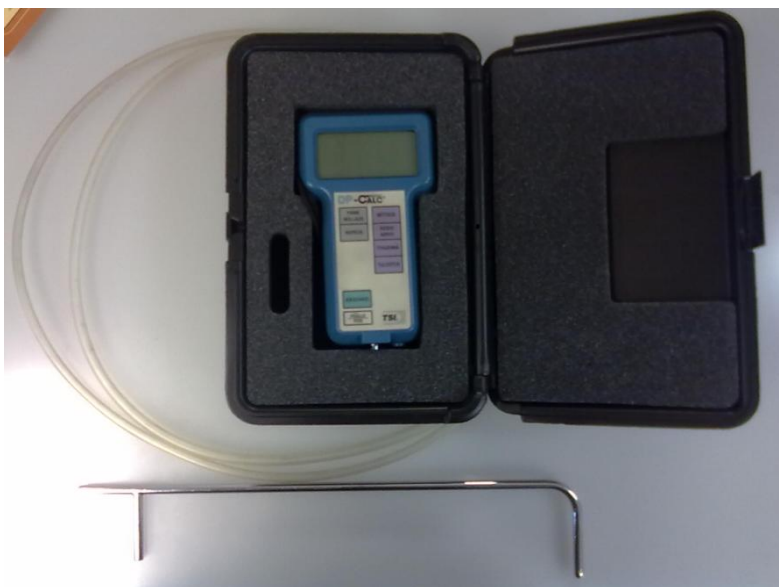
Airflow-ilmavirtamittari (kuva 11) on laite, jolla voidaan mitata ilmavirtaa ja ilman nopeutta. Laitteessa on propelli, joka pyörii kevyestä puhalluksesta. Propelli on n. 10 cm halkaisijaltaan olevan kehän sisällä. Jos ilmavirta saadaan kulkemaan suoraan kehän aukon läpi, osaa laite automaattisesti laskea ilman tilavuusvirran. Muussa tapauksessa laitteella voidaan lukea propellin alueen keskimääräinen ilmavirran nopeus. Hakunilan uimahallin mittauksissa laitteella mitattiin ilman nopeuksia isoista säleiköistä ja aukoista, joten aukon alueelta jouduttiin ottamaan useita mittauksia, joista laskettiin ilmavirran nopeuden keskiarvo. Tämä ilmavirran keskinopeus kerrotaan mitattavan aukon alalla, jolloin saadaan määriteltyä aukon tilavuusvirta. Mittaustuloksen tarkkuutta voi parantaa ottamalla enemmän mittauksia aukon alalta. Mittaustulokset ovat melko karkeita, käytännössä on huomattu mittausrvirheen olevan noin $\pm 20\%$ ilmavirran osalta.



Kuva 11. Propelli-ilmavirtamittari Airflow

TSI-paine-eromittari

TSI-paine-eromittari (kuva 12) on monitoimimittari, jolla voi mitata pitot-putkea apuna käyttäen paine-eroja, staattista painetta ja dynaamista painetta sekä ilman nopeutta. Käytännössä Hakunilan uimahallin mittauksissa mittaria käytettiin ilmanvaihtokojeissa olevien laitteiden, kuten lämmitys- ja jäähdytyspatterien painehäviöiden selvittämiseen. Mittariin kiinnitetään mittausletkut, jotka asetetaan mitattavan laitteen molemmin puolin esimerkiksi niitä varten porattujen reikien kautta. Laite lukee painetason molemmista letkuista ja näyttää mittaajalle niiden erotuksen.



Kuva 12. TSI-paine-eromittari tarvittavine letkuineen, mukana myös pitot-putki.

6.4 Mittauksen tavoitteet

Hakunilan uimahallin mittausjaksolla on tarkoitus selvittää erityisesti rakennuksen pääilmanvaihtokoneen, eli uima-allastiloja palvelevan TIK1/PIK1:n toiminta, ilmavirrat ja ilman kosteuden ja lämpötilojen vaihtelut ilmanvaihtojärjestelmässä. Lisäksi mitataan samat asiat pukuhuone- ja pesutilojen ilmanvaihtokoneesta TIK2/PIK2. Kosteusloggerien rajallisesta määrästä johtuen TIK2/PIK2:n kosteusmittaukset eivät ole yhtä laajat kuin TIK1/PIK1:n tapauksessa.

6.5 Mittauksen valmistelu

Mittauksia varten hankittiin Hakunilan uimahallin ilmanvaihtokuvat Vantaan kaupungilta. Ennen mittauksia sovittiin tapaaminen, jossa Hakunilan uimahallin laitospäällikö ja hänen esimiehensä esitteli ilmanvaihtokonehuoneen ja kertoivat tietoja ilmanvaihtolaitoksen toimintaan liittyen. Samalla tarkastettiin myös ilmanvaihtokoneiden kello-ohjauksen asetusarvot ja päätettiin mitattaviksi ilmanvaihtokoneiksi uima-allastilan koje TIK1/PIK1 ja suihkuosaston koje TIK2/PIK2.

Käytettävien dataloggereiden sijoituspaikat kanavistossa käytiin läpi. Varmistettiin, että haluttuihin mittauskohtiin saadaan sijoitettua mittarit esimerkiksi puhdistusluukun kautta. Samalla varmistettiin, että ilmavirrat saadaan mitattua käytössämme olevalla propellityyppisellä ilmavirtamittarilla. Mittauspisteet on esitetty ilmanvaihtokojien toimintakaavioissa (liitteet 2 ja 3).

6.6 Mittauksen toteutus

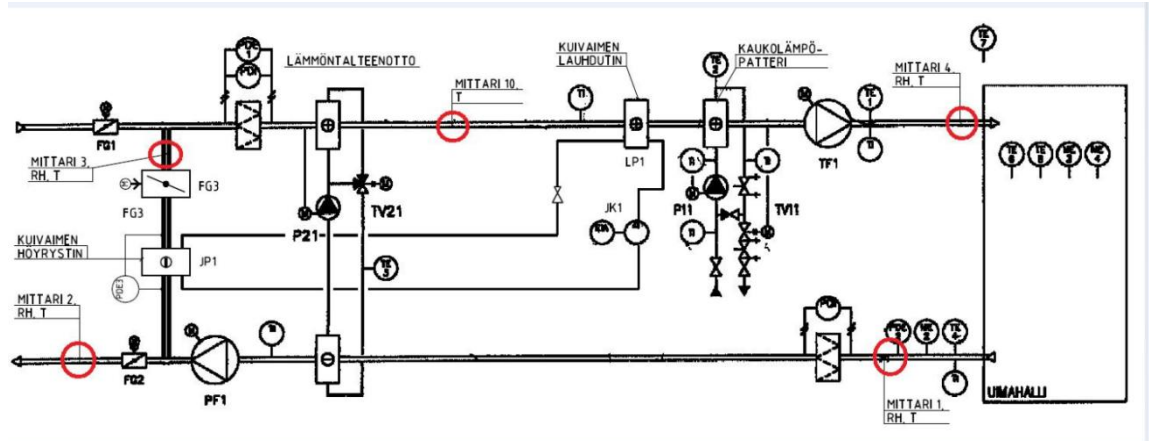
Mittaukset suoritettiin aikavälillä 18.03.–24.03.2010. Ilmanvaihtokojet toimivat mittaustilanteessa talviasetuksella, joten TIK1/PIK1:n kuivatun kiertoilman käyttö oli toiminnassa. Hakunilan uimahallin ilmanvaihto järjestelmästä kerättiin tietoja dataloggereilla, jotka kirjasivat ilman mittaustulokset 10 minuutin välein muistiin. Mittauksissa käytettiin yhteensä 10 kpl dataloggeria, joista 6 mittasi sekä ilmankosteutta että ilman lämpötilaa. Loput 4 dataloggeria mittasivat ilman lämpötilaa.

Mitattavissa ilmanvaihtokoneissa oli erittäin vähän omia mittausvälineitä. Ainoat koneista itsestään löytyvät mittarit olivat poistoilmakoneiden lämmöntalteenottopatterien ja suodattimien paine-eromittarit, jotka kertoivat näiden laitteiden painehäviöt.

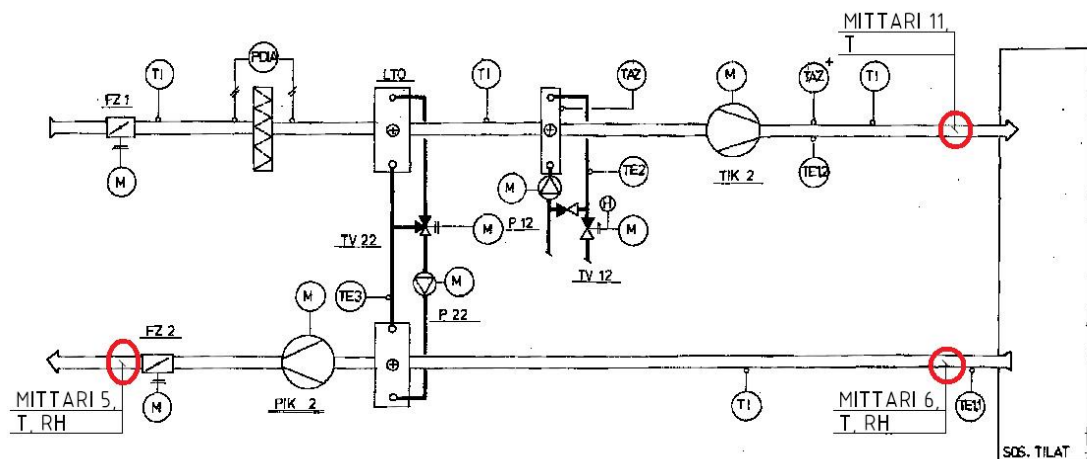
Mittauskohteena olleet ilmanvaihtokoneet TIK1/PIK1 ja TIK2/PIK2 varustettiin dataloggereilla seuraavasti. Lisätietoja on myös kuvissa 13 ja 14.

- TIK1: Kosteus/lämpötilaloggeri tuloilmakanavaan ilmanvaihtokoneen jälkeen. Lämpötilaloggeri ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottopatterin jälkeen.
- PIK1: Kosteus/lämpötilaloggerit ilmanvaihtokoneen imukammioon ennen lämmöntalteenottoa, jäteilmakanavaan ja kiertoilmakanavaan.

- TIK2: Lämpötilaloggeri tuloilmakanavaan ilmanvaihtokoneen jälkeen.
- PIK2: Kosteus/lämpötilaloggerit ilmanvaihtokoneen imukammioon ennen lämmöntalteenottoa ja jäteilmakanavaan lämmöntalteenoton jälkeen. Lämpötilaloggerit poistoilmakanavaan uimahallin naisten pukuhuoneesta tulevaan kanavaan ja sauna- ja pesutiloista tulevaan kanavaan.



Kuva 13. Ilmastointikojeeseen TIK1/PIK1 sijoitettujen dataloggereiden paikat.



Kuva 14. Ilmastointikojeeseen TIK2/PIK2 sijoitettujen dataloggereiden paikat.

Mitattavien ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat mitattiin Airflow-propellimittarilla. Tuloilmavirrat saatiin mitattua raittiin ilman imukammioista. Poisto- ja kiertoilmavirrat mitattiin kanavista putsausluukujen kautta. Propellilla mitattiin ilman nopeus riittävän

monesta pisteestä. Mittauksista saatujen ilmannonopeuksien keskiarvo laskettiin ja tämä kerrottiin mittauskohdan virtausaukon pinta-alalla. Näin mitattu ilmavirta on suuntaa antava. Mittausvirheeksi voidaan tällä menetelmällä arvioida ± 20 %.

Esimerkki: TIK1:n ilmavirta mitattiin raittiin ilman imukammion aukosta. Virtausaukon koko on 99 cm x 99 cm eli pinta-ala on n. $0,92 \text{ m}^2$. Aukon kohdalta mitattiin 9 kpl ilmannonopeuksia eri kohdilta aukoa. Ilman nopeudet vaihtelivat välillä 2,8–5,1 m/s ja ilmannonopeuden keskiarvoksi saatiin 4 m/s. Ilmavirta on mittausten perusteella siis $0,92 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m/s} = 3,92 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uima-allastilojen ilmanvaihtokojeen TIK1/PIK1 ilmavirrat voitiin määrittää ainoastaan hallin käyttöajalta. Hallin käyttöajan ulkopuolella, puhaltimet ovat lähtökohtaisesti pois käytöstä ja käynnistyvät vain, jos lämpötila laskee liian alas tai suhteellinen kosteus kasvaa liikaa.

Ilmanvaihtokoneissa olevien lämmöntalteenottopatterien, kaukolämpöpatterien sekä kuivauksen höyrytimen ja lauhduttimen yli olevat painehäviöt mitattiin TSI-ilmanvaihdon yleismittarilla. Mittaus suoritettiin poraamalla reiät mitattavan laitteen molemmille puolille. TSI-mittarin mittausletkut asetettiin porattuihin aukkoihin, jolloin mittari näytti mittauspisteiden välisen paine-eron.

Jotta mittaustulokset saataisiin sidottua ulkona vallitseviin olosuhteisiin, mitattiin myös ulkoilman lämpötila- ja suhteellinen kosteus.

6.7 Mittausten purku

Dataloggerit haettiin pois kohteesta 24.03.2010. Dataloggerien mittaukset purettiin tietokoneelle mittareiden omilla ohjelmistoilla. Tämän jälkeen mittaustiedot muutettiin excel-muotoon ja niistä luotiin helppolukuiset käyrät. Tämän jälkeen mittaustulokset olivat valmiina analysoitavaksi.

7 Hakunilan uimahallin mittaustulokset

7.1 Mittaustulosten käsittely

Mittaustulokset syötettiin Microsoft Excel ohjelmaan. Koska dataloggerien mittaustuloksien asetukset eivät olleet suoraan yhteensopivia Excelin laskujärjestelmiin,

jouduttiin tietoja muokkaamaan paljon. Ylimääräiset rivit ja sarakkeet poistettiin, pilkut muutettiin pisteiksi ja mittausjakson ylimenneet mittaustulokset poistettiin.

Kun mittaustulokset oli siistitty Exceliin, syötettiin ohjelmaan tarvittavat kaavat, joiden avulla saatiin selville mm. kunkin mittauspisteen absoluuttiset kosteudet. Näin saaduista käyristä mittausjakson sisäilmaolosuhteita oli helppo tutkia nopeasti.

7.2 Ilmamäärät allas- ja pesutiloissa

Ilmanvaihtokoneille mitattiin seuraavat ilmavirrat päiväkäytössä:

TIK1, uima-allastilan raitisilma: 3,9 m³/s

TIK1/PIK1, uima-allastilan kiertoilma: 1,4 m³/s

TIK1, uima-allastilan tuloilma, raitis- + kiertoilma: 5,3 m³/s

PIK1, uima-allastilan poistoilma: 3,7 m³/s

TIK2: sauna-, pesu- ja pukutilojen tuloilma: 3,4m³/s, ½-teho 1,4 m³/s

PIK2: sauna-, pesu- ja pukutilojen tuloilma: 1,2m³/s, ½-teho 0,7 m³/s

Mitatut poistoilmavirrat olivat huomattavasti alle suunniteltujen ilmamäärien. PIK 1:n poistokammiossa havaittiin tukko.

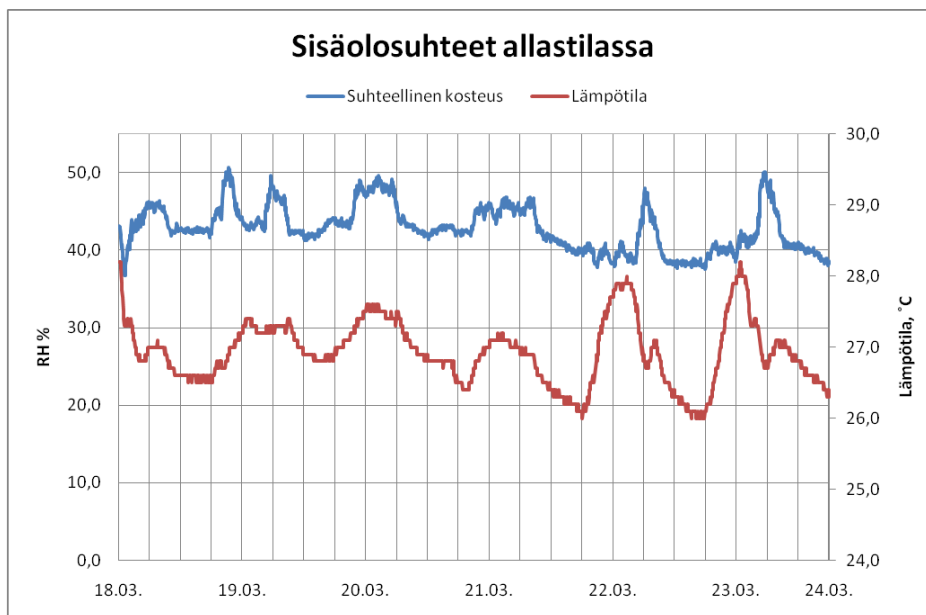
Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (1) vaadittu raitisilmavirta uima-allastilalle on 2 dm³/m². Hakunilan uima-allastilan pinta-ala on n. 1050 m². Näin ollen mitattu raitisilmavirta oli kohteessa 3,7 dm³/m². Kiertoilman määrä oli 1,33 dm³/m². Tuloilmamäärä yhteensä oli n. 5 dm³/m².

7.3 Allasvesien lämpötilat

Allasveden lämpötila oli 27–28 °C isossa altaassa. Lastenaltaan lämpötila oli 29 °C ja lauantaisin ja sunnuntaisin vauvauinnin takia 32–33 °C.

7.4 Sisäilman ja poistoilman olosuhteet uima-allastiloissa

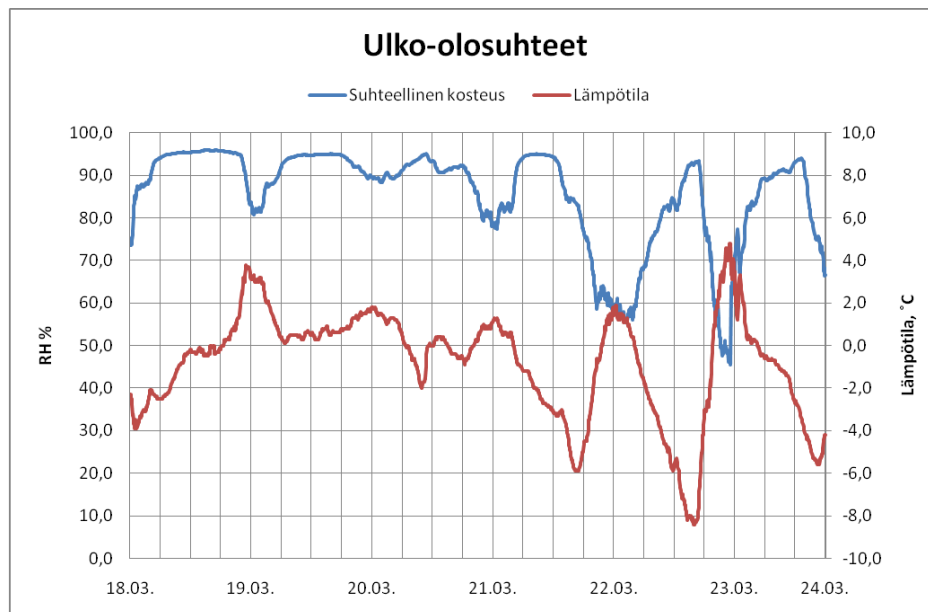
Uimahallin uima-allastilan ja pesutilojen ilman olosuhteet mitattiin tilojen ilmanvaihtokojeiden poistoilmakammiossa, ennen lämmöntalteenottoa. Uima-allastilan lämpötila vaihtelee välillä +26 °C... +28 °C. Uima-allastilan suhteellinen kosteus vaihtelee mittausjaksolla 38 % ... 51 %. Allastilan sisäilman olosuhteet on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Hakunilan uimahallin allastilan ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mittausjaksolla.

7.5 Ulkoilman ja raitisilman olosuhteet mittausjaksolla

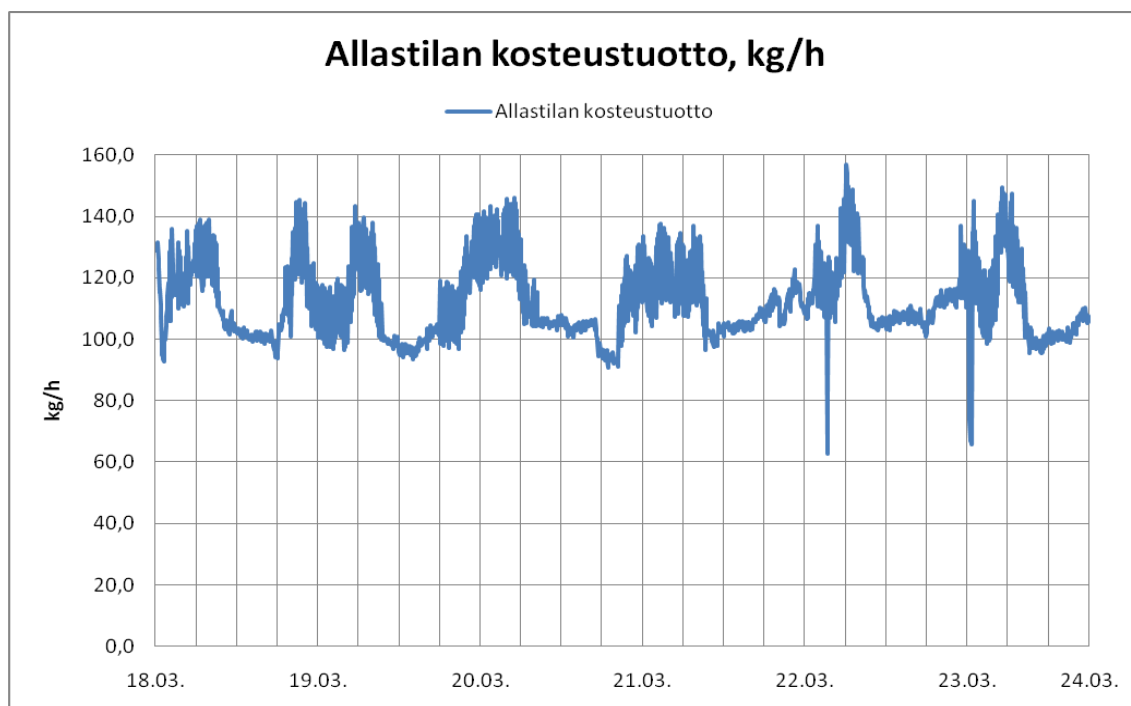
Mittausjaksolla ulkoilman lämpötila vaihteli välillä -8... +4 °C. Ilman suhteellinen kosteus vaihteli lämpötilan muutoksen mukaan välillä 95 %... 45 %. Ulkoilman olosuhteet on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Ulkoilman suhteellinen kosteus ja lämpötila mittausjaksolla.

7.6 Allastilojen kosteustuotto

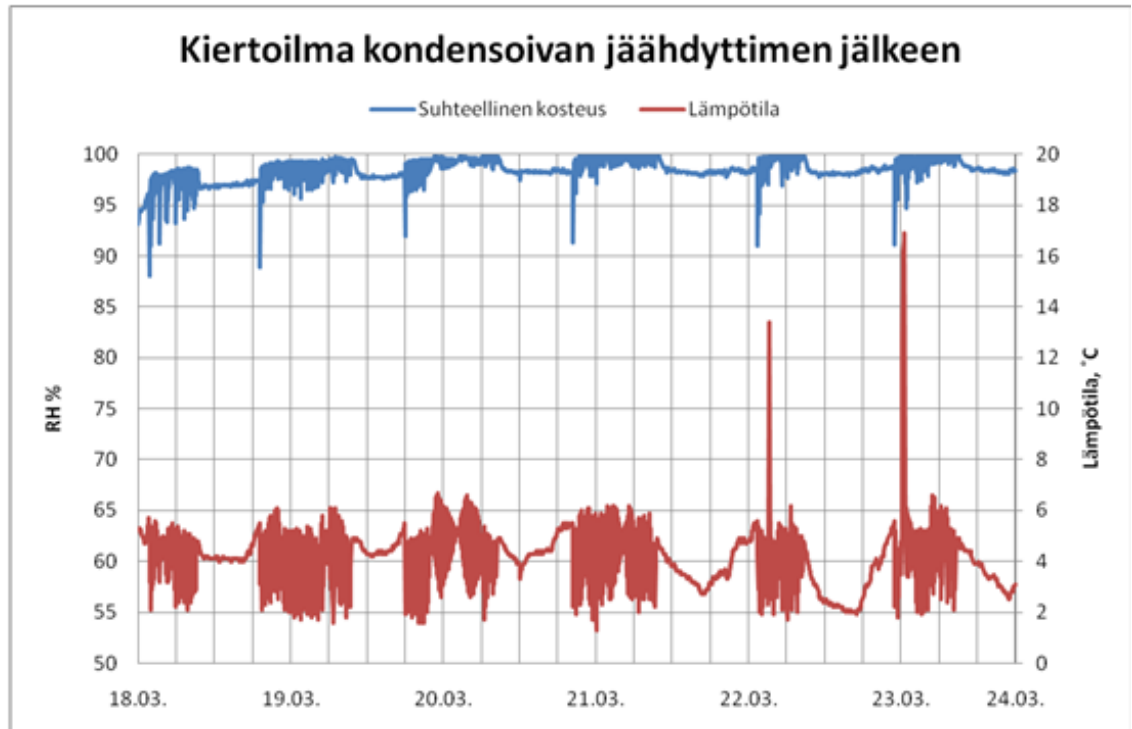
Allastilan poistoilmasta laskettu kosteustuotto vaihteli välillä 95 kg/h ... 155 kg/h. Kosteustuotto on selvästi suurempi aamupäivällä, jolloin hallissa on paljon ihmisiä uimassa. Kuvan 17 käyrästä pätee ainoastaan hallin aukioloaikoina, koska allastilan kosteustuotto on määritelty poistoilman kosteuden ja poistoilmavirran mukaan, eikä mittauksissa pystytty määrittämään puhaltimien käyntiä yöaikaan.



Kuva 17. Hakunilan uimahallin kosteustuotto yksikkönä kg/h. Käyrästä pätee ainoastaan päiväaikaan välillä 06.00–20.00, jolloin hallin ilmavirrat ovat tiedossa. Yöajan haihduntaa ei ole mitattu.

7.7 Kiertoilman olosuhteet kondensoivan jäähdyttimen jälkeen

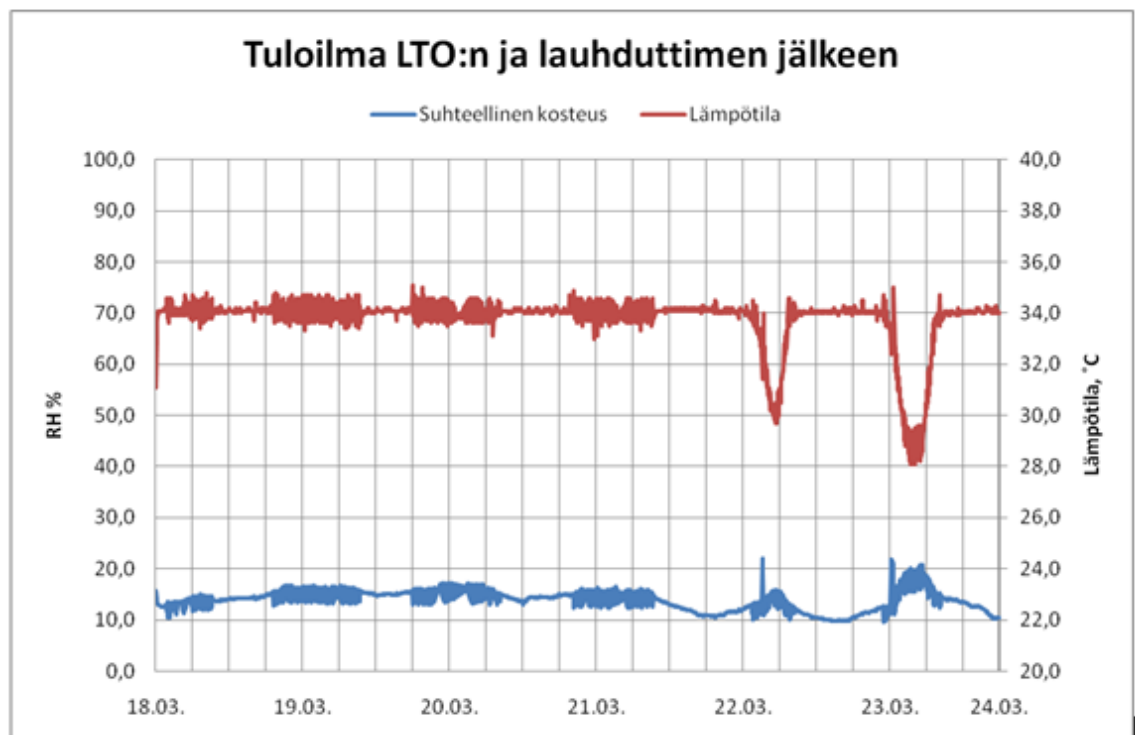
Kiertoilman lämpötila kondensoivan jäähdyttimen jälkeen vaihteli välillä +2... +6 °C. Kuvassa 18 esitetystä käyristä näkee myös hetkittäiset toimintakatkot 22.03.2010 ja 23.03.2010.



Kuva 18. Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihtokojeen TIK1/PIK1 kiertoilman olosuhteet kondensoivan kuivauksen jälkeen.

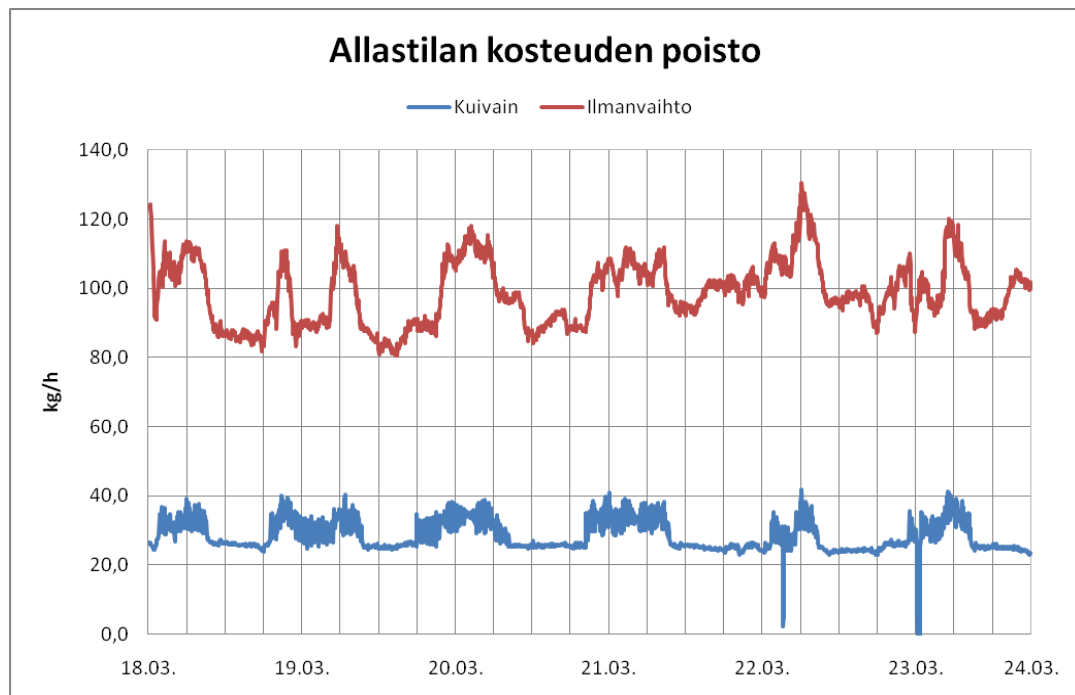
7.8 Tuloilma LTO:n ja lauhduttimen jälkeen

Tuloilman lämpötila vaihtelee pääosin välillä +33... +35 °C. Tuloilman suhteellinen kosteus vaihtelee välillä 10 %... 20 %. Kuvassa 19 esitetyistä käyristä on nähtävissä kondenssikuivaimen toimintakatkot 22.03.2010 ja 23.03.2010, jolloin tuloilman lämpötila on laskenut kuivaimen lauhduttimen ollessa pois päältä.



Kuva 19. Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihtokojeen TIK1/PIK1 tuloilman olosuhteet lämmöntalteenottopatterin ja kondensoivan kuivaimen lauhduttimen jälkeen. Lämpötilassa nähdään selvä lasku kiertoilman kuivaimen toimintahäiriön aikaan.

7.9 Ilmanvaihdon ja kuivaimen kuivausteho



Kuva 20. Hakunilan uimahallin allastilan kosteuden poisto kuivaimen ja raittiin ilman avulla. Kuvaaja ei päde yöaikaan, sillä puhaltimien toiminta ei ole yökäytössä tiedossa.

Mittausjaksolla ilmanvaihtoon käytettävä raitisilma oli melko kylmää ja sen takia myös kuivaa absoluuttisen kosteuden kannalta. Kesäaikaan ulkoilman absoluuttinen kosteus voi olla erittäin korkea, jolloin kiertoilman kuivatuksesta saataisiin suurta hyötyä kosteuden hallinnassa. Kuvassa 20 on esitetty allastilan kosteuden poisto.

7.10 Kiertoilman kondensoivan kuivaimen toiminta

Allastilan ilmanvaihtokone TIK1/PIK1 käyttää hyödyksi poistoilmasta otettavaa kiertoilmaa, jota kuivataan Chiller Oy:n kuivauslaitteistolla. Höyrystinpatteri on asennettu kiertoilmakanavaan ja tuloilmakanavaan on asennettu lauhdutinpatteri. Laitteen kompressori oli sijoitettu ilmanvaihtokonehuoneeseen.

Suorahöyrysteinen jäähdytyspatteri jäähdyttää kiertoilman noin 4 °C:n lämpötilaan. Kosteus tiivistyy vedeksi höyrystimen pinnalle ja poistuu viemäriin.

Säätöpelleillä ohjataan tarvittavia ilmavirtoja. Ennen kuivainta laitteistossa on myös liuoskiertoinen lämmöntalteenotto. Tarvittaessa tuloilmaa lämmitetään myös

jälkilämmityspatterilla. TIK1/PIK1:n toiminta on esitetty tarkemmin toimintakaaviossa (liite 2).

Kuivain kuivaa kierrätettävää ilmaa poistoilman lämpötilasta ja kosteudesta riippuen 24–36 kg/h. Kylmäpatterin jäähdytysteho mittausjaksolla oli suurin piirtein 42–65 kW.

Laitteen käyttämä sähköteho oli keskimäärin 20 kW ja COP noin 3. Lauhduttimen tehon voidaan arvioida olleen yhtä suuri kuin kylmäpatterin jäähdytystehon ja kompressorin sähkötehon summa 80 kW.

Laiteella oli jonkin verran toimintaongelmia mittausjaksolla, jotka näkyvät myös kiertoilman mittauskäyrissä.

Kondensoiva kuivain oli suunniteltu toimimaan ainoastaan talviolioissa. Kesällä laite ohjattiin käyntiin ainoastaan, jos allastilan ilman suhteellinen kosteus ylitti sille asetetun raja-arvon RH 55 %.

8 Päätelmät

8.1 Hakunilan uimahallin nykyisen ilmanvaihdon toiminta

8.1.1 Allastilan ilman olosuhteet

Mittaustulosten perusteella hallin ilmanvaihto näyttää toimivan kohtuullisesti mittausjakson aikana. Raitisilmamäärä on riittävä, hallin ilmankosteus pysyi kohtuullisena. Allastilan ilman lämpötila vaihteli suunnitellun +30 °C:n sijaan välillä 24–28 °C. Allastilan kosteuden hallinnan kannalta tämä on hyvä, mutta ihmisten viihtyvyyden kannalta lämpötila olisi saanut olla suurempi. Allastilasta tapahtuvan haihdunnan kannalta ilman suhteellinen kosteus olisi saanut olla hieman suurempi. Ilman suhteellinen kosteus oli jatkuvasti vähäisempi, kuin suunnitelmissa esitetystä rajakosteuskäyrästä oli määritelty.

Esimerkiksi voidaan ottaa hallin sisäilman olosuhteet 20.3.2010 klo 12.00. Tällöin ulkoilman lämpötila oli +2 °C. Suunnitelmissa määritellyn rajakosteuskäyrän mukaan allastilan ilman suhteellinen kosteus ei saa tällä ulkolämpötilalla ylittää 55 %:a. Mitattu allastilan ilman suhteellinen kosteus oli 48 % ja lämpötila +27 °C. Voidaan todeta, että

allastilan lämpötila on uimareiden kannalta liian viileä, mutta ilman suhteellinen kosteus on vielä kohtuullinen, suositelluissa arvoissa 45–55 %.

8.1.2 Allastilan ilmanvaihtokojeen toiminta

Hakunilan uimahallin allastilojen ilmanvaihtokojeiden toiminnassa oli paljon toivomisen varaa mittausjaksolla. Uima-allastila oli reilusti ylipaineinen ympäristöön verrattuna, sillä poistoilmakojeesta PIK1 oli irronnut seinäkappale, joka tukki ilman virtausta.

Tukos paikallistettiin dataloggereita poistettaessa. Sitä ennen ilmavirtamittauksissa oli jo todettu hallin olevan pahasti ylipaineinen Koska ilmanvaihtokojeissa ei ollut yhtään toimivaa mittausyhdetä ilmavirran tarkistamiseen, oli tukos melkein mahdoton huomata ilman erillisiä ilmavirran mittauslaitteita.

Kojeissa ei ollut juuri mitään mittauslaitteita, joista huoltomies olisi voinut seurata laitteen toimintaa. Ainoastaan suodattimien yli olevat paine-eromittarit oli asennettu, mutta niidenkään mittaustulokseen ei voinut luottaa.

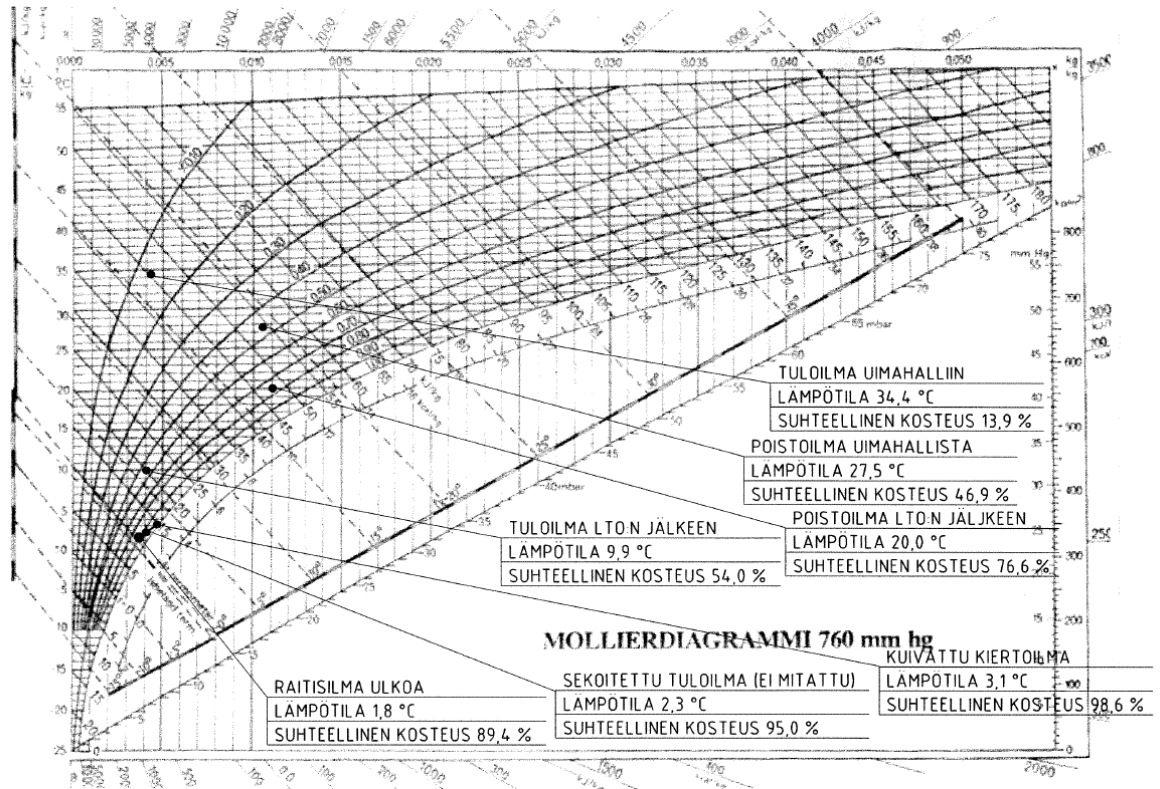
Kojeen puhaltimet toimivat ainoastaan täydellä teholla. Ilmavirtoja säädetään sulkupelleillä.

Kiertoilman kondenssikuivain oli mittausjaksolla muutaman kerran epäkunnossa. Vanhanaikainen laite käytti vanhoja kylmäaineita, joiden käyttö on nykyään kielletty. Tästä syystä laite olisi pitänyt uusida kokonaan, mutta koska hallin perusteellinen saneeraus oli kohta alkamassa, ei huonosti toimivaa laitetta ollut uusittu. Kondensoiva kuivain oli käytössä ainoastaan talviaikaan.

8.1.3 Esimerkki ilman olotilan muutoksista ilmastointikojeessa TIK1/PIK1

Ilmastointikojeesta TIK1/PIK1 mitattiin kattavat mittaukset dataloggereilla. Kojeen ilmanvaihdon toiminnan selkeyttämiseksi on mittaustulokset esitetty Mollier-diagrammissa (kuva 21). Kuvaa tarkasteltaessa on hyvä muistaa, että poistoilmakammiossa olevan tukoksen takia poistoilmamäärä oli suunniteltua pienempi. Tämä vaikuttaa mm. kiertoilman määrään ja lämmöntalteenoton tehoon. Kuvassa 21 esitetyt mittaustulokset on mitattu 20.03.2010 klo 12.00. Mittaushetkellä ulkoilman lämpötila oli 1,8 °C ja suhteellinen kosteus 89,4 %. Tuloksia tarkastellessa huomataan hyvin, että kiertoilman ja raittiin ilman absoluuttisen kosteuden ero on varsin pieni.

Tilanne muuttuu kesäaikaan, jolloin kuivatulla kiertoilmalla saavutetaan merkittävää hyötyä kosteuden hallinnassa.



Kuva 21. Tulo- ja poistoilman lämpötilan- ja kosteuden muutokset ilmastointikojeen TIK1/PIK1 eri kohdissa. Kuva on esitetty täysikokoisena liitteessä 5.

8.1.4 Pesu-, sauna- ja pukuhuonetilat ilmanvaihtokojeineen

Pesu-, sauna- ja pukuhuonetilojen ilman olosuhteet olivat hyvät. Näiden tilojen ilmanvaihdosta vastaava ilmanvaihtokoje TIK2/PIK2 toimi suunnitellusti.

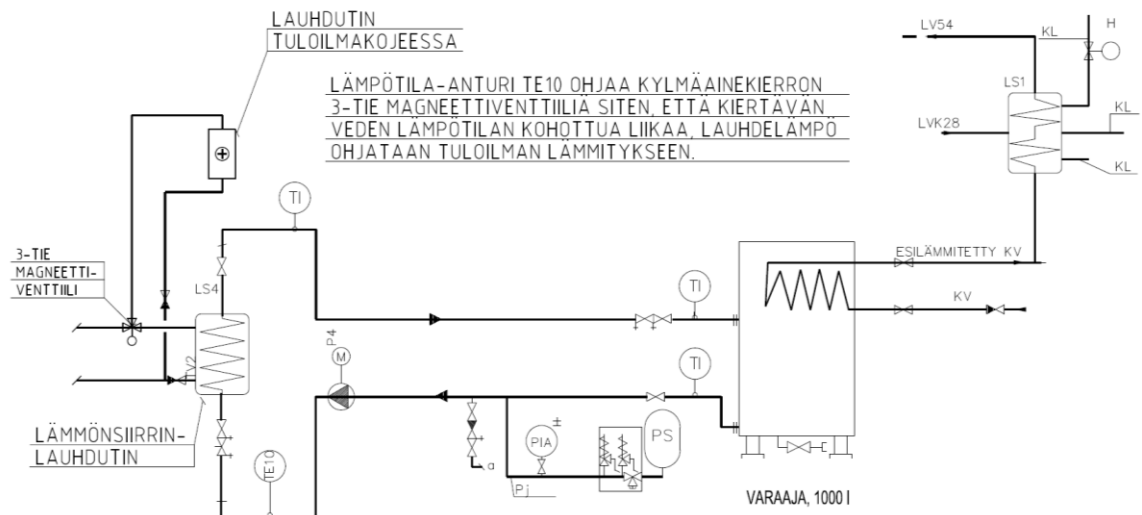
8.2 Kehitysehdotukset mittaustulosten perusteella

8.2.1 Allastilan ilmanvaihtokojeen ja kondensoivan kuivaimen energiatehokkuuden parantaminen

Nykyinen järjestelmä, jossa uimahallista otettavaa kiertoilmaa kuivatetaan kondenssikuivaimella, jonka lauhdutin on sijoitettu tuloilmakanavaan, toimii hyvin talviaikaan, jolloin ilmanvaihdon lämmityksen tarve on suuri. Ongelma syntyy kesäajan kiertoilman käytössä. Kesäisin kuivaimen lauhdelämpö lämmittää tuloilmaa siitä huolimatta, ettei lämmitystä silloin välttämättä tarvittaisi. Toisaalta järjestelmä oli alun

perin suunniteltukin toimimaan ainoastaan talviaikaan. Kuitenkin ilman kuivauksen tarve olisi suurimmillaan kesäaikaan.

Parannusehdotuksena kondensoiva kuivain olisi hyvä muuttaa toimimaan ympärivuotisesti. Laite voitaisiin varustaa kahdella erityyppisellä lauhduttimella. Toinen niistä olisi nykyiseen tapaan kytkettynä TIK1:n tuloilmakanavaan. Toisena lauhduttimena toimisi lämmönsiirrin, jonka läpi kylmäaine kiertäisi ja lämmittäen toisella puolella kiertävää varaajaan vettä. Tämän varaajan yläosaan olisi kytketty kierukka, jonka läpi kuljetettaisiin kylmää vettä joka johdettaisiin kaukolämmön käyttövesilämmönsiirtimelle varaajassa esilämmeneenä. Ensisijaisesti kylmäaineen lauhdutukseen käytettäisiin varaajan lämmönsiirrintä ja tuloilmaan sijoitettu lauhdutin olisi varajärjestelmänä kuivaimen toiminnan takaamiseksi. Järjestelmän periaate on esitetty kuvassa 22 ja liitteessä 6.



Kuva 22. Kondensoivan kuivaimen lauhdelämmön talteenoton parannusehdotuksen toimintaperiaate. Lauhdelämpö hyödynnetään ensisijaisesti käyttöveden esilämmitykseen. Jos varaajan vesi lämpenee liikaa, ohjataan lauhdelämpö tuloilmaan.

Tämän järjestelmän avulla kaikki lauhde-energia saataisiin talteen. Samalla ilmanvaihtokojeen glykolikiertoinen lämmöntalteenotto saataisiin hyötykäyttöön myös kesäaikaan, koska se lämmittäisi ulkoilman ja jäähtyneen kiertoilman seoksen.

Laitoksen tämänhetkisen kondensoivan kuivaimen lauhdelämpöteho on noin 80 kW. Hallin käyttöaika on 14 tuntia päivittäin. Kesäaikaan kiertoilmaa voitaisiin käyttää

täydellä teholla koko uimahallin käyttöajan. Tällöin energiaa saataisiin talteen 14 tuntia vuorokaudessa koko kesän (kesäkuu–elokuu) ajan. Kuivaimen käyttötunteja kertyisi tällä aikajaksolla 1 260 tuntia. Tämä tarkoittaisi, että sähköä kuluisi kuivaimen käyttöön noin 25 200 kWh. Lauhdelämpöä saataisiin talteen käyttöveteen noin 100 000 kWh. Samalla glykolikiertoinen lämmöntalteenotto voisi lämmittää tuloilman ja kiertoilman seoksen kesäaikaan.

Tällainen järjestely parantaisi allastilan kosteuden hallintaa kesäisin merkittävästi ja samalla kuivaimen lauhde-energia saataisiin tehokkaasti talteen.

Toinen merkittävä parannus olisi puhaltimien muuttaminen taajuudenmuutajalla ohjatuiksi. Tällöin ilmavirtaa saataisiin helposti säädeltyä tarpeen mukaisesti erityisesti talviaikaan, jolloin kuiva ulkoilma takaa riittävän kosteuden poiston pienemmilläkin ilmavirroilla. Ilmavirtoja voitaisiin ohjata suhteellisen kosteuden perusteella muistaen kuitenkin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 rajoitukset ja epäpuhtauksien kannalta riittävä raitisilmamäärä. Tästä saatu hyöty energiankulutukseen voisi olla merkittävä, sillä uima-allasveden haihdunta on hyvin paljon riippuvainen uima-altaan käyttäjämäärästä.

8.2.2 Pesu-, sauna- ja pukuhuonetilojen ilmanvaihtolaitteiden energiatehokkuden parantaminen

Näissä tiloissa kiertoilman käyttö ei tule kuuloon, mutta ilmanvaihtokojeen glykolikiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä voitaisiin valjastaa kesäaikaan esimerkiksi allasvesien lämmitykseen.

8.2.3 Yleiset kehitysehdotukset ilmanvaihtokojeiden varusteluun

Uimahallikohteen haasteellisten sisäilmaolojen takia olisi erittäin suotavaa, että huoltomiehellä olisi kattavat mahdollisuudet seurata jatkuvasti ilmanvaihtokojeen toimintaa, niin paikalla kuin konttoriltakin. Kaikki ilmanvaihtolaitteet olisi syytä kytkeä internet pohjaiseen valvontajärjestelmään, jonka avulla kojeiden toimintaa voisi seurata monipuolisesti. Kojet olisi hyvä varustaa kattavilla mittauksilla, jotka sisältäisivät mm. ilmavirran mittauksen, lämpötilan- ja ilmankosteuden mittauksen riittävän monesta pisteestä niin ilmanvaihtokojeesta kuin allastiloista ja ulkoakin. Näistä mittauksista täytyisi olla mahdollisuus tulostaa trendikäyriä, joiden avulla suunnittelijat voisivat tarkastella laitoksen toimintaa ja kehittää sitä entistä energiatehokkaamaksi.

9 Yhteenveto

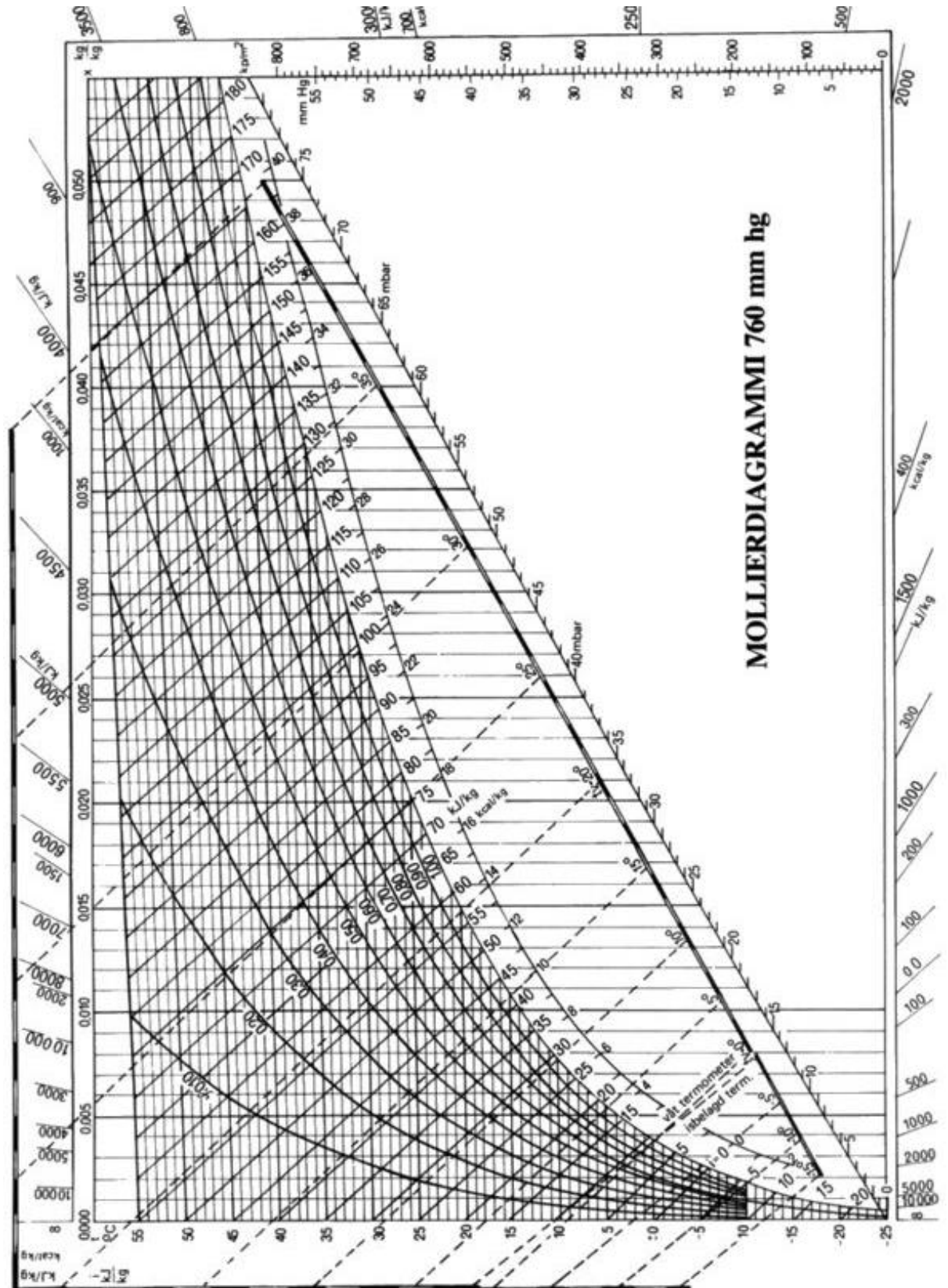
Uimahallitilat ovat Suomen ankarien sääolojen takia haastavia suunniteltavia. Ne kuluttavat paljon lämmitysenergiaa niin allasvesien, käyttöveden kuin ilmanvaihdonkin takia. Suunitelmissa olisikin aina otettava erityisesti huomiota rakennuksen energiatehokkuuteen. Tärkeitä ratkaisuja joudutaan tekemään rakennepuolella, mutta suuri vastuu jää myös LVI-suunnittelijalle. Huolella suunniteltu kohde maksaa hieman kalliimmat talteenottojärjestelmät ja kondensoivat kuivaimet nopeasti takaisin energiasäästöinä ja asiakastyytyvyytenä.

On tärkeää, että jatkossakin nykyisten uimahallien toimintaa kartoitetaan ja näiden toiminnasta löytyvien ongelmien ja vahvuuksien avulla kehitetään korjattavia ja täysin uusiakin uimahalleja entisiä halleja paremmiksi.

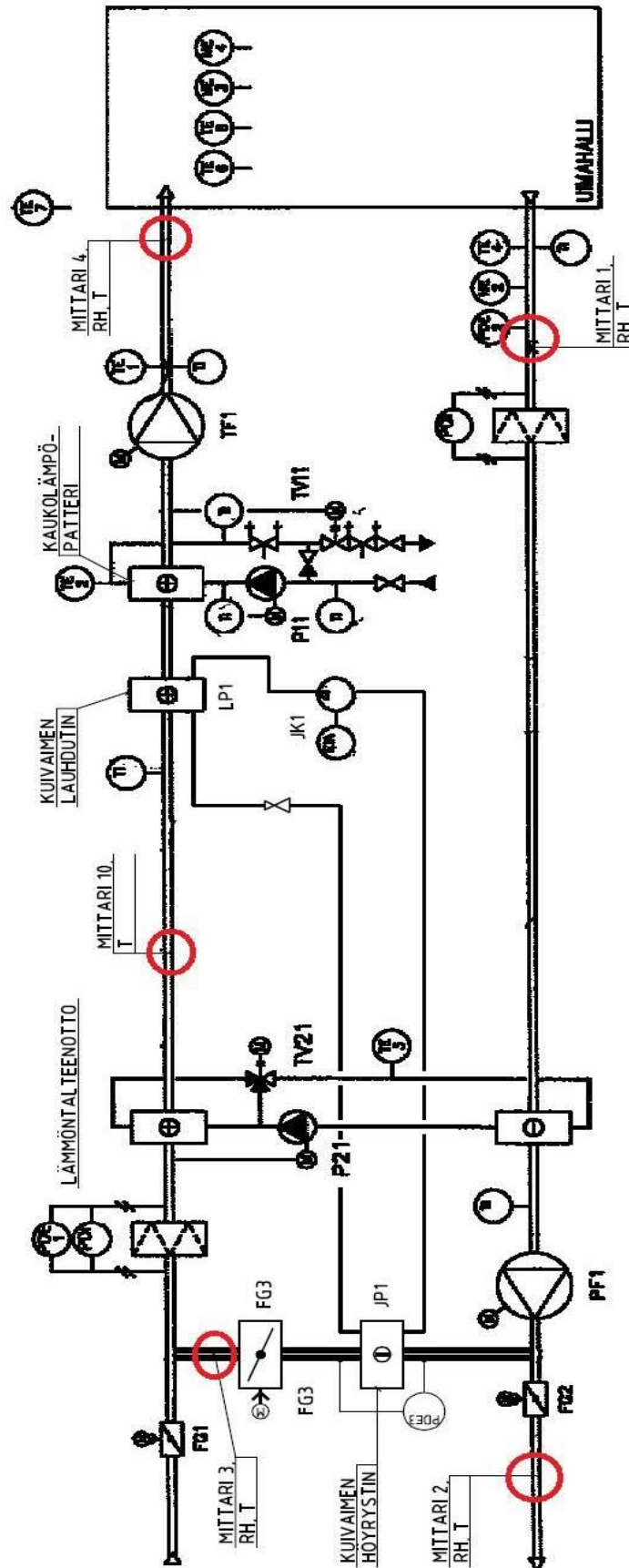
Lähteet

- 1 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 2 Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. 2009. LVI-ohjekortti 06-10451. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 3 Teekkarien LVI-kerho. 2010. Verkkodokumentti. <<http://lvi.ayy.fi/mollier.html>>. Luettu 15.6.2010.
- 4 Seppänen, Olli. 2008. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver palvelut Oy.
- 5 Rydberg, John. 1964. Uppvärmings- och ventilatinsteknik del 3. Stockholm: Skrivbyrån Standard Ab.
- 6 Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. 2007. Helsinki: Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskus
- 7 Viljanen, Martti, Knuutila Anssi. 2010. Uimahallien energiatehokkuus ja kosteudenhallinta. Espoo: Uimahalli- ja kylpyläpäivät.
- 8 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 9 Iivonen, Kaisu. 2009. Hankesuunnitelma: Hakunilan uimahallin peruskorjaus ja laajennus. Vantaa.

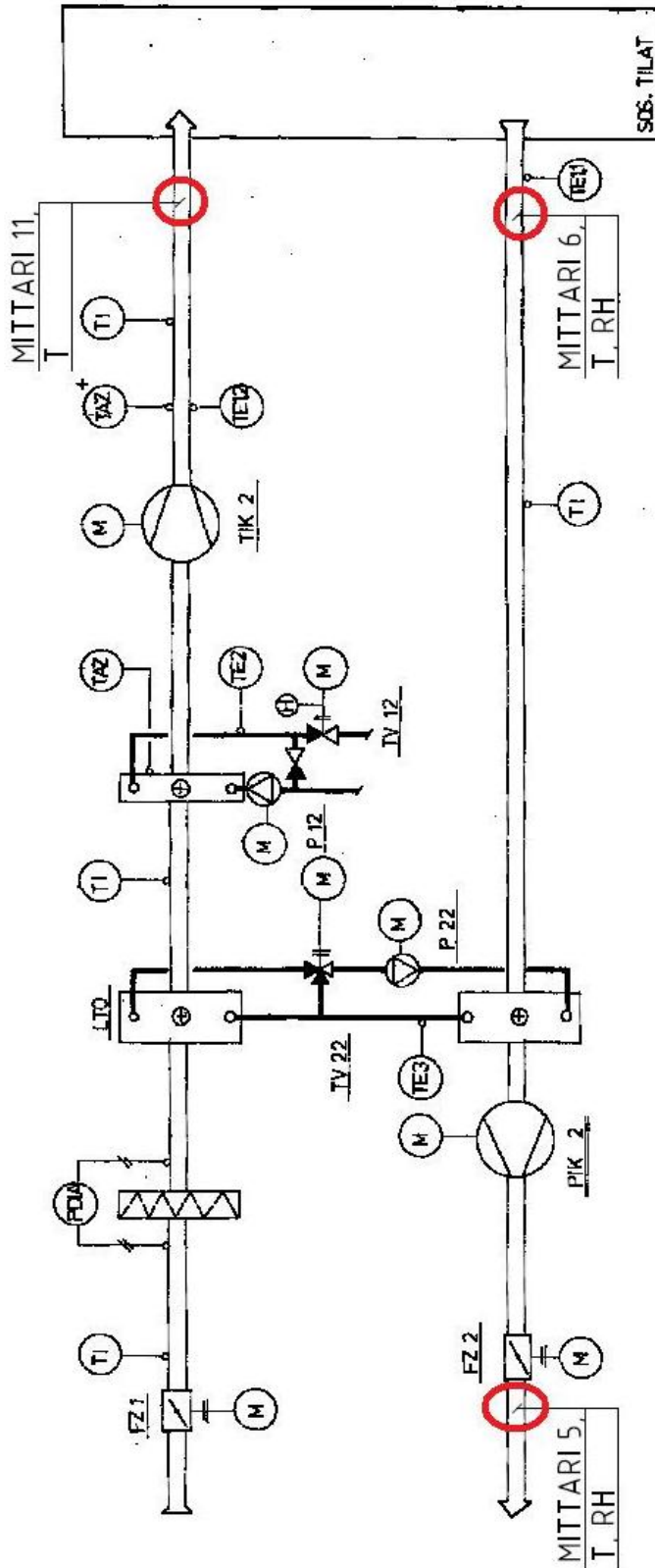
Liite 1. Mollier-diagrammi



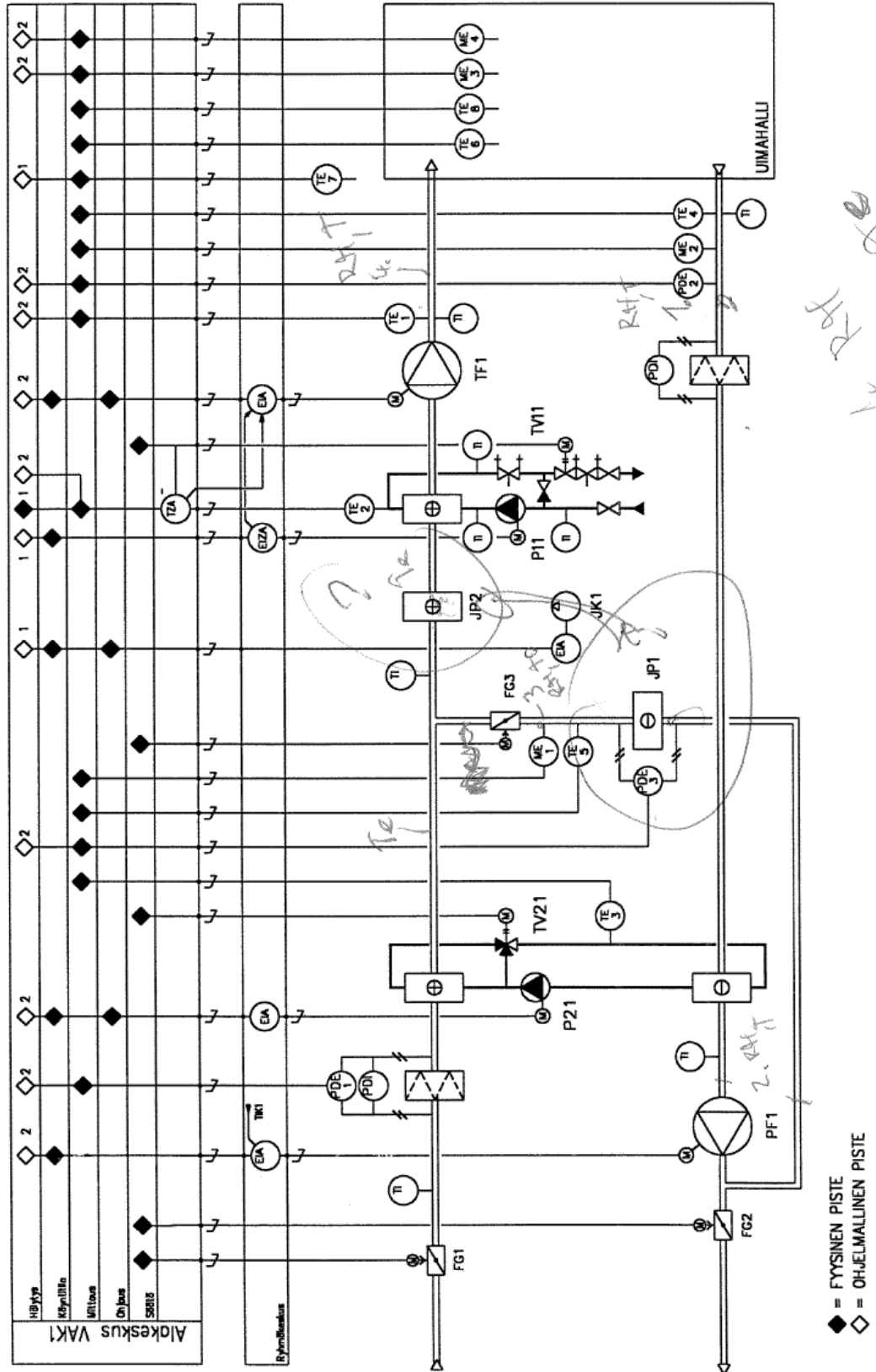
Liite 2. Toimintakaavio, Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihtokoje TIK1/PIK1 sekä dataloggerien sijoituspisteet kojeessa.

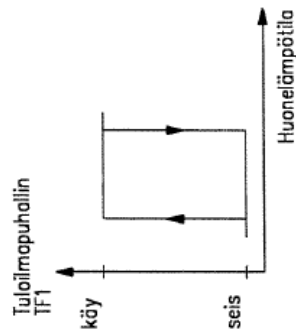


Liite 3. Toimintakaavio, Hakunilan uimahallin pesu-, sauna- ja pukuhuonetilojen ilmanvaihtokoje TIK2/PIK2 sekä dataloggerien sijoituspisteet kojeessa.

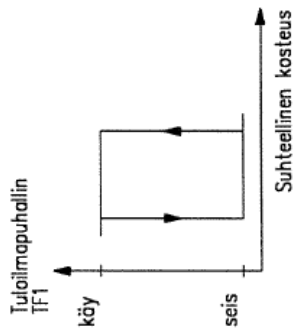


Liite 4. Säättökaavio, Hakunilan uimahallin allastilan ilmanvaihtokoje TIK1/PIK1

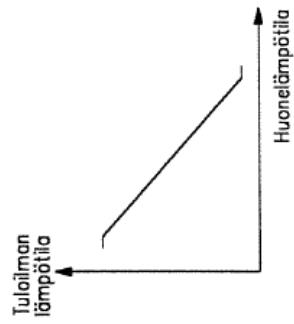




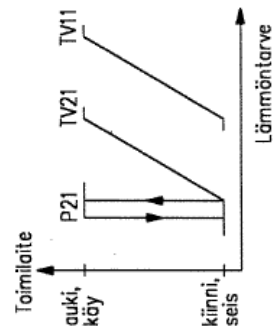
KUVA 1



KUVA 2



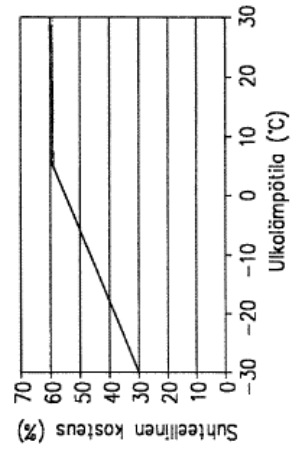
KUVA 3



KUVA 4

sovittu 20.9.201
PK/Partio

+6°C



RAJAKOSTEUSKÄYRÄ

Hakunilan uimahalli Sotungintie 17, 01200 Vantaa

| TUNNUS | NIMITYS | TEKNISET TIEDOT |
|--------|-----------------------|---|
| TF1 | Tuloilmapuhallin | 4,6 m ³ /s |
| LP2 | Lauhdutin | 2 x 46,5 kW Lauhdutinlämpötila +40 °C |
| JP1 | Höyrystin | 2 x 46,5 kW Höyrystymislämpötila +2 °C |
| JK1 | Jäähdytyskompressorit | 2 x 46,5 kW |
| PF1 | Poistoilmapuhallin | 4,6 m ³ /s |
| P11 | Lämpöjohtopumppu | |
| TE4 | Lämpötila-anturi | 0...+40 °C |
| TE1 | Lämpötila-anturi | 0...+40 °C |
| TE6 | Lämpötila-anturi | 0...+40 °C |
| TE5 | Lämpötila-anturi | 0...+40 °C |
| P21 | LTO -pumppu | |
| TE3 | Lämpötila-anturi | -10...+10 °C |
| TV11 | Säätöventtiili | 24 V, l/s, kPa |
| TV21 | Säätöventtiili | 24 V, l/s, kPa |
| FG1 | Peltimoottori | 24 V, 60 s, portaaton |
| FG2 | Peltimoottori | 24 V, 60 s, portaaton |
| FG3 | Peltimoottori | 24 V, 60 s, portaaton |
| ME | Kosteuslähetin | |
| PDE | Paine-erolähetin | |
| TZA | Jäätymisvaarakytin | +8 °C |
| TE2 | Lämpötila-anturi | |
| TE7 | Lämpötila-anturi | -30...+40 °C |
| TE8 | Lämpötila-anturi | 0...+40 °C |
| TI | Lämpömittari | -40...+40 °C, ilma |

TOIMINTA

0 YLEISTÄ

Ilmastointikoneilla TIK1/PIK1 hoidetaan uimahallitilan ilmastointia.

Toimintojen automatisointi hoidetaan vapaasti ohjelmoitavalla DDC-automaatiojärjestelmällä.

1 NORMAALI TOIMINTA

Päiväkäytössä tuloilmapuhaltimen käyntiä ohjataan alakeskuksen aikaohjelmalla.

Yökäytössä tuloilmapuhaltimen käyntiä ohjataan huonelämpötilan (TE6:n ja TE8:n keskiarvo), sekä suhteellisen kosteuden (ME3 ja ME4) perusteella alakeskuksen tapahtumaohjelmilla kuvien 1 ja 2 mukaisesti.

1.1 Ohjaukset/lukitukset

Toimintoja ohjataan alakeskuksen ohjelmalla.

Tuloilmapuhallin TF1 ei saa käydä, mikäli lämmityspatterin pumppu P11 ei ole käynnissä.

Poistoilmapuhaltimen PF1 käynti on sähkökeskuksessa lukittu tuloilmapuhaltimen TF1 käyntiin.

Kuivaaja JK1 ei saa käydä, mikäli puhaltimet TF1 ja PF1 eivät ole käynnissä.

Lämmityspatterin pumppu P11 on käynnissä jatkuvasti.

LTO –verkoston pumpun P21 käyntiä ohjataan ohjelmallisesti.

Pellit FG1, FG2 ja FG3 ovat alakeskuksen määräämässä asennossa.

1.2 Lämpötilan säätö

Alakeskus pitää tuloilman lämpötilan anturin TE1 kohdalla huoneilman lämpötilasta (TE6:n ja TE8:n keskiarvo) riippuvassa lämpötilassa kuvan 3 mukaisesti. Lämmöntarpeen kasvaessa säätöohjelma käynnistää pumpun P21 ja säätää ensimmäisenä portaana moottoriventtiiliä TV21, sekä toisena lämmitysportaana moottoriventtiiliä TV11 kuvan 4 mukaisesti.

Huoneanturien TE6 ja TE8 mittaustuloksen keskiarvo muuttaa asetelluissa rajoissa kanava-anturin TE1 asetustarvoa säätökäyrän mukaisesti (kaskadisäätö).

1.3 Kuivauksen toiminta

Toiminta talviaikana

Ulkolämpötilan ollessa alle asetustarvon (+16 °C), pellit FG1, FG2 ja FG3 säädetään siten, että kiertoilmavirta on 50% mitoitusilmavirrasta. 120 s viiveen jälkeen kuivaajan JK1 käyntilupa on voimassa, mikäli suhteellinen kosteus anturin ME3, tai ME4 kohdalla on yli rajakosteuskäyrällä määritellyn arvon.

Toiminta kesäaikana

Ulkolämpötilan ollessa yli asetustarvon, pellit FG1 ja FG2 ovat auki ja kiertoilmapelti FG3 kiinni. Kuivaajan JK1 käyntilupa ei ole voimassa.

Mikäli suhteellinen kosteus anturin ME3, tai ME4 kohdalla nousee yli rajakosteuskäyrällä määritellyn arvon, suoritetaan kuivausvaihe kuten talviaikana, minkä jälkeen kuivaajan käyntilupa ei ole voimassa ja peltien asennot palautetaan.

2 SEISONTATILA

2.1 Ohjaukset/lukitukset

Puhaltimet eivät ole käynnissä.

Pellit FG1 ja FG2 ovat kiinni ja kiertoilmapelti FG3 on auki.

LTO –pumppu P21 ei ole käynnissä.

Kuivaajan käyntilupa ei ole voimassa.

2.2 Lämpötilan säätö

Lämmityspatterin paluuveden lämpötila pidetään seisonta-ajan asetusarvossa ohjaamalla lämpötilamittauksen TE2 perusteella moottoriventtiiliä TV11.

3 SUOJAUS

Seuraavat suojaustoimenpiteet ohittavat normaalit ohjelmanmukaiset säätö-/ohjaustoiminnot:

3.1 Suojaus lämmityspatterin jäätymiseltä

Käsiपालautteinen jäätymisvaaratermostaatti TZA pysäyttää tuloilmapuhaltimen, kun lämpötila anturin TE2 kohdalla laskee asetusarvoon ja samalla tapahtuu hälytys.

Laitteisto sisältää jäätymisvaaran ennakoinnin, jolloin venttiiliä TV11 pakko-ohjataan auki 4 °C ennen jäätymisvaaran asetteluarvoa. Mikäli lämpötila laskee arvoon +10 °C, tapahtuu hälytys.

Jos pumppu P11 pysähtyy, laitteisto siirtyy seisontatilaan ja tapahtuu hälytys.

3.2 Kuivauspatterin toiminta

Höyrystimelle asennetaan paine-eromittaus. Mittaukselle ohjelmoidaan raja-arvohälytykset. Ylärajahälytys toimii jäätymisvahtihälytyksenä ja alarajahälytys virtausvahtina. Hälytyksen tapahtuessa kuivaaja JK1 pysäytetään ohjelmallisesti. Mikäli hälytys johtuu jäätymisvaarasta (yläraajahälytys), alakeskus ohjaa kuivaajan käyntiin asetellun viiveen jälkeen. Hälytykset estetään, kun kuivaajan käyntilupa ei ole voimassa.

3.3 Palovaarasuojaus

Tuloilman lämpötilan noustua asetusarvoon (+45 °C), pysähtyy kojeisto ja tapahtuu turvallisuusluokan hälytys. Pysähtyessään kojeisto ei voi automaattisesti käynnistyä uudelleen ilman käsikuitausta käyttöpäätteeltä tai alakeskukselta.

4 MUUT TOIMINNOT

Seuraavat toiminnot ohittavat normaalit ohjelmanmukaiset säätö-/ohjaustoiminnot:

4.1 Yliämmön yötuuletus

Kun rakennuksen seisokkiaikana sisälämpötila on asetusarvon yläpuolella, ulkolämpötila 3 °C viileämpää kuin sisälämpötila ja vähintään +11 °C, sekä kello on välillä 00.00 – 05.00, käynnistää ohjelma laitteiston kuten kuivaustoiminnossa kesäaikana (ks. kohta 1.3).

Laitteisto pysähtyy sisälämpötilan laskettua asetusarvoon, tai kun ulkolämpötilan ja sisälämpötilan ero on alle 3 °C. Sisälämpötila on antureiden TE6:n ja TE8:n keskiarvo.

Laitteiston lämmitys ja LTO ovat tällöin poiskytkettynä. Tuloilman lämpötilan alarajahälytys on estetty yötuuletuksen aikana.

4.2 LTO:n huurteenpoisto

LTO -piirin säätöventtiiliä ohjataan siten, että poistoilmapatterille menevän nesteen lämpötilan lasku alle asetusarvon estetään.

4.3 Suodattimen paine-eromittaus

Raitisilmasuodattimelle asennetaan paine-eromittaus. Mittaukselle ohjelmoidaan raja-arvohälytykset täydelle ja puolitetulle ilmavirralle. Ylärajahälytys toimii suodatinvahtihälytyksenä ja alarajahälytys virtausvahtina.

Poistoilmakanavan painemittaukselle ohjelmoidaan raja-arvohälytykset. Ylärajahälytys toimii suodatinvahtihälytyksenä ja alarajahälytys virtausvahtina.

Hälytykset estetään, kun puhallin ei ole käynnissä.

4.4 LTO –pumpun kesäkäyttö

Kiinnijuuttumisen estämiseksi LTO –verkoston pumppua P21 käytetään lämmöntarpeesta riippumatta kerran vuorokaudessa yhden minuutin ajan.

KUIVAUSJÄRJESTELMÄ

Kojeiston toiminta

Poistoilmapuhallin imee hallin kosteata poistoilmaa suodattimen lävitse LTO - patterille, josta lämpö siirtyy hallin tuloilmaan.

Halliin palautuvaa kiertoilmaa kuivataan järjestelmään liitetyllä kuivauslaitteistolla. Kiertoilmanavaan asennetun höyrystinpatterin ja tuloilmakanavaan asennetun lauhdutinpatterin välityksellä lämpöä siirtyy kiertoilmosta tuloilmaan. Kiertoilman kosteus tiivistyy vedeksi höyrystimen pinnalle, ja poistuu viemäriin.

Säätöpelleillä ohjataan tarvittavia ilmavirtoja. Tuloilmaa lämmitetään tarvittaessa jälkilämmityspatterilla.

Katso myös rakennusautomaatiosuunnitelma TIK1/PIK1.

Kuivaimen käynti

Kuivaimen käyntiä ohjataan automaatiojärjestelmällä. Laite käynnistyy vain jos kaikki seuraavat ehdot ovat voimassa:

- Tulo- ja poistoilmapuhaltimet ovat olleet käynnissä vähintään 2min.
- Säätöpellit ovat kiertoilma-asennossa (vähintään 50 % kiertoilmaa).
- Hallin suhteellinen kosteus ylittää rajakosteuskäyrän mukaisen arvon.

JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖOHJEITA

Lämpötilat

Allashuoneen ilman lämpötilan tulisi olla **2...3 °C allasveden lämpötilaa korkeamman**, mikä vähentää haihtumista ja energian kulutusta siitä mitä se olisi, jos lämpötilaeroa ei olisi.

Suhteellinen kosteus

Halli-ilman suhteellisen kosteuden tavoitearvo on ilmaistu **rajakosteuskäyrän** avulla, joka on ohjelmoitu automaatiojärjestelmään (Katso säätökaavio ja toimintaselostus). Allashuoneen suhteellisen kosteuden tulisi noudattaa tätä käyrää kullakin ulkolämpötilalla.

Mikäli suhteellinen kosteus on liian korkea, kosteus tiivistyy vedeksi rakenteissa aiheuttaen kosteusvaurioita. Liian matala suhteellinen kosteus lisää haihtumista altaista, mikä lisää energiankulutusta. Siksi **on tärkeää, että rajakosteuskäyrä on oikein määritelty ja että järjestelmän toiminta noudattaa sitä.**

Seuranta

Ilman säännöllistä toimintojen tarkkailua säätöasetusten virheitä on vaikea havaita.

Kulutusseurantaan liittyen tulisi päivittäin kirjata ylös lämpötilat ja suhteellisen kosteuden arvot, sekä verrata niitä rajakosteuskäyrään.

Automaatiojärjestelmän mittauselinten tarkkuus tulee tarkistaa säännöllisesti.

MAHDOLLISIA VIKATILANTEITA**Kuivaimen yleishälytys alakeskukseen**

Valvonta-alakeskukseen tuleva hälytys koostuu seuraavista kuivaimen sisäisistä hälytyksistä:

- Lämpörelehälytys
- alipainehälytys
- ylipainehälytys
- ylikuumemissuoja

Em. hälytysten tapahduttua toistuvasti on kutsuttava erikoisammattimies.

Höyrytimen hälytys

Höyrytimen jäätyminen. Kuivain käynnistyy automaattisesti sulamista varten asetellun viiveen jälkeen (n. 30...45 min). Toistuvien hälytysten tapahtuessa on viiveen pituus ja peltien toiminta tarkistettava.

Kiertoilman virtaus liian pieni. Syy selvitettävä.

Poistoilmakanavan paine

Poistoilmasuodatin tukkeutunut tai virtaus liian pieni.

Ulkolämpötilahälytys

Ulkolämpötilan tuntoelin on rikki.

Muuta

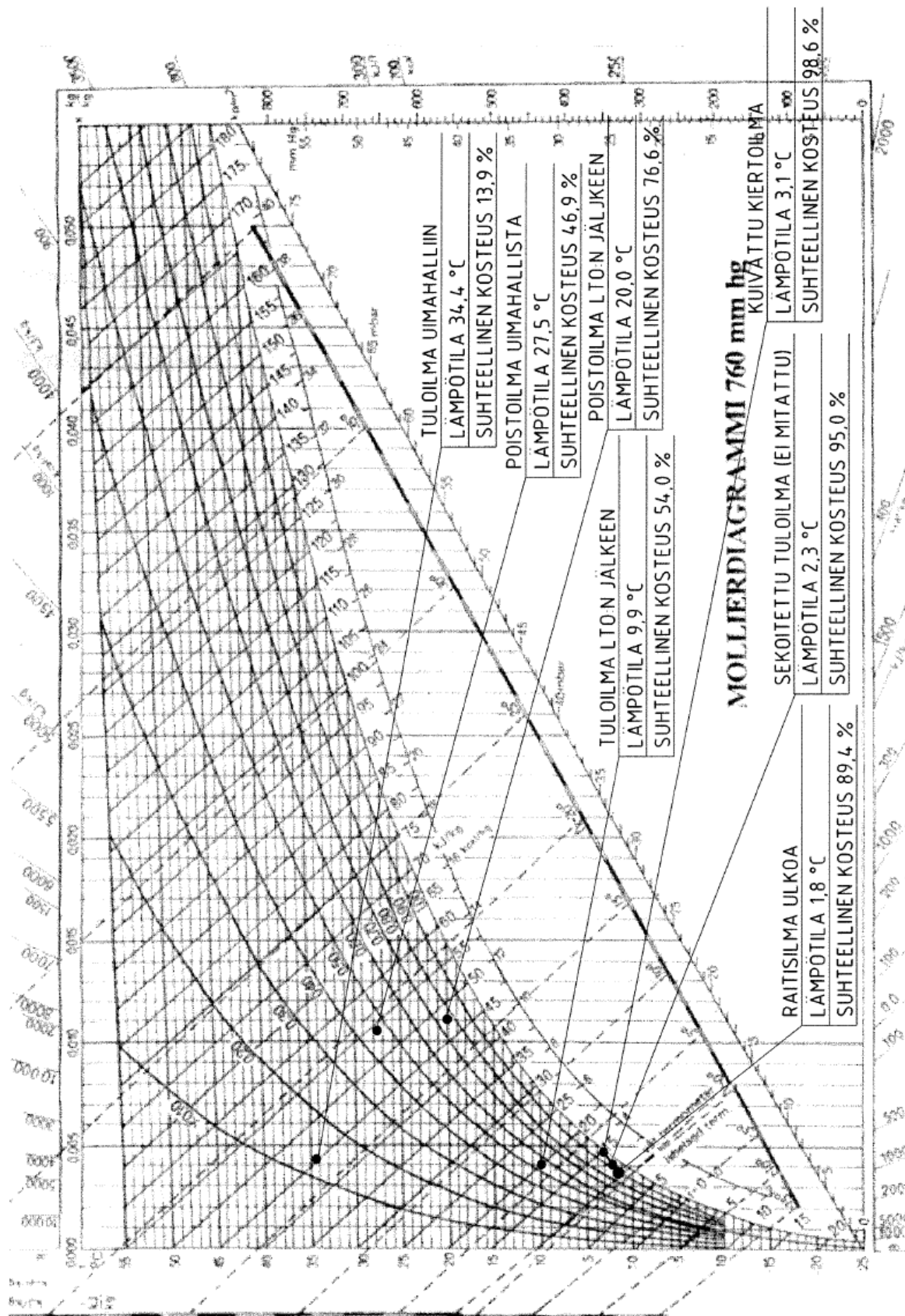
Muut hälytystilanteet, katso säätökaavio ja toimintaselostus. Toistuvat hälytykset eivät kuulu järjestelmän moitteettomaan toimintaan ja siksi niiden esiintyessä syy on selvitettävä ja poistettava järjestelmää virittämällä.

| Hakumilan uimahalli Sotungintie 17, 01200 Vantaa | | PISTELUETTELO | | | | | | | | | | Sivu 1(2) | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------|----------------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-----------|-------------|--------------------|----------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|---|------------------|----------------|--|
| PIIR: N:O LVI 06 | | ALAKESKUS: VAK1 | | | | | SIJAINTI: IV-KONEHUONE | | | | | Päiväys: 28.9.2000 | | Vim. muutos: | | | | | | | |
| SÄÄTÖKAAVIO: TIK1/PIK1 | | BIN. LÄHDÖT | | | LITYNTÄTIEDOT, PERUSTIEDOT | | | OHJELMOINTITIEDOT | | | MUUT TIEDOT | | | | | | | | | | |
| SÄÄTÖ-, VALVONTA- JA OHJAUSKOHTEET | | O | O | O | A | A | A | A | F | R | K | T | KÄYTTÖOHJELMAT | PORASTETTU KÄYNN. | TETOJEN MUOKKAUS | RAPORTTI | SÄHKÖTEHON RAJOTUS | RYHMÄKESKUS MUU LIIT.PISTE PISTEEN SIAINTI | HUOMAUTUKSET | | |
| | | KÄYSEIS | HIDAS/NOPEA | AUKKINNIN | KÄYNTITILA NOPEA | KÄYNTITILA HIDAS | HÄLYTYSLUOKKA | PULSSITULO | SUHT. OHJAUS AO | LÄMPÖTILA | KOSTEUS | PAINE/PAINE-ERO | VIRTAUS | KÄYTTÖOPPOS. HÄL. | RAJA-AVONHÄLYTYS | KÄYTTÖTUNTIKASK. | AIKAOHJELMA | JAKSOTTAINEN KÄYTTÖ | TAPAHTUMAOHJELMA | KÄYTTÖOHJELMAT | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | TULOILMAPUHALLIN | X | | | X | | | | | | | | | 2 | X | X | | | | | |
| 3 | POISTOILMAPUHALLIN | | | | X | | | | | | | | | 2 | X | X | | | | | |
| 4 | PUMPPU | | | | X | | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 5 | POISTOILMAN LÄMPÖTILA | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | TULOILMAN LÄMPÖTILA | | | | | | | X | | | | | | | 2 | | | | | | |
| 7 | HUONEILMAN LÄMPÖTILA | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | KIERTOILMAN LÄMPÖTILA | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | LTO -PUMPPU | | | | X | | | | | | | | | 2 | | | | | | | |
| 10 | LTO-PIIRIN LÄMPÖTILA | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| 11 | SÄÄTOVENTTIILI | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | SÄÄTOVENTTIILI | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | PELLIN TOIMILAITE, TULO | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | PELLIN TOIMILAITE, POISTO | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | PELLIN TOIMILAITE, KIERTO | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | JÄÄHDYTYSKOJEIKKO | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | |
| 17 | HUONEILMAN KOSTEUS | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | HUONEILMAN KOSTEUS | | | | | | | | X | | | | | | 2 | | | | | | |
| 19 | POISTOILMAN KOSTEUS | | | | | | | | X | | | | | | 2 | | | | | | |
| 20 | KIERTOILMAN KOSTEUS | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| 21 | SUODATINVAHTI, TULO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | POISTOILMAKANAVAN PAINEPDE2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | JÄÄTYMISSUOJA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | PALUUVESIJANTURI | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| 25 | ULKOILMAN LÄMPÖTILA | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| 26 | HUONEILMAN LÄMPÖTILA | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| 27 | KIERTOILMAKANAVAN PAINEPDE3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Piste00.xls

Tekninen toimiala Talonsuunnittelupalvelut Kielotie 13, 01300 VANTAA, puh. 09-83911 fax. 09-839 24096

Liite 5. Tulo- ja poistoilman lämpötilan- ja kosteuden muutokset ilmastointikojeen TIK1/PIK1 eri kohdissa.



Liite 6. Kondensoivan kuivaimen lauhdelämmön talteenoton parannusehdotus.

