

Ville Ruotsalainen

**KONDENSSEIKUIIVAIMEN PROTOTYYPIN TESTAUS JA KEHIT-
TÄMINEN**

KONDENSSIKUIIVAIMEN PROTOTYYPIN TESTAUS JA KEHIT- TÄMINEN

Ville Ruotsalainen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Ville Ruotsalainen
Opinnäytetyön nimi: Kondenssikuivaimen prototyypin testaus ja kehittäminen
Työn ohjaaja: Mikko Niskala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016
Sivumäärä: 46 + 13 liitettä

Työssä testattiin Oulun ammattikorkeakoulussa oppilastyönä valmistetun lattialämmitykseen lauhduttavan kondenssikuivaimen prototyypin toimintaa kevään 2016 aikana. Työn tavoite oli selvittää laitteen toimintaa käytännön olosuhteissa ja tehdä havaintojen perusteella suuntaa-antavia ohjeistuksia laitteen jatkokehitystä varten.

Laite osoitti kehityskelpoisuutensa testausjakson aikana, mutta prototyyppivaiheessa siinä on vielä luonnollisesti kehitystä vaativia asioita, joita muuttamalla laitteen toimintaa ja käytettävyyttä voidaan parantaa. Työssä on pyritty tuomaan esille keskeisimmät huomiot laitteen toiminnasta ja näiden huomioiden pohjalta tehdyt kehitysehdotukset.

Kuivainta testattiin Oulussa sijaitsevassa rakennuskohteessa 45 vuorokauden ajan. Työssä seurattiin kuivaimen prosessin toimintaa, kondensoitua vesimäärää, sisäilmaolosuhteiden muutoksia ja betonin kuivumista. Testausjakson aikana tehtyjen huomioiden perusteella on tehty kehitysehdotuksia mm. laitteen rakenteeseen, höyrystimiin, kiertovesipumppuun, paisunta-astiaan ja säätölaitteisiin liittyen.

Laite kykeni erottamaan kuivattavan tilan sisäilmasta 45 vuorokauden aikana 511 litraa vettä. Kuivain tuotti lattialämmitykseen lämpöenergiaa mittausjakson aikana 3185 kWh ja käytti vastavuoroisesti verkosta otettua sähköenergiaa 1218 kWh.

Asiasanat: kondenssikuivain, betoni, kosteus

ALKULAUSE

Suuri kiitos Mikko Niskalalle ja Ilkka Ränälle mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta, testauskohteen järjestämisestä ja useista hyvistä neuvoista. Kiitos myös Oulun ammattikorkeakoulun henkilökunnalle testauslaitteiston ja siihen liittyvän perehdyttämisen järjestämisestä. Kiitos kuuluu myös Janne Kaartiselle, joka oli toteuttanut kondenssikuivaimen prototyypin osana opinnäytetyötään vuoden 2015 aikana. Laite toimi moitteettomasti koko mittausjakson ajan. Kokonaan uudenlaisen toimintatavan omaavan laitteen tutkiminen ja jatkokehittäminen oli äärimmäisen mielenkiintoista ja opettavaista.

Oulussa 13.4.2016

Ville Ruotsalainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 KUIVAIMEN TOIMINTA JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
2.1 Kuivaimen toimintaperiaate	8
2.2 Betonin kuivuminen	9
2.3 Ilman ominaisuudet	10
2.4 Kuivaimen toiminta	12
3 LAITTEEN TESTAUSJÄRJESTELYT	15
3.1 Testauskohteen esittely	15
3.1.1 Lattian rakenne	16
3.1.2 Seinien rakenne	16
3.2 Mittausjärjestelyt	17
3.2.1 Kuivaimen toiminnan seuranta	18
3.2.2 Huoneilman lämpötilan ja kosteuden mittaus	18
3.2.3 Betonin kosteuden mittaaminen	19
4 MITTAUSTULOKSET	20
4.1 Rakenteiden kuivuminen mittausjaksolla	20
4.2 Kuivattavan tilan ilman lämpötila ja kosteus mittausajanjaksolla	23
4.3 Kuivaimen erottama vesimäärä mittausjaksolla	26
4.4 Ulkoilman lämpötila ja kosteus mittausjaksolla	27
4.5 Höyrystimien toiminta mittausjaksolla	27
4.6 Kuivaimen käyttämä ja tuottama energia	29
4.7 Kosteuteen sitoutuneen latenttilämmön määrä suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan	29
4.8 Kondenssikuvaimen toiminta mittausjaksolla	31
4.9 Kuivaimen toiminnassa havaitut ongelmat	32
5 KUIVAIMEN JATKOKEHITYS	33
5.1 Kuivaimen rakenne	33
5.2 Kuivaimen säätölaitteet	35

5.2.1 Laitteen toiminnan katkaisu yllämpötilanteessa	35
5.2.2 Pumpun toiminta	36
5.2.3 Sähkövastuksen säätö	36
5.3 Kuivaimen kylmäjärjestelmän komponentit	36
5.3.1 Höyrystin	36
5.3.2 Kuivattavan ilman suodatus	37
5.3.3 Höyrystinpaineensäädin	38
5.3.4 Nestevaraaja	38
5.4 Kuivaimen lattialämpöjärjestelmän komponentit	38
5.4.1 Pumppu	38
5.4.2 Paisunta-astia	39
5.5 Jäätävällä höyrystimellä varustettu kuivain	42
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45
LIITTEET	47

1 JOHDANTO

Betoni on nykyisen kiireellisen rakentamisen aikakautena aiheuttanut suuresti ongelmia pitkän kuivumisaikansa vuoksi. Riittäväksi katsotun kuivumisajan jälkeen rakenteeltaan lujiksi todetut betonirakenteet on arvioitu kuiviksi pinnoittamista varten, mutta syvältä betonin huokosista poistunut kosteus on myöhemmin tiivistynyt rakenteisiin aiheuttaen home- ja mikrobivaurioita sisäilmaan.

Työmailla betonia pyritään kuivaamaan useilla erilaisilla tavoilla, joko sisäilman lämpötilaa nostamalla tai valettua lattiaa lämmittämällä. Kyseiset kuivatusmenetelmät voivat tapauskohtaisesti olla riittäviäkin toimenpiteitä, mutta kuluttavat huomattavan määrän energiaa ja voivat vaatia pitkän aikajakson haluttujen kosteuspitoisuuksien saavuttamiseksi. Lattialämpöön lauhduttavan kondenssikuvaimen etuna on sen kylmäprosessi, joka suhteellisen pienellä sähköenergialla tuottaa lämpötehoa lattialämmitykseen ja kylmätehoa kondensoivaan höyrytimeen. Ainakaan toistaiseksi markkinoilla ei ole yhtään vastaavaa betonin kuivumista tehostavaa laitetta, joka samalla lämmittäisi valettua betonilattiaa ja poistaisi ilmankosteutta kuivattavasta tilasta.

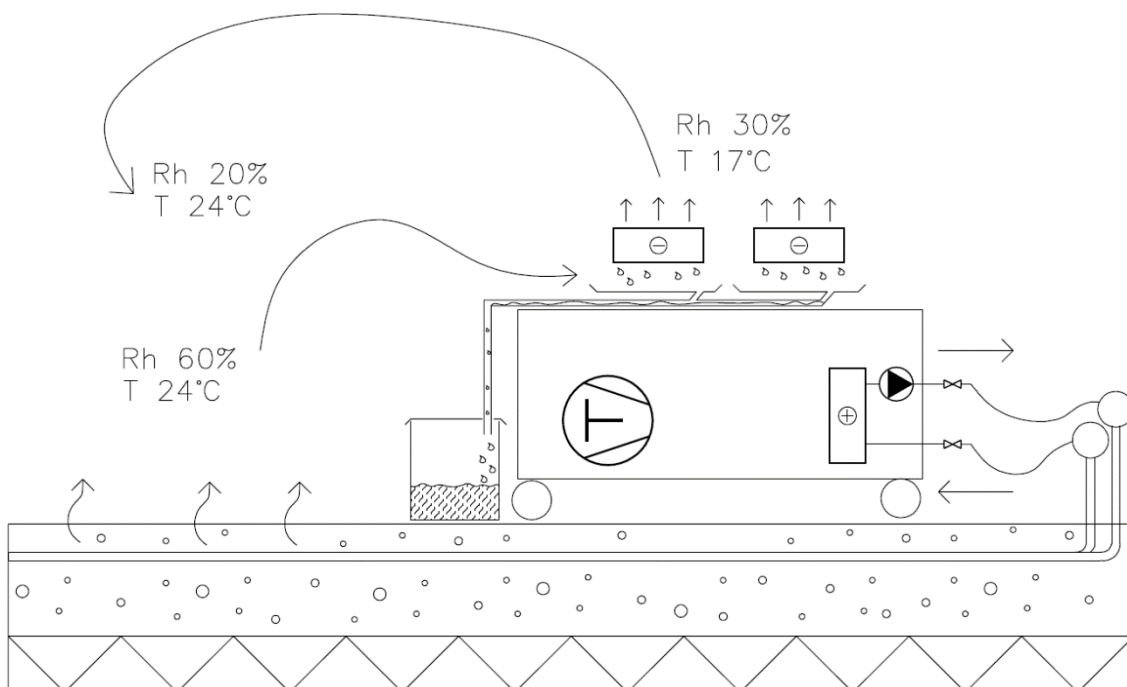
Työn tavoitteena oli selvittää Oulun ammattikorkeakoulussa aiemmin oppilastyönä valmistetun lattialämpöön lauhduttavan kondenssikuvaimen toimintaa työmaaolosuhteissa, havainnoida prosessiin vaikuttavia tekijöitä ja jatkokehittää laitetta tarvittavilta osin. Työn ensimmäisessä osassa pyritään selvittämään laitteen perustoimintaperiaatteet ja siihen vaikuttavat fysikaaliset ilmiöt. Toisessa osiossa käydään läpi laitteen toiminta käytännöolosuhteissa ja niiden pohjalta tehdyt huomiot laitteen toiminnasta. Luvussa 5 on esitetty ehdotukset laitteen jatkokehitystä varten.

2 KUIVAIMEN TOIMINTA JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Teoriaosuuden on tarkoitus selvittää lukijalle miksi lattialämmitykseen lauhtumislämpöä hyödyntävä kondenssikuvain on kehitetty, mitä sen käytöllä saavutetaan ja kuinka erilaiset fysikaaliset ilmiöt vaikuttavat sen toimintaan. Toiminta pyritään aluksi kuvaamaan yksinkertaisesti, jotta laitteen toimintaperiaate selventyy lukijalle. Tämän jälkeen käydään läpi laitteen toimintaan vaikuttavat fysikaaliset tekijät ja lopuksi paneudutaan laitteen kylmä- ja lämmitysprosesseihin.

2.1 Kuivaimen toimintaperiaate

Lattialämmitykseen lauhduttavalla kondenssikuvaimella yhtäaikaaisesti lämmitetään valettua betonilattiaa sekä kuivatetaan rakennuksen sisäilmaa. Prosessilla tehostetaan betonin kuivumista kasvattamalla kuivatettavan materiaalin lämpötilaa ja pienentämällä ilman kosteuspitoisuutta, jolloin betonin huokosiin sitoutunut kosteus siirtyy tehokkaasti pois rakenteesta. Kuvassa 1 on pyritty havainnollistamaan kuivaimen toimintaperiaate yleisesti.



KUVA 1. Kuivaimen toimintaperiaate (lämpötilat ja kosteusarvot viitteellisiä)

Alla on listattuna prosessin toiminta pääperiaatteiltaan kuvan 1 mukaisesti.

- Kuivaimen kylmälaiteprosessissa syntyvä lämpö johdetaan lämmönvaihtimeen, jossa lämpöenergia siirtyy lattialämmitysneesteeseen.
- Pumppu kierrättää lattialämmitysjärjestelmän nestettä, jolloin kylmäprosessin tuottama lämpöenergia siirtyy kuivattavaan betonilattiaan.
- Betonin huokosiin sitoutunut kosteus alkaa siirtyä kohti pienemmän lämpötilan ja kosteuspitoisuuden omaavaa huonetilaa.
- Betoniin sitoutunut kosteus siirtyy kuivempaan sisäilmaan ja ilman kosteuspitoisuus kasvaa.
- Kostea sisäilma johdetaan kuivaimen höyrystinpattereiden lävitse, jossa ilmaan sitoutunut kosteus kondensoituu nesteeksi ja ilman lämpötila sekä kosteuspitoisuus pienenevät.
- Kondensoitunut vesi johdetaan suljettuun säiliöön tai viemärintipisteeseen.

2.2 Betonin kuivuminen

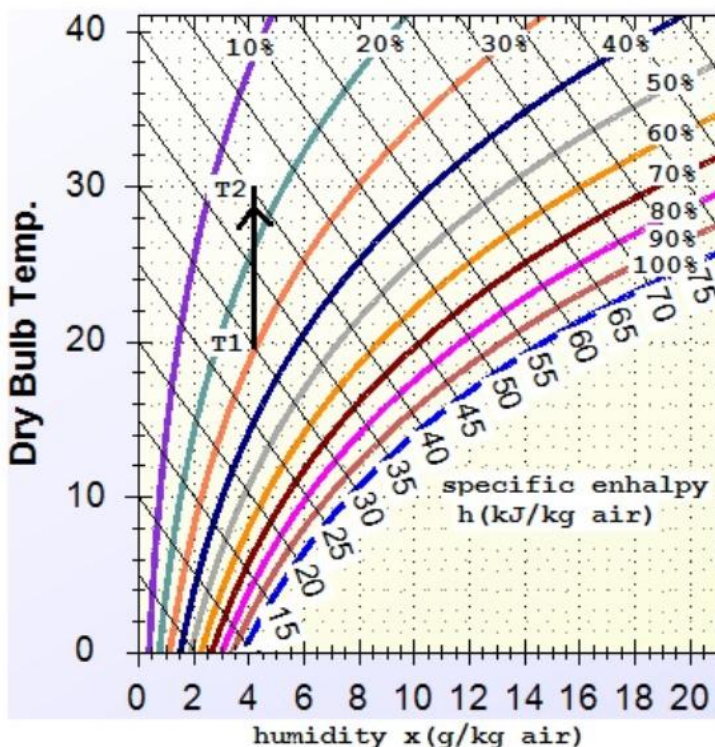
Lattiaa valettaessa betonimassa sisältää runsaasti vettä. Vaikka betonilattia on jälkihoitoajan jälkeen kovettunut ja rakenteeltaan kiinteää, sen huokosiin on silti sitoutunut runsaasti kosteutta, joka poistuu suhteellisen hitaasti ympäröivään ilmaan. Jotta betonilattia voidaan pinnoittaa halutulla materiaalilla, tulee varmistua betonin riittävän alhaisesta kosteuspitoisuudesta. Mikäli kosteutta ei ole saatu poistettua betonin huokosista riittävästi, se jatkaa siirtymistään pinnoittamisen jälkeen edelleen kohti pienemmän kosteuspitoisuuden omaavaa tilaa ja voi tiivistyä pinnoitteen alle aiheuttaen kosteusvaurioita ja mikrobiongelmia. Betonin kuivuminen on kuitenkin riippuvainen useista tekijöistä, eikä ainoastaan aikariippuvainen käsite kuten yleensä on ajateltu. Suhteellisen usein betonin kuivumisen nyrkkisääntönä on pidetty 1 cm/viikko. Jos suhteellinen ilmankosteus pysyy riittävän korkeana, ei betonissa välttämättä tapahdu kuivumista lainkaan. (1.)

Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa betonia lämmittämällä ja huolehtimalla kuivattavan tilan ilmankosteuden riittävän alhaisesta tasosta kuivumisaikana.

Tällöin betonin huokosiin sitoutunut kosteus pyrkii siirtymään huoneilmaan lämpötilaeron ja vesihöyryn osapaine-eron ansiosta. (1.)

2.3 Ilman ominaisuudet

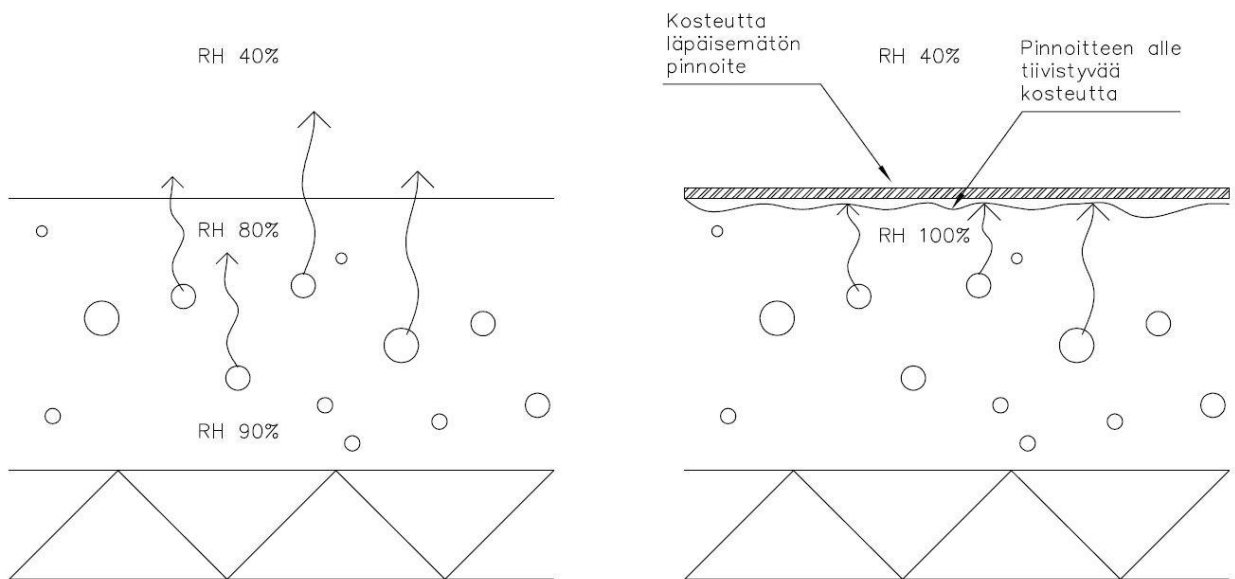
Valetun betonilaatan lämmittämisen lisäksi kondenssikuivaimella pyritään poistamaan ilmaan sitoutunutta vesihöyryä, jolloin ilman kosteuspitoisuus pienenee ja betonin kuivuminen tehostuu. Ilmassa on käytännössä aina jonkin verran sitoutunutta kosteutta. Mitä lämpimämpää ilma on, sen suurempi on ilman kyky sitoa vesihöyryä. Vastavuoroisesti kylmempi ilma voi pitää sisässään pienemmän määrän sitoutunutta kosteutta. Tätä lämpötilasidonnaista kosteudensitomiskykyä pyritään hyödyntämään prosessissa johtamalla kuivaimen höyrystimen läpi matalalämpötilaista kylmäainetta, jolloin höyrystimen lävitse kulkevan ilman lämpötila laskee ja siihen sitoutunut kosteus tiivistyy höyrystimen pinnalle. Hyvä havainnollistaja ilmakehän kosteuden käyttäytymisessä eri lämpötiloissa on kuvassa 2 esitetty Mollier-diagrammi.



KUVA 2. Mollier-diagrammi (2)

Mollier-diagrammista voidaan selkeästi havaita kuinka ilman kosteudensitomiskyky pienenee ilman lämpötilan laskiessa. 100 %:n suhteellisen kosteuden käyrä kuvastaa kastepistettä eli pistettä jossa ilmaan sitoutunut kosteus alkaa tiivistyä pisaroiksi. Esimerkiksi 20 °C:n lämpötilassa ilman suhteellisen kosteuden ollessa 30 % on yhteen kuutiometriin ilmaa sitoutunut noin 4 grammaa vettä. Mikäli ilma nyt jäädytettäisiin 10 °C:seen, se sisältäisi edelleen 4 grammaa vettä kuutiometriä kohden, mutta sen suhteellinen kosteus olisi 50 %. (3.)

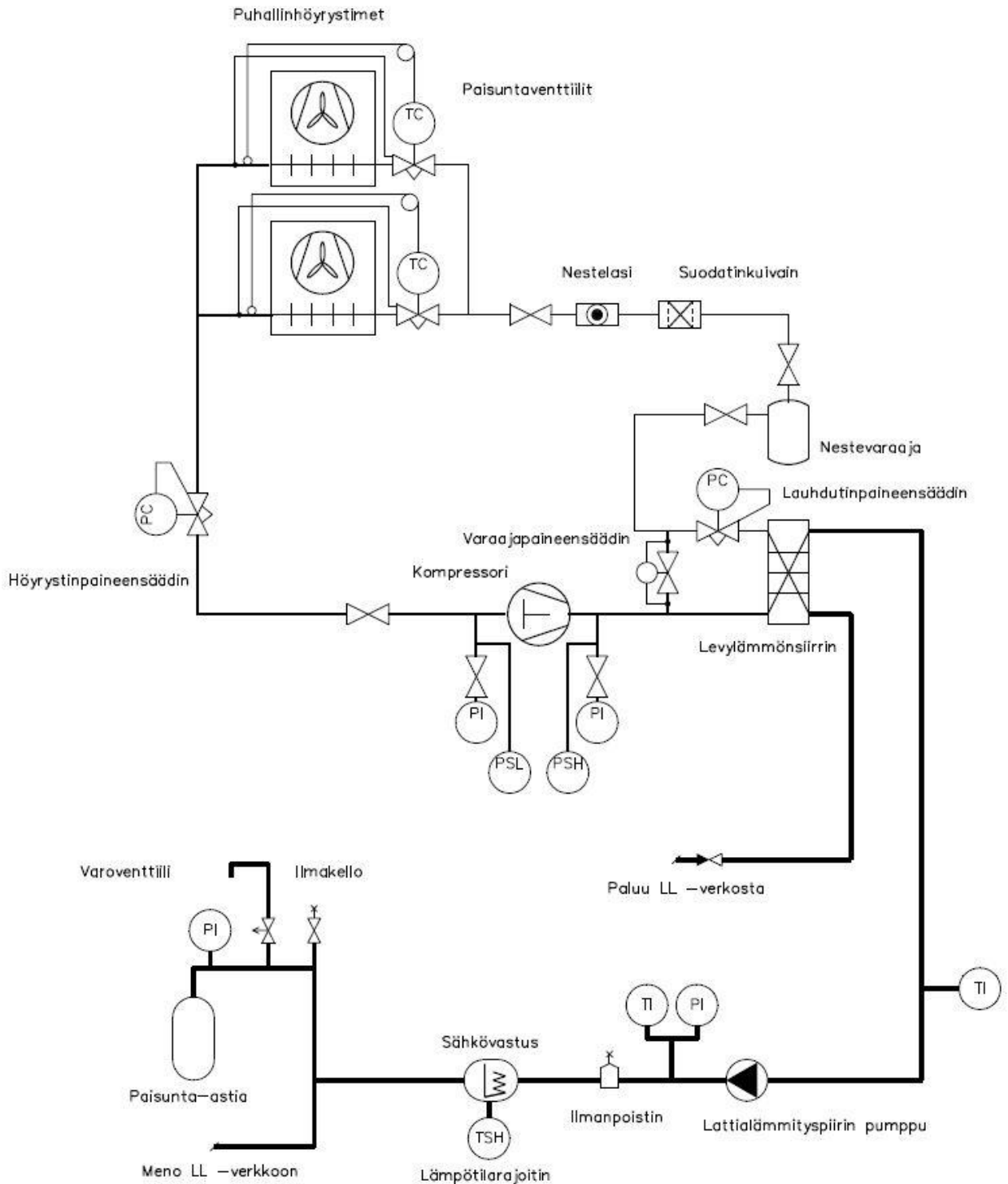
Ilmaan sitoutuneen veden osapaine pyrkii aina tasoittumaan suuremmasta paineesta kohti pienempää. Kun kuivaimen avulla sisätilan ilman kosteuspitoisuutta on saatu laskettua riittävästi, alkaa betonin huokosiin sitoutuneen ilman kosteus siirtyä kohti pienempää kosteuspitoisuutta. Erityisesti pinnoitettaessa betonia kosteutta läpäisemättömällä materiaalilla, kuten muovimatolla, tulee varmistua betonin riittävän alhaisesta kosteuspitoisuudesta, jotta voidaan välttää kosteusvaurioiden syntyminen. (4). Kuvassa 3 on havainnollistettuna kosteuden liike betonin huokosista kohti kuivempaa sisäilmaa.



KUVA 3. Kosteuspitoisuuden tasapainottuminen betonin huokosista huoneilmaan ylöspäin kuivuvassa lattiarakenteessa

2.4 Kuivaimen toiminta

Tässä luvussa on kuvattuna laitteen nykyinen kokoonpano. Kytkentäkaaviossa (kuva 4) on merkittynä laitteen komponentit nykyisessä järjestyksessään ja toimintaselostuksessa on kerrottu jokaisen komponentin toimintaperiaate.



KUVA 4. Kondenssikuivaimen prototyypin kytkentäkaavio

Alla on luetteloituna kunkin laitteen toimintaperiaate prosessissa kuvan 4 mukaisesti.

Kuivaimen kylmäjärjestelmä

- Kylmäaineena järjestelmässä on R134 a. Laitteen suunniteltu höyrystymislämpötila on -4 °C ja lauhtumislämpötila 47 °C
- Kompressorin puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen. Kylmäaineen lämpötila nousee. Kylmäaine siirtyy kuumakaasujohtoa pitkin lauhduttimeen (levylämmönsiirrin).
- Lauhduttimena toimivassa levylämmönsiirtimessä kylmäaineeseen sitoutunut lämpöenergia siirtyy lattialämmitysjärjestelmässä kiertävään veteen.
- Lauhduttimen jälkeen lauhdejohtoon sijoitetulla lauhdutinpaineensäätimellä voidaan muuttaa lauhtumispainetta ja -lämpötilaa.
- Kuumakaasujohdon ja lauhdejohtoon väliin asetettu varaajapaineensäädin aukeaa, mikäli paine-ero sen yhteiden välillä kasvaa liian suureksi. Näin nestevaraajan paine säilyy riittävänä.
- Lauhduttimen jälkeen kylmäaine kulkeutuu lauhdejohtoa pitkin nestevaraajaan, jonka tarkoituksena on huolehtia kylmäainenesteen riittävydestä prosessissa eri käyttilanteissa.
- Nestelinjaan asennettu suodatinkuivain erottelee kylmäaineeseen sitoutuneen veden ja epäpuhtaudet pois prosessista.
- Suodatinkuivaimen jälkeen asennetusta nestelasista voidaan tarkastaa sisältääkö kylmäaineneeste kuplia. Nestelasi sisältää myös väriindikaattorin, joka vaihtaa väriään, mikäli järjestelmässä on vettä.
- Paisuntaventtiilit pudottavat kylmäainenesteen painetta, jolloin sen lämpötila laskee.
- Höyrystimissä kiertävä kylmäaine jäädyttää höyrystimien lävitse kulkevaa huoneilmaa, jolloin ilmaan sitoutunut kosteus tiivistyy nesteeksi höyrystimien pinnalle. Huoneilmasta erotettu vesi valuu höyrystimen alla olevaan kaukaloon, josta se johdetaan viemäröintipisteeseen tai astiaan.

- Höyrystimien jälkeiseen kylmäkaasujohtoon asennetulla höyrystinpaineensäätimellä voidaan muuttaa höyrystymispainetta ja -lämpötilaa.
- Kompressorin imu- ja painepuolella sijaitsevat pressostaatit katkaisevat kompressorin käynnin, mikäli paine imupuolella laskee liian matalalle tai painepuolen paine nousee liian suureksi.

Kuivaimen lattialämpöjärjestelmä

- Lauhduttimena toimivassa levylämmönsiirtimessä kompressorilta tulevan kylmäaineen lämpöenergia siirretään lattialämpöjärjestelmän veteen.
- Lämmönsiirtimen jälkeen asennettu kiertovesipumppu kierrättää lattialämpöjärjestelmän vettä.
- Ilmanpoistin poistaa lattialämpöjärjestelmään kertyneen ilman.
- Lattialämpöpiirin menoputkeen on asennettu säiliö, jossa on sähkövastus. Sähkövastuksella nostetaan menoveden lämpötilaa, mikäli kylmäprosessissa tuotettu lämpö ei riitä ylläpitämään riittävää lämpötilaa lattialämmityspiirissä.
- Varoventtiili estää lattialämmitysjärjestelmän liiallisen paineen nousun ja laitevahinkojen syntymisen.
- Paisunta-astia sallii lämmitysverkoston nesteen tilavuuden muutokset lämpötilan muuttuessa.

3 LAITTEEN TESTAUSJÄRJESTELYT

3.1 Testauskohteen esittely

Kuivaimen toimintaa testattiin noin 45 päivän ajan Oulussa sijaitsevassa rakennuskohteessa. Kohteen betonivalut oli tehty aiemmin syksyllä ja niitä oli pidetty kosteana aina kokeen alkupäiviin asti. Käytännössä voidaan siis olettaa betonin sisältäneen kokeen alkuvaiheessa lähes maksimaalisen määrän kosteutta, jonka se voi sitoa jälkihoitoajan jälkeen. Käytännön testaus aloitettiin 26.2.2016 ja koe päättyi 11.4.2016. Kuvassa 5 on kuivain asennettuna rakennuskohteeseen.



KUVA 5. Kuivain asennettuna työmaalle

Rakenteet oli pyritty saamaan niin tiiviiksi, kuin se työmaaolosuhteissa on mahdollista. Ikkuna-aukot olivat peitettynä paksuilla suojamuoveilla, rakennuksen kaksi ulko-ovea olivat paikallaan, saumat ja muut mahdolliset rakennuksen vaiipan vuotokohdat oli pyritty tiivistämään huolellisesti sisä- ja ulkoilman sekoittumisen ehkäisemiseksi. Rakennuksen vuotoilmaluvuksi, q_{50} , saatiin 1.4.2016 suoritettussa mittauksessa $0,25 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Rakennuksen tiiveyden vuoksi ulkoilman kosteuden merkitys sisäilman olosuhteisiin voidaan todeta suhteellisen vähäiseksi.

Työmaata oli pidetty lämpimänä noin 1,3 kW:n sähkövastuksella, jotta rakennuksen sisätilat olivat pysyneet sulana. Vastus kytkettiin pois päältä kahdeksantena mittauspäivänä, kun haluttu sisälämpötila oli saavutettu.

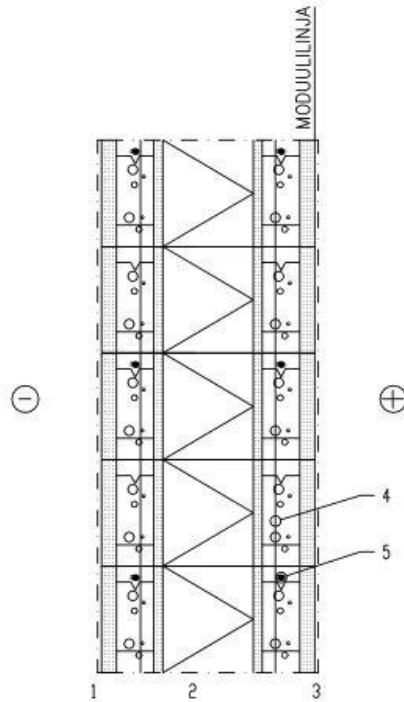
3.1.1 Lattian rakenne

Rakennuksessa on ylöspäin kuivuva paikalla valettu betonilattia. Lattiarakenteen betonivalun paksuus on 10 cm. Rakennuksen pituuden ollessa 12 m ja leveyden 4 m pohjan pinta-alaksi muodostuu 48 m^2 . Laskennallisesti lattiaan käytetyn betonimassan tilavuudeksi saadaan $4,8 \text{ m}^3$. Todellisuudessa tilavuus on hieman kyseistä lukua pienempi lattiakaivoja varten tehtyjen kallistuksien ja lattiaan asennettujen lämpöputkien vuoksi.

3.1.2 Seinien rakenne

Seinämateriaalina kohteessa on valurakenneharkko LL400. Eristeenä harkossa on 200 mm paksu EPS-levy ja sen molemmin puolin 100 mm paksu harkko-/betonivalurakenne. Seinämateriaalin rakenne on esitetty kuvassa 6. (5).

Tuloksia tarkasteltaessa tulee siis huomioida, että myös seinärakenne sisältää paikalla valettua betonimassaa, josta kosteutta siirtyy sisätiloihin. Seinien sisäpuoliseksi betonimassan tilavuudeksi saadaan laskennallisesti $19,2 \text{ m}^3$. Laskennassa on siis otettu huomioon vain seinäharkon sisäpuolella oleva betonimassa, jonka voidaan olettaa luovuttavan kosteuttaan rakennuksen sisäilmaan.



- 1 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan
- 2 Kantava rakenne ladottava lämpöharkko LAMMI LL400
- 3 Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan
- 4 Pystyteräs rak.suun. mukaan, minimiteräs T8 k400 molempiin kuoriin
- 5 Vaakateräs rak.suun. mukaan, minimiteräs T8 k400 molempiin kuoriin

Pystyteräs T10 aukkojen pieliin, L = aukon korkeus + 1000 mm

Lämmönläpäisykerroin: 0,17 W/m²K (Vaatimus: 0,17 W/m²K)
Sisäkuoren palonkestoluokka: REI 60 kantava

KUVA 6. Ulkoseinämaterialina käytetty lämpöharkko LL400 (5)

3.2 Mittausjärjestelyt

Kokeen pääasiallisena tavoitteena oli selvittää laitteen toimintaa käytännöolosuhteissa, betonin kuivumista mittausjaksolla, laitteen energiankulutusta, sisäilmasta kondensoitua kosteutta, koneen käyttämää ja tuottamaa lämpöenergiaa sekä sisäilman lämpötilan ja kosteuden muutoksia.

Mittaustuloksia ja -menetelmiä tarkasteltaessa tulee huomioida, ettei käytännön kokeiden tarkoituksena ole saavuttaa äärimmäisen tarkkoja mitta-arvoja, vaan saada suuntaa-antavia tuloksia laitteen toiminnasta käytännön olosuhteissa.

3.2.1 Kuivaimen toiminnan seuranta

Kuivaimen prosessin lämpötiloja seurattiin Grant 2040 -dataloggeriin yhdistetyillä pintalämpötilamittauksilla seuraavista pisteistä:

- imukaasun lämpötila ennen kompressoria
- imukaasun lämpötila ennen höyrystinpaineensäädintä
- imukaasun lämpötila höyrystimien 1 ja 2 jälkeen (2kpl)
- kuumakaasun lämpötila kompressorin jälkeen
- lattialämmityspiirin meno- ja paluulämpötila (2kpl).

Kuivaimen kummankin höyrystimen toimintaa tarkkailtiin kahdella Kimo KH-210 -mittalaitteella, jotka tarkkailivat seuraavia suureita:

- ilman lämpötilat ennen höyrystintä 1 ja 2
- ilman lämpötilat höyrystimien 1 ja 2 jälkeen
- ilman suhteellinen kosteus höyrystimien 1 ja 2 jälkeen.

Lattialämmityksen toimintaa seurattiin Sharky 775 ultraäänitoimisella virtaus-/energiamittarilla ja sen tulokset kirjattiin ylös seuraavilta osin:

- koneen tuottama kokonaislämpöenergia
- koneen tuottama lämpöteho (lauhduttimen teho).

Laitteeseen oli lisäksi kytketty sähköenergiamittari, jolla seurattiin seuraavia lukuja:

- kuivaimen sähköverkosta ottama sähköteho
- kuivaimen käyttämä sähköenergia.

3.2.2 Huoneilman lämpötilan ja kosteuden mittaus

Huoneilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta seurattiin pienellä ja helppokäyttöisellä EL-USB-2-mittalaitteella. Laite asetettiin mittaamaan huoneen kosteutta ja lämpötilaa 30 minuutin välein. Laitteen asennuskorkeus oli noin 1,8 m.

3.2.3 Betonin kosteuden mittaaminen

Betonin kosteutta arvioitiin pintakosteusmittauksin Tramex CMEX2 -mittalaitteella. Tällä mittauksella voidaan lähinnä arvioida betonin kuivumisnopeutta ja paikallisia kosteuseroja. Todellista betonin kosteussisältöä ei mittauksista voida luotettavasti todeta. Pintakosteusmittauksien avulla betonin kuivumisnopeudesta saadaan suuntaa-antava käsitys, jonka pohjalta voidaan tarkastella laitteen toimintakykyä.

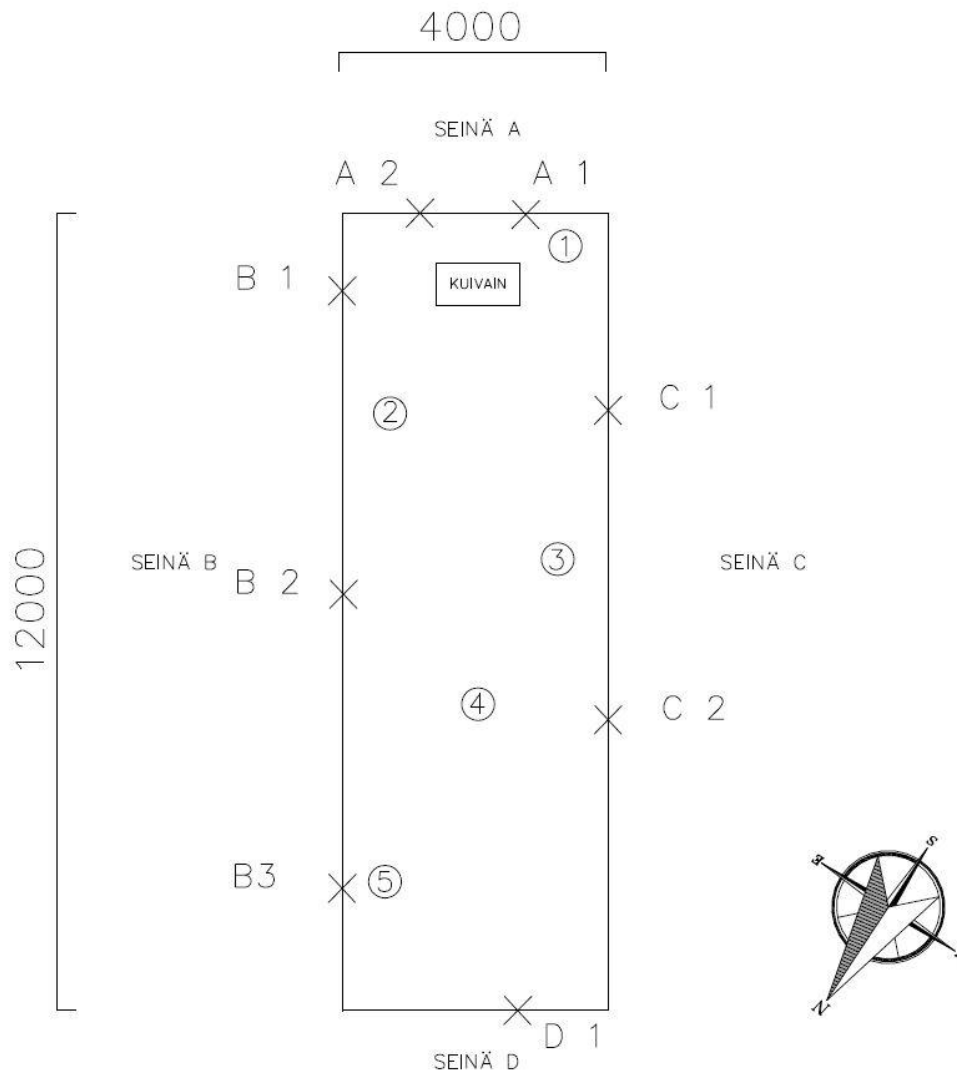
Käytetty mittalaite antoi tulokset kahdella eri mitta-asteikolla, jotka kummatkin ovat merkittyinä mittauspöytäkirjaan (liite 2). Concrete MC % -asteikko (moisture content) antaa betonin kosteuden lukemana 0–6,9 %. REF-asteikko (reference) kertoo betonin kosteuden lukujen 0 ja 99 väliltä. Seurantajaksolla havaitut kosteuden muutokset olivat kummankin asteikon mukaisesti yhtenevät toisiinsa verrattuina.

4 MITTAUSTULOKSET

Tämän otsikon alle on koottu mittauksista saatuja tuloksia ja niiden perusteella tehtyjä havaintoja. Etenkin mittausjakson alkupään tuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että kuivaimen toimintaa säädettiin joidenkin ensimmäisten päivien aikana oikeiden toimintapisteiden löytämiseksi. Laite ei siis toiminut muutaman ensimmäisen mittauspäivän aikana oikealla toiminta-alueellaan, joten sen lämmöntuotto, energiankulutus ja kondensoimiskyky eivät ole olleet optimaalisia.

4.1 Rakenteiden kuivuminen mittausjaksolla

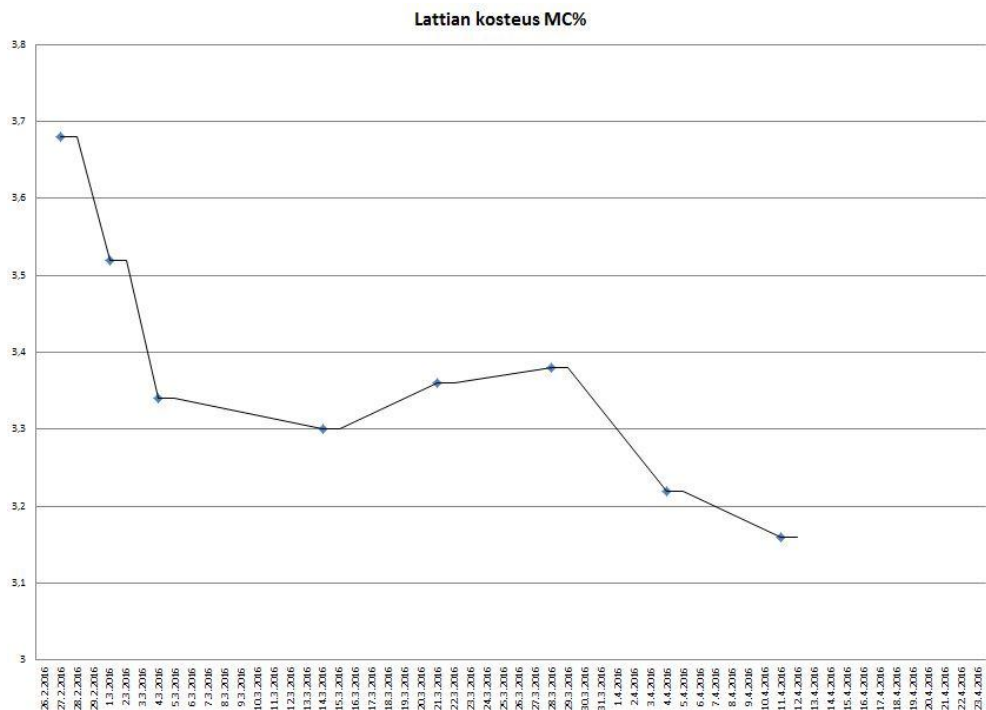
Betonin kuivumista seurattiin pintakosteusmittauksin lattiasta ja seinistä. Vaikka käytetty mittalaite antaa suuntaa-antavia tuloksia betonin kuivumisesta, sillä saadaan kuitenkin hyvä käsitys rakenteiden kuivumisnopeudesta. Pintakosteusmittausten ja sisäilman mittausten välisiä tekijöitä vertailemalla voidaan havaita näiden tekijöiden muutoksien vaikutukset toisiinsa ja muodostaa kuva kosteuden käyttäytymisestä kuivaustilanteessa. Kuvassa 7 ovat esitettynä mittauspisteet rakennuksesta, josta seurantamittaukset on otettu.



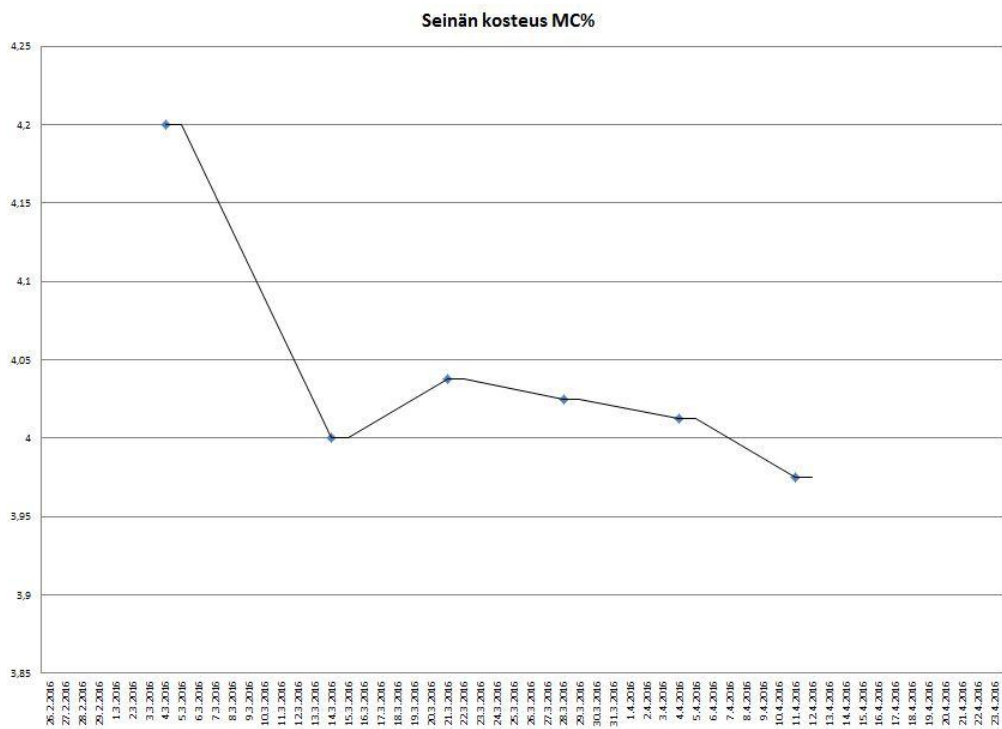
KUVA 7. Kuivumisen seurantapisteeet rakennuksessa

Kuvaan on merkitty myös rakennuksen pohjan mitat sekä ilmansuunta. Liitteessä 2 on merkittynä kunkin mittauspisteen tulokset mittalaitteen antamalla MC %- ja REF-asteikoilla.

Kuvissa 8 ja 9 on esitettyä kosteuden käyttäytyminen rakenteissa. Kuvaajissa on käytetty kaikkien mittauspisteiden keskiarvoa.



KUVA 8. Lattian kosteuden muutokset mittalaitteen ilmoittamalla MC % -asteikolla



KUVA 9. Seinien kosteuden muutokset mittalaitteen ilmoittamalla MC % -asteikolla

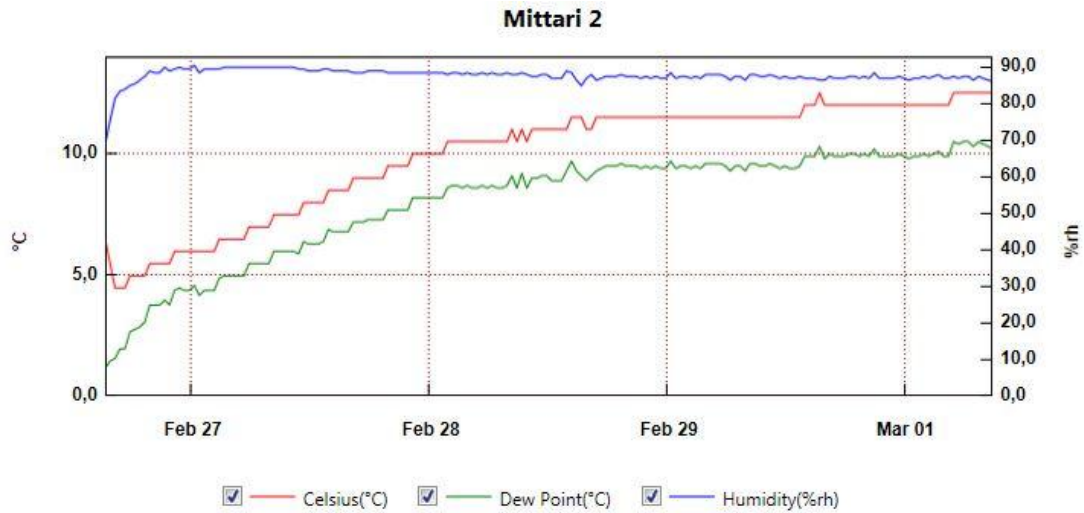
Liitteessä 2 ovat esitettyinä kaikki kosteusmuutoksien kuvaajat ja taulukot kustakin mittauspisteestä. Lähes kaikkien mittauspisteiden tulokset olivat yhteneväisiä, eikä merkittäviä pistekohtaisia eroja ollut havaittavissa.

Kuvien 8 ja 9 käyristä on havaittavissa jyrkkä kosteuspitoisuuden lasku kokeen alkupäivien aikana. Tämän jälkeen rakenteiden kosteuden määrä pinnasta mitattuna on noussut noin kahden viikon ajan ja lopulta kääntynyt laskuun. Ilmeisesti sisätilojen lämmentyessä on rakenteiden pinta kuivunut nopeasti, minkä jälkeen syvemmillä rakenteesta siirtyvä kosteus on taas nostanut mittauslukemia.

Kosteuspitoisuuksien muutokset lattiassa ovat olleet voimakkaampia lattialämmityspotkiston tekemän lämpötilaeron vuoksi. Seinien kosteuden kehitys on ollut hitaampaa, koska ne ovat kuivuneet vain kosteuspitoisuseron vaikutuksesta. Mittalaitteen antamien tulosten pohjalta prosenteiksi muutettu kosteuspitoisuuden muutos lattiassa koko mittausjakson aikana on noin 14 % ja seinissä 5,4 %. Tulee kuitenkin huomioida, että seinien kosteusmittaus aloitettiin joitakin päiviä myöhemmin kuin lattioiden.

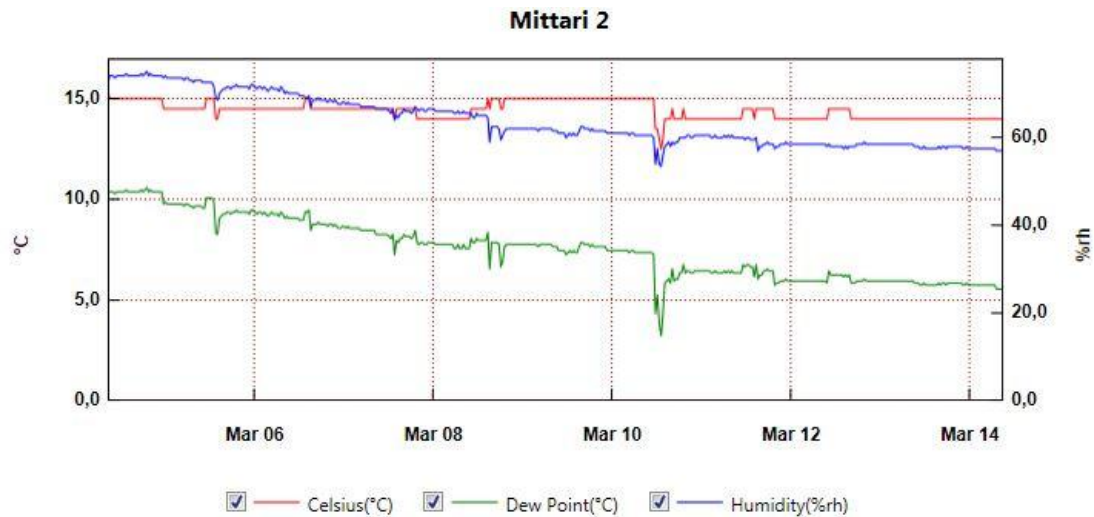
4.2 Kuivattavan tilan ilman lämpötila ja kosteus mittausajanjaksolla

Kuivattavan sisätilan kosteuden ja lämpötilan muutokset ovat havaittavissa kuvista 10, 11 ja 12. Kuvissa sininen käyrä osoittaa sisäilman suhteellisen kosteuden prosentteina, punainen käyrä osoittaa sisäilman lämpötilan celsiusasteina ja vihreä käyrä sisäilman kastepisteen celsiusasteina. Kuivaimen lisälämmitysvastus oli toiminnassa 28.2 asti ja lattiassa sijaitseva 1,3 kW:n sähkövastus 4.3 asti. Liitteessä 3 on esitettyinä kaikki lämpötila- ja kosteuskuvaajat mittausjaksolta.



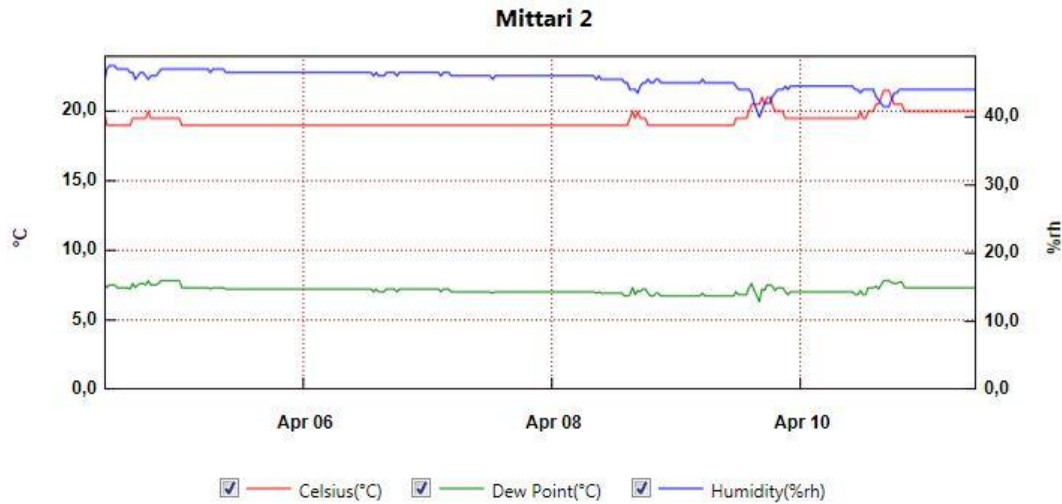
KUVA 10. Sisäilman kosteus ja lämpötila 26.2.–1.3.

Aikavälillä 26.2–1.3 rakennuksen sisälämpötila nousee tasaisesti, mutta suhteellinen kosteus ei laske vielä merkittävästi.



KUVA 11. Sisäilman kosteus ja lämpötila 4.3.–14.3.

4.3–14.3 sisälämpötila huojuu hieman ja suhteellinen kosteus pienenee alle 60 %:n. Mittalaitteen sijaintia on muutettu 11.3., mistä on havaittavissa muutos käyrissä kuvassa 11.

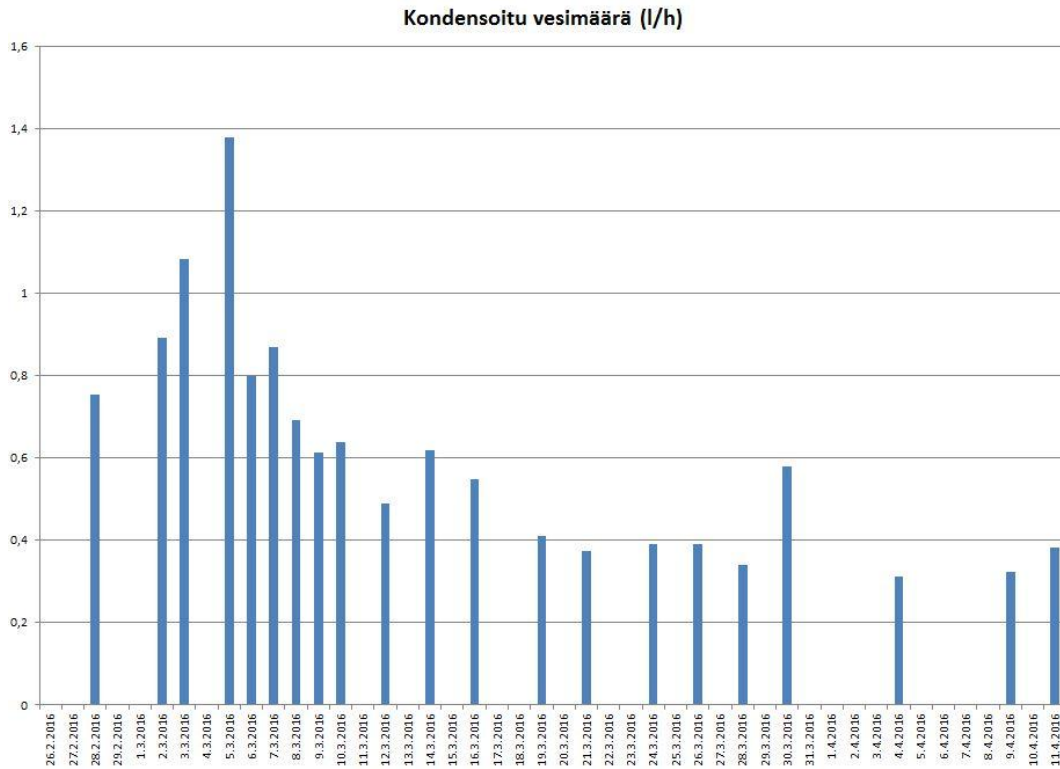


KUVA 12. Sisäilman kosteus ja lämpötila 4.4.–11.4.

Kuten kuvasta 12 voidaan havaita, on sisätilan suhteellinen kosteus laskenut kuudennen mittausviikon aikana alle 50 %:n. Betonin nopean kuivumisen kannalta sisäilman suhteellinen kosteus olisi syytä saada laskettua alle 50 %:n jo suhteellisen varhaisessa vaiheessa kuivausjaksoa (1). Sisäilman suhteellisen kosteusarvojen laskeminen lähelle haluttuja arvoja kesti kuitenkin useita viikkoja. Osaltaan höyrystimien kondensoimiskykyä olisi voitu parantaa testausjakson aikana nostamalla sisälämpötila jo varhaisemmassa vaiheessa 20 °C:n tuntumaan. Tällöin sisäilman kastepiste olisi noussut ja kosteutta olisi kyetty irrottamaan tehokkaammin käytetyllä höyrystyslämpötilalla. Yksi höyrystimien kondensoimiskykyyn vaikuttanut tekijä oli myös kuivaimen höyrystyslämpötilan pyrkimys nousta jatkuvasti joitakin asteita haluttua arvoa lämpimämmäksi. Luvussa 5 on esitettyä huomioita laitteen höyrystimen toimintakyvyn parantamiseksi.

4.3 Kuivaimen erottama vesimäärä mittausjaksolla

Kuivain kykeni irrottamaan kuivattavasta sisäilmasta kosteutta 511 litraa noin 45 vuorokauden aikana. Kuvassa 13 on esitettyä kuvaajana kuivaimen erottama vesimäärä litraa/tunti.

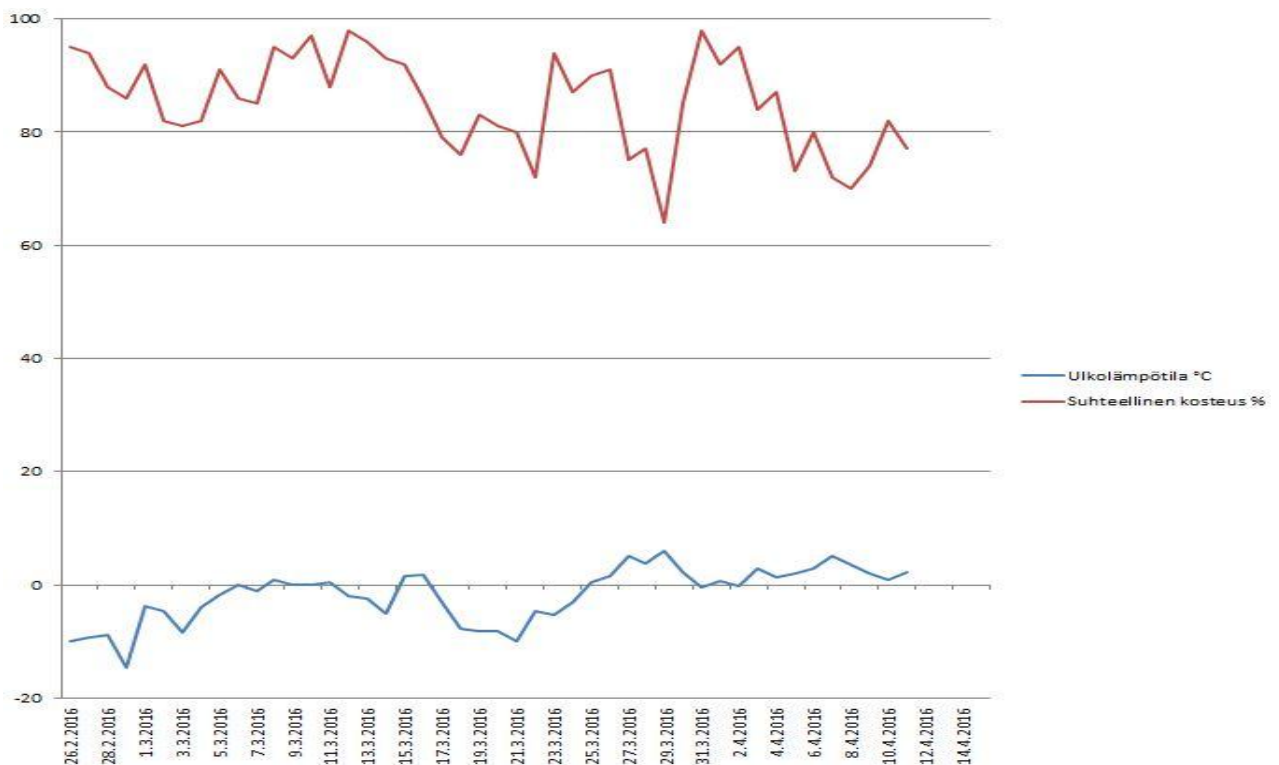


KUVA 13. Kuivaimen irrottama vesimäärä l/h

Kuten kuvasta 13 voidaan havaita, on kuivaimen kondensoimiskyky suurimmillaan kokeen alkupäivinä, jolloin sisäilman kosteuspitoisuudet ovat olleet suuria. Kuivain on kuitenkin kyennyt irrottamaan sisäilmasta kosteutta myös suhteellisen kosteuden ollessa 40–50 %. Tuloksista voidaan päätellä, että sisäilman lämpötilaa olisi tullut nostaa 20 °C:n tuntumaan jo suhteellisen varhain testijakson alussa, jotta kuivuminen olisi ollut tehokkainta. Kuivaimen kondensoimiskykyä olisi mahdollista parantaa myös kuivaimen höyrystyslämpötilaa laskemalla, mutta tällöin ongelmaksi voi muodostua höyrystimen jäätyminen matalammilla sisäilman lämpötiloilla.

4.4 Ulkoilman lämpötila ja kosteus mittausjaksolla

Ulkolämpötilat ja suhteellisen kosteuden prosentit on kirjattu ylös kultakin mittauspäivältä, mutta vain keskimääräisesti eli jokaista mittauspäivää kohti on vain yksi lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvo. Näistä arvoista voidaan tarkastella riittävällä tarkkuudella ulkoilman olosuhteiden muutosta pitkällä aikavälillä. Kuvassa 14 esitetty kuvaajana ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mittausajanjaksolla.

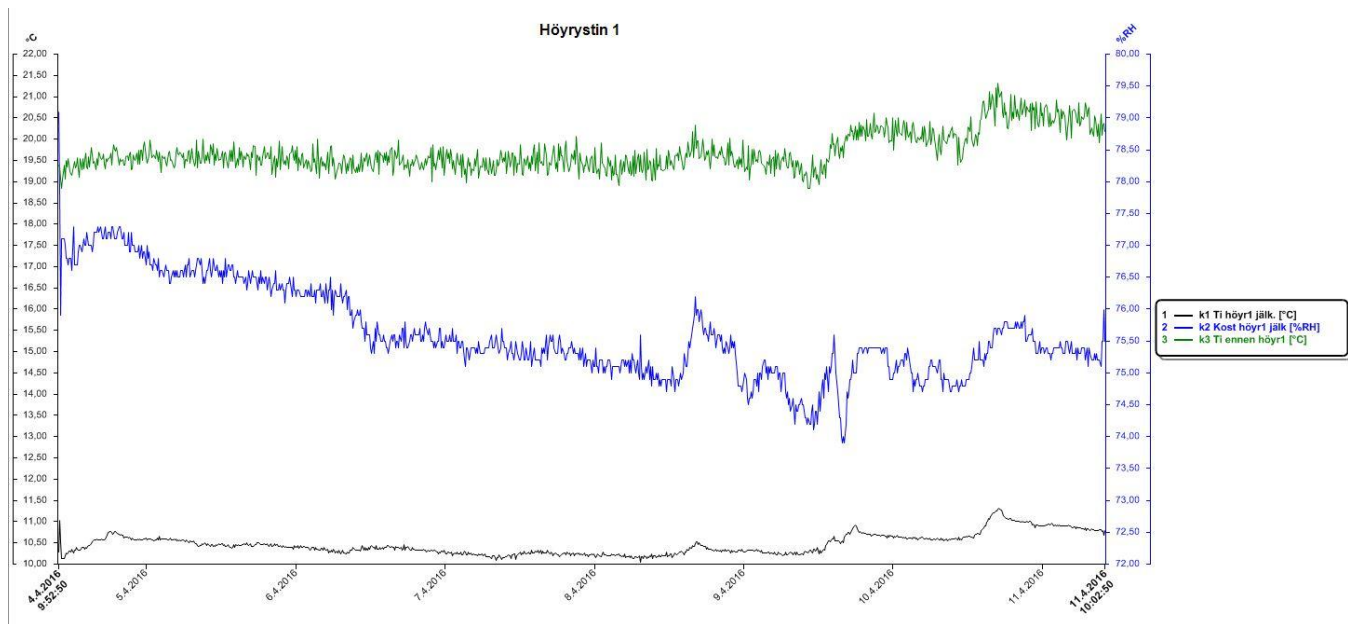


KUVA 14. Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

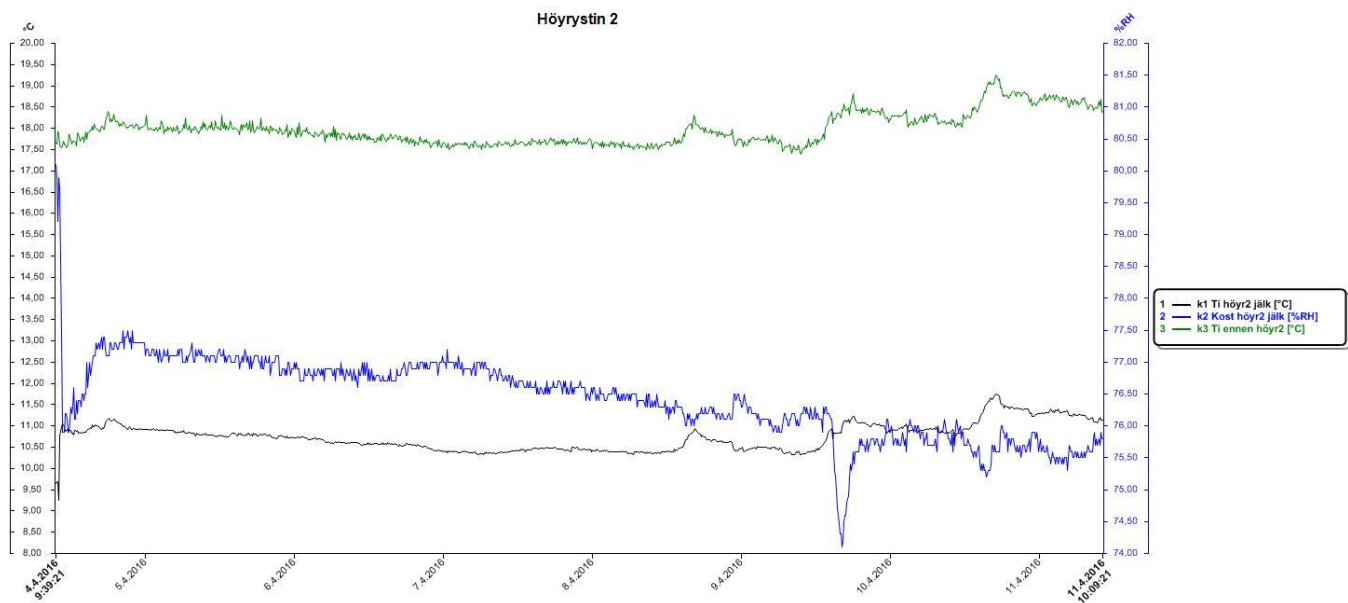
Ulkoilman lämpötilojen ja kosteuspitoisuuksien muutoksilla ei voida havaita suurta näkyvää yhteyttä rakennuksen sisäilmastollisiin olosuhteisiin.

4.5 Höyrystimien toiminta mittausjaksolla

Kuivaimen kummankin höyrystimen toimintaa seurattiin testausjakson aikana. Kuvissa 15 ja 16 on esitetty ilman lämpötilat ennen ja jälkeen höyrystimien sekä ilman suhteelliset kosteudet höyrystimien jälkeen.



KUVA 15. Höyrystimen 1 toiminta aikavälillä 4.4.–11.4.



KUVA 16. Höyrystimen 2 toiminta aikavälillä 4.4.–11.4.

Kuvaajassa sininen käyrä osoittaa ilman suhteellisen kosteuden höyrystimen jälkeen, musta käyrä ilman lämpötilan höyrystimen jälkeen ja vihreä käyrä ilman lämpötilan ennen höyrystintä. Vertaamalla höyrystimien 1 ja 2 lukemia toisiinsa voidaan nähdä höyrystimen 2 toimineen hieman huonommin. Lämpötila

ja ilmankosteus höyrystimen 2 jälkeen ovat jatkuvasti suurempia verrattuna höyrystimeen 1. Kahdella paisuntaventtiilillä ja höyrystimellä varustettu järjestelmä on hyvin hankala saada säädettyä niin, että kummankin höyrystimen toimint ominaisuudet olisivat täysin yhteneväiset.

4.6 Kuivaimen käyttämä ja tuottama energia

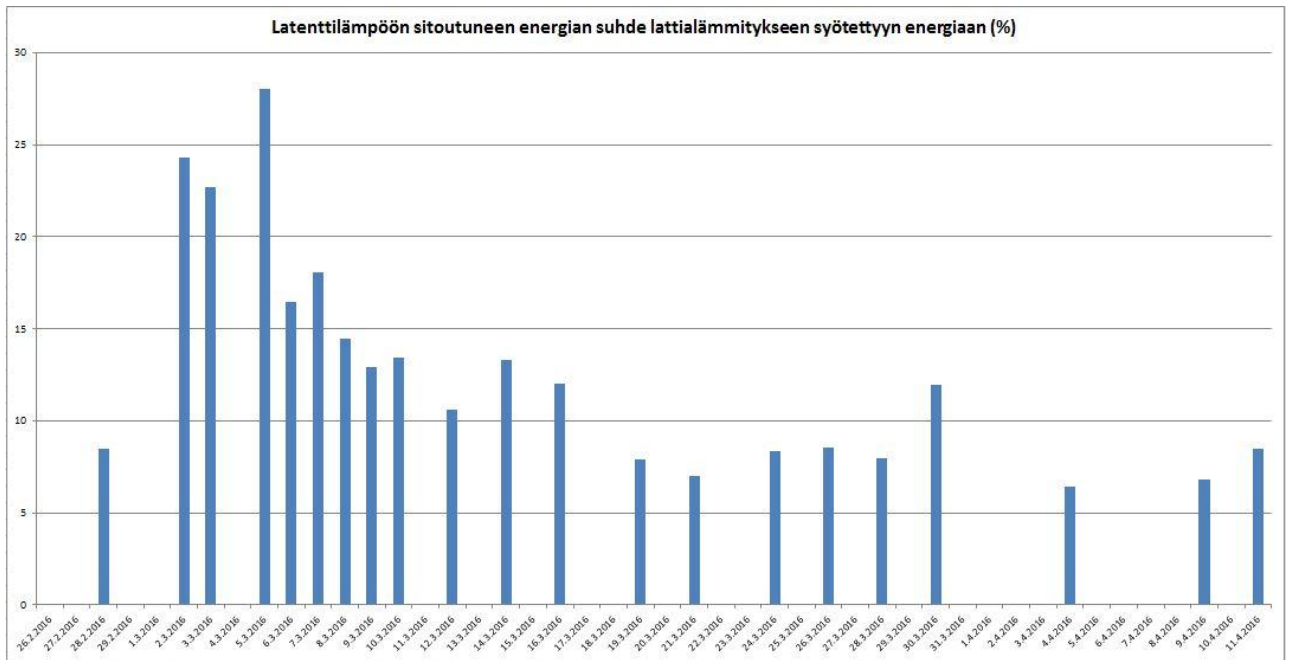
Laite käytti 45 päivän mittausjakson aikana 1218,2 kWh sähköenergiaa ja tuotti vastaavasti 3185 kWh lämpöenergiaa lattialämmitykseen. Kuivaimen kytketty sähkövastus oli käytössä kolmen ensimmäisen mittauspäivän ajan nostettaessa rakennuksen sisälämpötilaa halutulle alueelle. Tänä aikana sähkövastus käytti noin 35 kWh sähköenergiaa. Kaikki muu lattialämmitykseen syötetty lämpöenergia tuotettiin laitteen kylmäprosessissa. Kylmäprosessin tuottama lämpöteho oli noin 3 kW koko mittausjakson ajan.

Kun tarkastellaan laitteen käyttämän sähköenergian määrää ja kerrotaan se laskennallisella sähköenergian kokonaiskustannuksella 0,15 e/kWh, saadaan koko kuivausjakson sähköenergian kustannukseksi 182,73 euroa. Mikäli lattialämmitykseen syötetty lämpöenergiamäärä olisi kokonaisuudessaan tuotettu sähkövastuksella, olisivat kustannukset olleet 477,75 euroa.

Tulee myös huomioida, että mikäli lattiaa olisi lämmitetty vain sähkövastuksella, olisi kondenssikuivaimen verrattuna betonin kuivumisaika ja tarvittavan lämmitysenergian määrä kasvaneet huomattavasti. Tällöin lattiasta irtoava kosteus olisi jouduttu tuulettamaan ulos rakennuksesta ja tilalle tuleva korvausilma olisi ollut kylmää ulkoilmaa.

4.7 Kosteuteen sitoutuneen latenttilämmön määrä suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan

Kaikki lattialämpöön tuotettu energia ei tule suoraan lämpöenergiaksi kuivattavaan tilaan, sillä osa siitä sitoutuu latenttilämmöksi lattiasta höyrystyvään kosteuteen. Kuvassa 17 esitetystä kuvaajasta ilmenee latenttilämpöön sitoutuneen energian ja lattialämmitykseen syötetyn lämpöenergian suhde mittausjakson aikana.



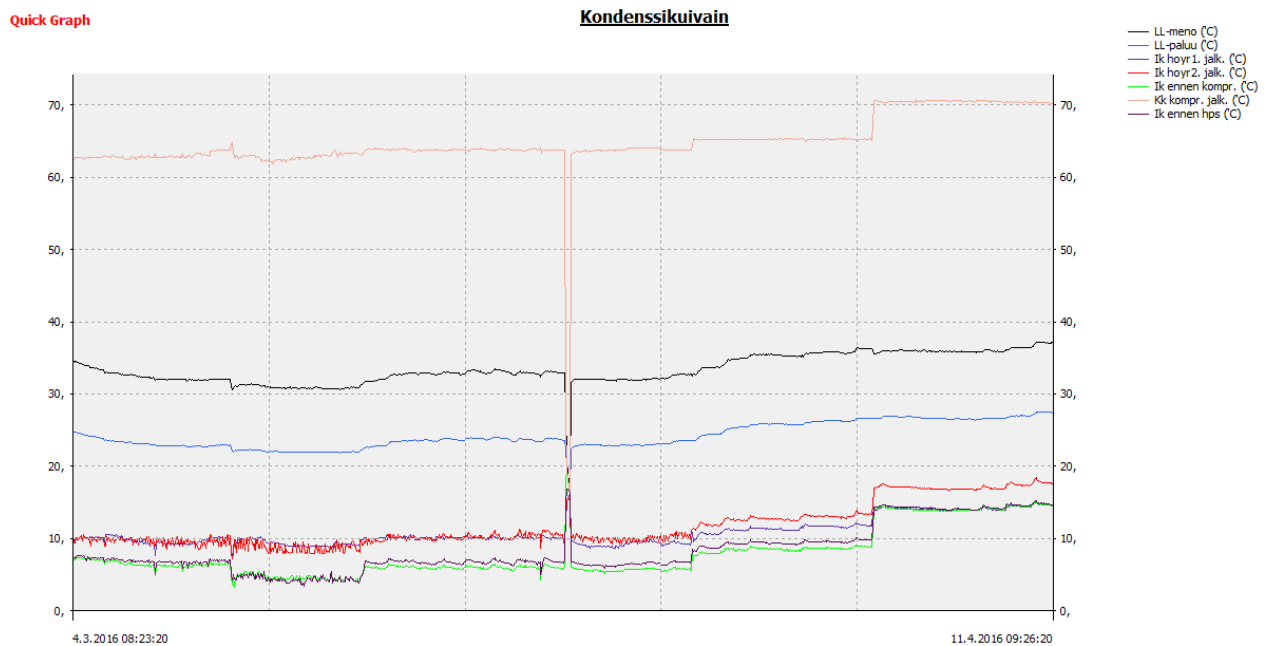
KUVA 17. Latenttilämpöön sitoutuneen energian suhde lattialämpöön syötettyyn energiaan prosentteina

Kuvaaja on luonnollisesti hyvin yhtenevä kondensoitun veden määrästä ker- tovan kuvan 13 kanssa, mutta kun tarkastellaan ilmakehän sitoutuneen energian suhdetta lattialämpöön syötettyyn energiaan, voidaan ymmärtää kuin- ka merkittävä osa energiasta lopulta sitoutuu ilmakehän. Tyypillisessä kuivaustilanteessa ilmakehän suhteellinen hidas lämpötilan nousu kuivaustilan- teen alkuvaiheessa, vaikka lämmitykseen käytetty teho oli tuolloin huomattavas- ti suurempi kuin testijakson myöhemmässä vaiheessa.

Veden faasimuutokseen kuluu energiaa 2260 kJ/kg(6.) Kuvan 17 tulokset on saatu laskemalla kondensoitu vesimäärä ja kertomalla tämä faasimuutoksen tarvitsemalla energialla. Veden tiheytenä on käytetty 1 kg/dm³. Lopuksi tulos on suhteutettu lattialämmitykseen syötettyyn lämpöenergiaan.

4.8 Kondenssikuivaimen toiminta mittausjaksolla

Prosessin toimintaa säädettiin ensimmäisten mittauspäivien aikana useasti, jotta haluttu toiminta-alue löytyi. Halutun toiminta-alueen löytyttyä koneen prosessin lämpötilat pysyivät suhteellisen tasaisena ja muutokset olivat hitaita. Kuvassa 18 on esitettyä kondenssikuivaimen prosessin lämpötilojen muutokset kymmenen päivän ajalta 4.3–11.4. Kuva 18 löytyy myös liitteestä 4 suurempana versiona, josta lämpötilojen lukeminen on selkeämpää.



KUVA 18. Kondenssikuivaimen prosessin lämpötilat 4.3-11.4

Kuvassa 18 näkyvät ”pykälät” prosessin lämpötiloissa johtuvat paisuntaventtiilien tulistuksen säädöstä. Paisuntaventtiilien tulistusta säädettiin, koska höyrystymislämpötilaa haluttiin pienentää paremman kondensoimiskyvyn aikaansaamiseksi. Haluttu höyrystymislämpötila olisi ollut -4 °C , mutta tarkastuskäyntien välillä höyrystymislämpötila nousi useasti 0 °C :n tuntumaan. Mikäli haluttu höyrystymislämpötila olisi saatu pidettyä koko testausjakson ajan, olisi kuivain todennäköisesti pystynyt poistamaan kuivattavan tilan sisäilman kosteutta tehokkaammin.

Höyrytimen 2 jälkeen asennetun pintalämpötilamittauksen tulos (punainen käyrä) ei ole todellinen kylmäkaasun lämpötila. Putkien asennustavan vuoksi kyseistä pintalämpötilamittausta ei voitu asentaa siten, että se olisi antanut tarkempaa mittaustulosta. Kuumakaasujohdon aiheuttama häiriö näkyy selkeästi suurempana kylmäkaasun lämpötilana kyseisessä mittauspisteessä. Kuitenkin kummankin höyrytimen jälkeinen suhteellisen tarkka mittaustulos saadaan ennen höyrytinpaineensäädintä asennetusta pintalämpötilamittauksesta.

Kuivaimen varsinaisessa käytönaikaisessa toiminnassa ei ilmennyt minkäänlaisia toimintahäiriöitä, mutta luvussa 4.2.2 on esitettyä havaitut puutteet ja jatkokehitystä vaativat asiat laitteen toiminnassa.

4.9 Kuivaimen toiminnassa havaitut ongelmat

Kuivaimen toiminnassa havaittiin seurantajaksolla seuraavat puutteet:

- lisälämmitysvastuksen säädön epätarkkuus
- lattialämmityspiirin pumpun käynnin ohjaus
- höyrystymislämpötilan nousu pitkällä aikavälillä
- paisuntaventtiilien säädön tarve kuivausjakson aikana
- laitteen fyysinen koko, kuljetusongelmat.

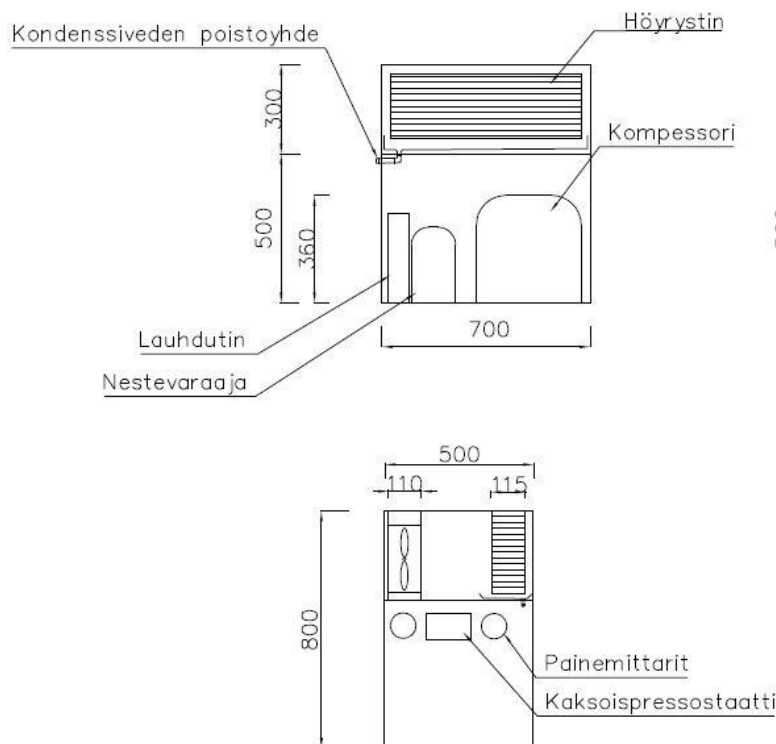
Luvusta 5 löytyvät ehdotukset laitteen vaatimien muutosten toteuttamisesta.

5 KUIVAIMEN JATKOKEHITYS

Tämän osion ajatuksena on ohjata laitteen mahdollista jatkokehitystä laitteen testauksessa tehtyjen havaintojen pohjalta. Osiossa on lueteltu laitteen fyysiseen kokonaisuuteen, käytönaikaiseen toimintaan ja joidenkin komponenttien ominaisuuksiin keskittyviä, suuntaa-antavia toimia laitteen toiminnan parantamiseksi.

5.1 Kuivaimen rakenne

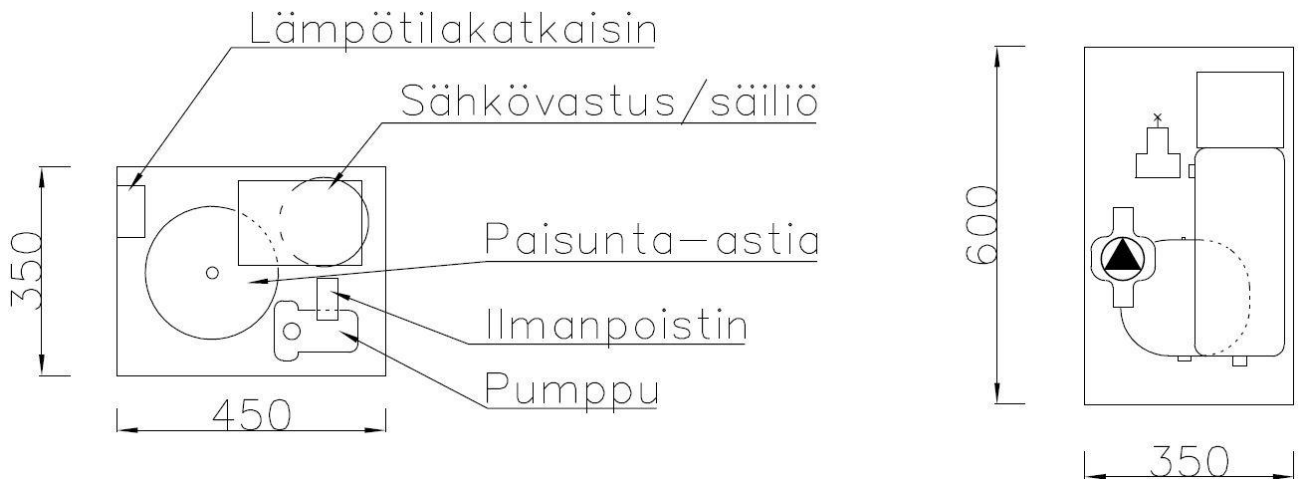
Kuljetusta, varastointia ja työmaa-aikaista käyttöä helpottava toteutustyyli olisi rakentaa kuivain kahdeksi eri yksiköksi. Ensimmäinen yksikkö koostuisi kuivaimen kylmälaiteosiesta, jossa kompressori, lauhdutin, höyrystin ja muut kylmäprosessin laitteet olisivat koottuna pienemmäksi kokonaisuudeksi oman runkorakennelmansa sisään. Kuvassa 19 hahmoteltuna kylmälaiteyksikkö. Liitteestä 5 löytyvät kaikki hahmotelmakuvat mittoineen.



KUVA 19. Hahmotelma kylmälaiteyksikön komponenttien sijoituksesta ja laitteen mitoista

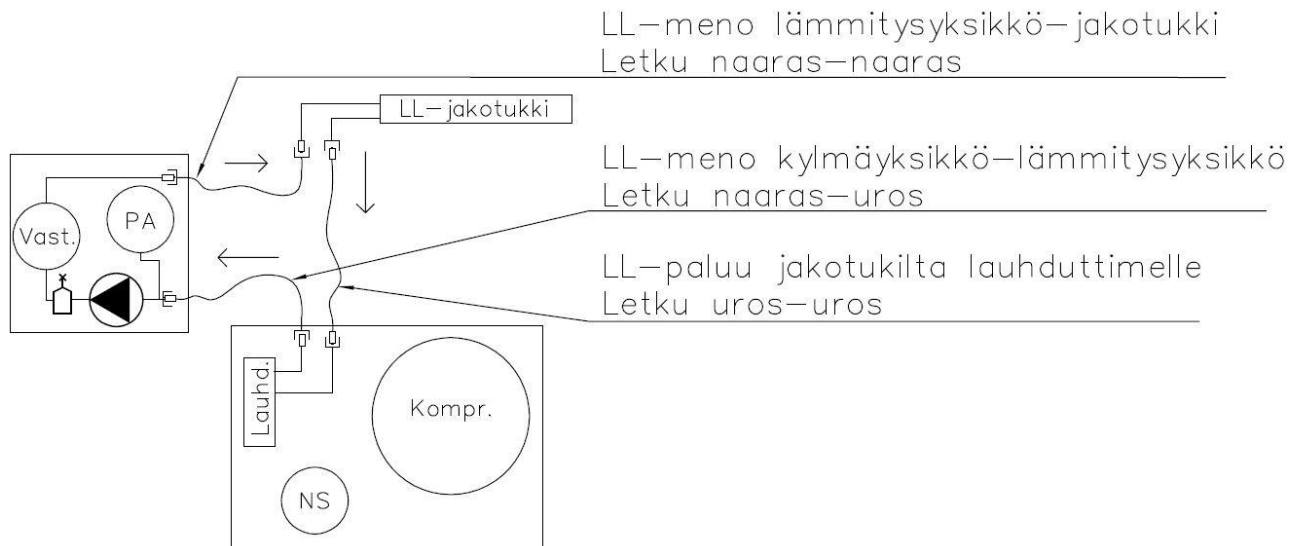
Pienempi pohjan pinta-ala helpottaa työmaa-aikaista liikkumista laitteen lähistölle, eikä laitteen siirtämiselle tule yhtä suurta tarvetta, kuin suuremman pinta-alan vaativalla koneikolla.

Toinen yksikkö sisältäisi kuvan 20 tavoin sijoiteltuna lämmityslaitteiston komponentit: pumpun, sähkövastuksen, ilmauksen, paisunta-astian ym. laitteet.



KUVA 20. Hahmotelma lämmityslaitteyksiköstä

Kun yksiköt on sijoitettu erilleen, tulee huolehtia siitä, että lämmityslaitteyksikkö on sijoitettu ylemmäksi kuin kylmlaitteiston lauhdutin, jolloin voidaan välttää ilmapussin syntyminen lauhduttimeen. Yksiköiden yhdistäminen toisiinsa voidaan toteuttaa joustavien hydraulikkaletkujen avulla. Hydraulikkaletkuissa käytettävien liittimien etuna on niiden rakenne, joka estää letkun sisällön vuotamisen liittimiä irroitettaessa. Joustavia letkuja ja nopeasti yhdistettäviä liittimiä käyttämällä laite on nopea asentaa työmaalle ja helppo käyttää. Kylmlaitteyksikön lauhduttimen ja lattialämmitysyksikön väliset hydraulikkaletkujen liittimet tulee asentaa niin, että lämmitysyksikölle menevää ja lämmitysyksiköltä palavaa putkea ei voi kytkeä ristiin, kuten kuvassa 21 on havainnollistettu.



KUVA 21. Kylmälaite- ja lämmityslaitteyksiköiden välinen kytkentä

Lisäksi letkut voidaan värikoodata kulutusta kestäväällä maalilla, jotta ne ovat nopeasti kytkettävissä. Letkujen värikoodauksen merkitys korostuu erityisesti useampia laitteita yhtäaikaisesti kuljettaessa, asennettaessa ja varastoitaessa.

5.2 Kuivaimen säätölaitteet

5.2.1 Laitteen toiminnan katkaisu yllämpötilanteessa

Prototyypivaiheessa lattialämmityspiirin menopuolelle asennettu pressostaatti katkaisee kuivaimen toiminnan, mikäli lämpötila nousee yli asetusarvon. Ominaisuus on tarpeellinen, jotta voidaan välttyä liialliselta lauhdutinpaineen nousulta ja lattian kuumenemiselta, mutta nykyisillä kytkennöillä pressostaatti pysäyttää myös lattialämmityspiirin pumpun, joka ei ole toiminnan kannalta tarpeen. Lauhduttimen lämpötila jäähtyy huomattavasti paremmin, mikäli pumppu jatkaa toimintaansa kuivaimen pysähtyttyä ja kuivain voi käynnistyä nopeammin uudelleen.

5.2.2 Pumpun toiminta

Prosessin ja laitteen käytön kannalta paras ratkaisu on muuttaa pumpun toiminta yksinkertaisen on/off-kytkimen taakse. Näin voidaan varmistua pumpun jatkuvasta toiminnasta.

5.2.3 Sähkövastuksen säätö

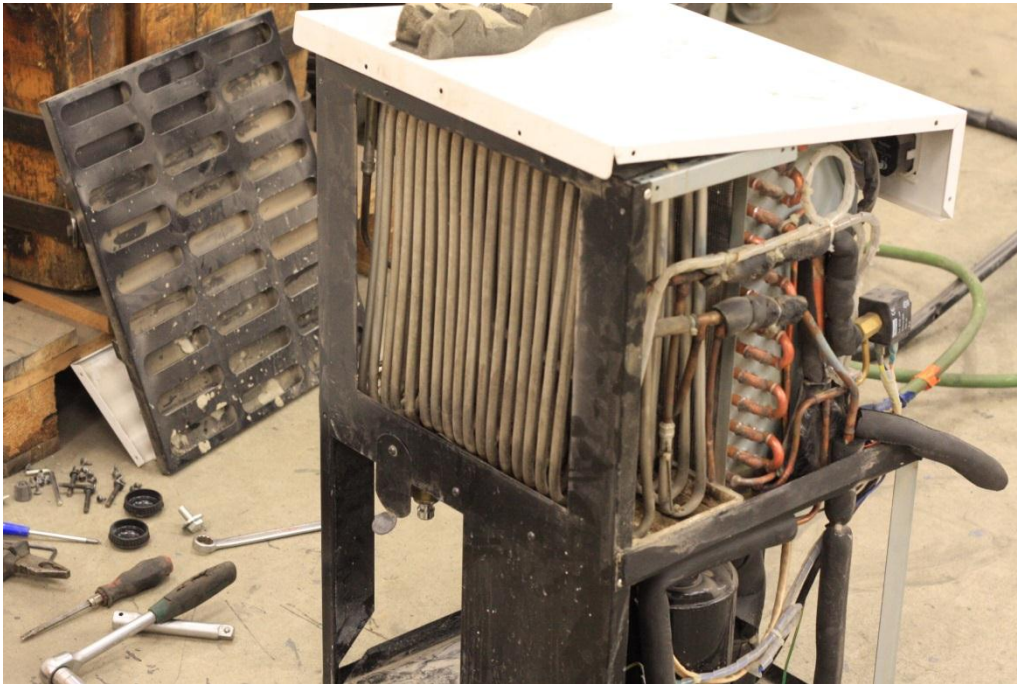
Lisälämmitysvastuksen säätö tulisi toteuttaa siten, että lämpötila voidaan työmaaolosuhteissa määritellä tarkasti haluttuun arvoon. Nykyisen kaltainen 1–10-asteikolla varustettu säädin on käytännössä mahdoton säätää halutulle toiminta-alueelle. Lämmitysvastuksen säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi termostaatilla, joka seuraa lattialämmitysverkoston menevän veden lämpötilaa ja toimii säädetyllä eroalueella.

5.3 Kuivaimen kylmäjärjestelmän komponentit

5.3.1 Höyrystin

Kuivaimen prototyypissä on kaksi lamellihöyrystintä. Työmaaolosuhteissa suurin höyrystimen toimintaan vaikuttava ulkoinen tekijä on altistuminen pölylle, jolloin höyrystimen lamellivälit tukkeutuvat herkästi. Kun päämääränä on kuivata sisäilmaa höyrystimen avulla, eivät lamellit ole prosessin kannalta välttämättömiä. Yhtenä vaihtoehtona voidaan tutkia höyrystimen valmistamista kupariputkesta, jolloin lamellien aiheuttama tukkeentumisvaara poistuisi.

Kuvassa 22 on putkesta valmistettu höyrystin tyypillisessä tehdasvalmisteisessa ilmalauhdutteisessa kondenssikuvaimessa.



KUVA 22. Ilmalauhdutteinen tehdasvalmisteinen kondenssikuvain

Kuten kuvasta 22 voi nähdä, tässä tehdasvalmisteisessa kuvaimessa ei höyrystimissä ole käytetty lamelleja. Höyrystimiä on kaksi kappaletta ja putket on asennettu pystysuuntaan. Näin voidaan varmistua, että kylmäainetta ei pääse nestemäisessä muodossa kompressorille asti missään tilanteessa.

Höyrystimen valmistaminen putkesta vaikuttaa parhaalta tavalta estää työmaolosuhteissa ilmenevän pölyn vaikutus kuvaimen toimintaan. Myös lamelli-höyrystimen käyttö on mahdollista, mutta kuivattava ilma tulee tällöin suodattaa.

5.3.2 Kuivattavan ilman suodatus

Ilman suodattamisen ongelmaksi voi muodostua kuivatusprosessin alussa sisäilmaan sitoutunut runsas kosteus, joka osaltaan lisää suodattimien kuormitusta. Ilmankosteus imeytyy suodattimiin ja kastelee suodattavan materiaalin, joten huoneilmassa leijuva pöly voi muodostaa hyvin nopeasti suodattimen pinnalle tiiviin kerroksen, joka estää ilman kulun suodattimen lävitse. Lisäksi kuvaimen

asennettu ilmansuodatus lisää höyrystintuhoaltimen tehontarvetta ja kasvattaa laitteen käyttämää sähköenergian määrää.

Jos kuivaimessa kuitenkin päätetään käyttää suodattimia ilman puhdistusta varten, voidaan ratkaisu toteuttaa esimerkiksi kahdella eri suodatintyyppillä, joista ensimmäiseksi virtaussuunnassa asetetaan karkeasuodatus, esimerkiksi luokan G4 suodatinmatto, ja virtaussuunnassa seuraavaksi hienosuodatin. Suodattimia käytettäessä tulee huomioida laitteen tihentyvä huollon tarve.

5.3.3 Höyrystinpaineensäädin

Kuivaimen prototyyppiin on asennettu höyrystinpaineensäädin, jolla voidaan muuttaa höyrystymispainetta ja -lämpötilaa. Testauksen aikana kuitenkin ilmeni, että höyrystinpaineensäädin oli laitteen tehoon nähden liian suuri, eikä kyennyt vakioimaan höyrystymispainetta.

5.3.4 Nestevaraaja

Prototyyppivaiheessa kuivaimen on asennettu ylimitoitettu nestevaraaja. Laitteen uudelleenmitoituksella voidaan säästää komponentin hankintahinnassa. Lisäksi nestevaraajan koon pienentyessä kylmäainetäytöksen määrä jää pienemmäksi.

5.4 Kuivaimen lattialämpöjärjestelmän komponentit

Kuivaimen lattialämpöjärjestelmän komponenttien sijoittelu on sinällään hyvä ja tiivis jo prototyyppivaiheessa. Joitakin komponentteja vaihtamalla tai muuttamalla lattialämpöyksiköstä saataisiin kuitenkin vielä toimivampi kokonaisuus.

5.4.1 Pumppu

Nykyisessä kokoonpanossa kuivaimessa on käytetty vakiokierrosnopeuksista kiertovesipumppua, joka on varustettu kolmella nopeusvaihtoehdolla. On kuitenkin mahdollista, että joissakin käyttökohteissa lattialämmityspiirin virtaaman paremmalla säädöllä saavutetaan parempi käytettävyys. Vakiokierrosnopeuksinen pumppu voidaan korvata taajuusmuuttajasäätöisellä kiertovesipumpulla, jonka toiminta-alue on helppo säätää halutuksi kuhunkin kohteeseen. Lisäksi

taajuusmuuttajasäätöisissä pumpuissa on muitakin ominaisuuksia, joilla voidaan lisätä laitteen käyttövarmuutta ja toimintakykyä.

Eräänä vaihtoehtona nykyisen kiertovesipumpun korvaajaksi voidaan tarkastella esimerkiksi Grundfos Alpha 2 25-80 130 -mallin pumppua, joka on maksimivirtaamaltaan yhtenevä nykyisen kiertovesipumpun kanssa. Uudella pumpulla saavutettaisiin mm. seuraavat edut:

- verkoston virtaaman helppo työmaa-aikainen säädettävyys
- kuivakäynnin esto
- pumpun käyttämän sähkötehon seuranta
- helppo vaihdettavuus.

Taajuusmuuttajasäätöinen kiertovesipumppu on hankintakustannuksiltaan jonkin verran kalliimpi verrattuna vakiokierrosnopeuksiseen laitteeseen, mutta hintaero on kuitenkin suhteellisen pieni, kun otetaan huomioon laitteen paremmat tekniset toimintaedellytykset.

5.4.2 Paisunta-astia

Nykyisellään lämmitysjärjestelmässä on ylimitoitettu kalvopaisunta-astia. Astian uudelleenmitoituksella voidaan laskea laitteen valmistuskustannuksia ja pienentää lämmitysyksikön fyysistä kokoa.

Suurimmaksi todennäköisimmäksi lattialämmitysverkoston veden määräksi voidaan olettaa noin 200 litraa. Lattialämmitysverkoston tilavuutta voidaan arvioida kaavalla 1.

$$X A(\pi r^2) = V_{verkosto}$$

KAAVA 1

X = putken menekki neliötä kohti (m/m^2)

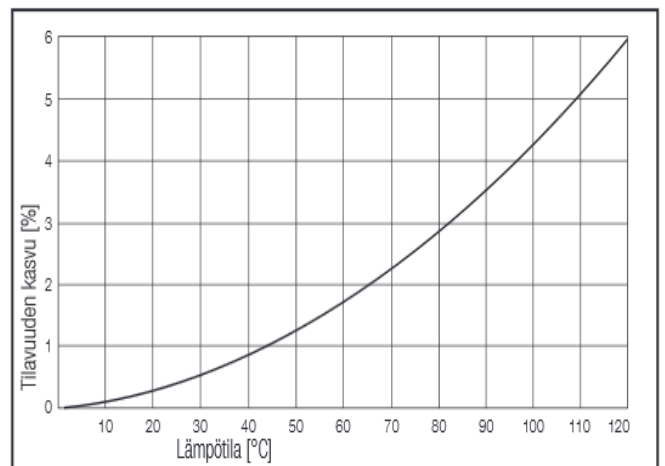
A = lattian pinta-ala (m^2)

r = putken sisähalkaisijan säde (m)

$V_{verkosto}$ = verkoston tilavuus (m^3)

Suurin veden lämpötilavaihtelu lattialämmitysverkostossa asettuu käytännössä 10 ja 40 °C:n välille. 10 °C on arvioitu kylmin verkostoon täyttöhetkellä syötettävän veden lämpötila ja 40 °C korkein menoveden lämpötila. Tällöin lämpötilaeroksi muodostuu 30 °C. Nesteen tarvitsema paisumistilavuus saadaan laskettua veden tilavuuden muutoksesta. Veden tilavuuden muutos saadaan esimerkiksi Flamco Oy:n laatimasta kuvaajasta kuvassa 23.

Lämpötilan nousu [°C]	Tilavuuden kasvu [%]
10 - 25	0,35
10 - 30	0,43
10 - 35	0,63
10 - 40	0,75
10 - 45	0,96
10 - 50	1,18
10 - 55	1,42
10 - 60	1,68
10 - 70	2,25
10 - 80	2,89
10 - 90	3,58
10 - 100	4,34
10 - 110	5,16



KUVA 23 (7.) Veden tilavuuden muutos lämpötilan kasvaessa

Verkoston tilavuuden ollessa 200 dm³ veden paisuntatilavuudeksi tulisi 1,575 dm³ käytettäessä veden tilavuuden muutoksena 0,43 %:a.

Paisunta-astian esipaine määritetään kaavalla 2 (7).

$$P_{ep} = (H_V + \frac{1}{2} H_P + 1)/10$$

KAAVA 2

P_{ep} = Paisunta-astian esipaine (bar)

H_V = verkoston korkeus (mvp)

H_P = Pumpun nostokorkeus (mvp). Täytyy huomioida, koska paisunta-astia on pumpun painepuolella.

Paisunta-astian täyttöpaine lasketaan kaavalla 3 (7).

$$P_{tp} = \frac{P_{ep}}{1 - \frac{T\%}{100}} \quad \text{KAAVA 3}$$

P_{tp} = Paisunta-astian täyttöpaine (bar)

P_{ep} = Paisunta-astian esipaine

$T\%$ = Täyttöpaineella säiliöön jäävän veden osuus %:na

Paisunta-astian nimellistilavuus saadaan kaavalla 4 (7).

$$V_N = \frac{P_{lp} * \Delta V}{P_{lp} * \left(1 - \frac{T\%}{100}\right) - P_{ep}} \quad \text{KAAVA 4}$$

V_N = Paisunta-astian nimellistilavuus

P_{lp} = Verkoston loppupaine (bar)

ΔV = Verkoston nesteen lämpölaajenemistilavuus (dm³)

$T\%$ = Täyttöpaineella säiliöön jäävän veden osuus %:na

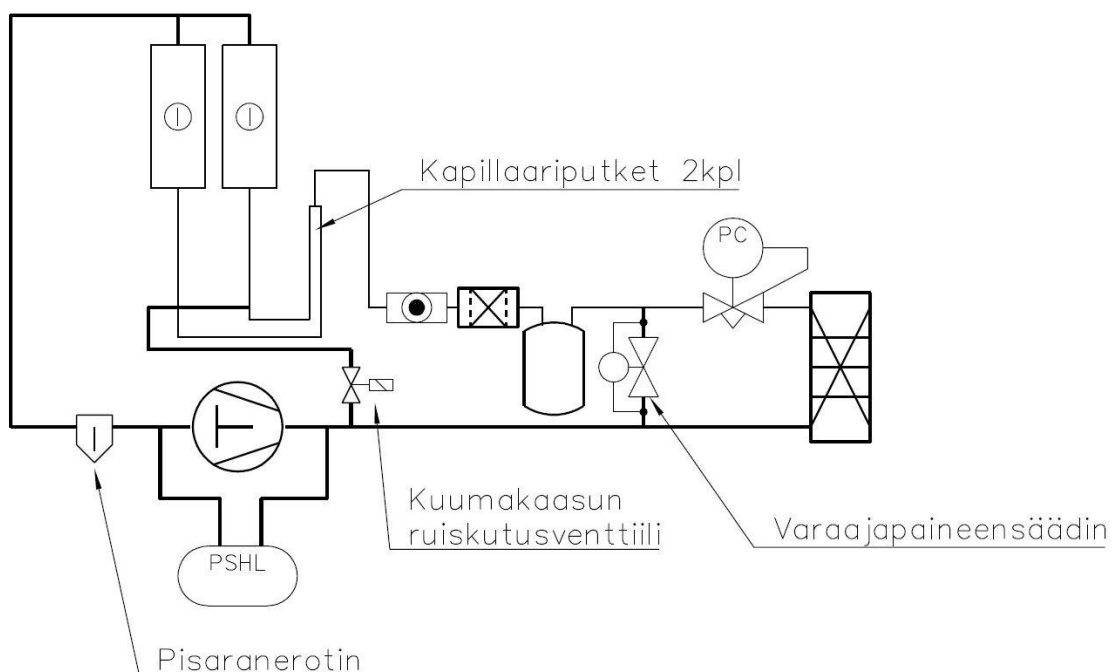
P_{ep} = Paisunta-astian esipaine

Käyttämällä oletettuna verkoston kokona 200 dm³:ä, lämpötilaerona 30 °C:a, paisunta-astian täyttöprosenttina 20%:a, loppupaineena 2,3 bar:a, verkoston korkeutena 1 m:ä ja pumpun nostokorkeutena 4,5 m:ä saadaan paisunta-astian nimellistilavuudeksi 2,5 dm³. Kyseisillä arvoilla paisunta-astian esipaineeksi muodostuu 0,5 bar ja verkoston täyttöpaineeksi 0,9 bar. Korvaavan paisunta-astian tilavuutena voidaan käyttää esimerkiksi 4 dm³:ä, jolloin paisunta-tilavuuteen saadaan varmuuskerrointa.

Neljälitrainen paisunta-astia pienentää huomattavasti lämmitysyksikön tarvitsemaa tilaa ja parantaa näin ollen laitteen käytettävyyttä. Pienempi paisunta-astia on myös hankintakustannuksiltaan edullisempi.

5.5 Jäätävällä höyrystimellä varustettu kuivain

Mikäli laitteen kondensoimiskykyä halutaan parantaa ja kuivattavan huoneilman kosteuspitoisuutta pienentää tehokkaammin, voidaan tarkastella mahdollisuutta valmistaa jäätävillä höyrystimillä toteutettavaa kondenssikuvainta. Jäätävällä höyrystimellä varustetun kondenssikuvaimen peruseräteenä toimii siis höyrystin, jonka höyrystymislämpö on niin matala, että ilmankosteus jäätyy suoraan höyrystimen pinnalle. Kun jäätä on kertynyt tarpeeksi höyrystimen pinnalle, aloitetaan sulatustoiminto, jossa kuumakaasua johdetaan suoraan höyrystimen läpi. Tällöin höyrystimen pinnalle muodostunut jää sulaa vedeksi ja valuu höyrystimen alle asennetun kaukalon kautta, joko viemärintipisteeseen tai suljettuun astiaan. Tässä luvussa on pyritty lyhyesti esittämään kyseisen kaltaisen laitteen pääperiaatteita ja niiden toteutusta. Kuvassa 24 on esitettyä hahmotelma jäätävällä höyrystimellä varustetun kuivaimen kytkentäkuvasta.



KUVA 24. Hahmotelma jäätävillä höyrystimillä varustetun kuivaimen kytkentäkuvasta

Alla on luetteloituna kuvan 24 mukaisen kuivaimen toimintaperiaate:

- Kuumakaasu johdetaan kompressorilta lauhduttimena toimivalle lämmönsiirtimelle, jonka toisiopuolella virtaa lattialämmityspiirin neste.
- Kuumakaasulinjan ja lauhdelinjan välille asennetaan varaajapaineensäädin.
- Lauhdelinjaan on asennettuna lauhdutinpaineensäädin ja nestesäiliö.
- Nestelinjaan on asennettuna suodatinkuivain ja nestelasi.
- Laitteen paisunta toteutetaan kahdella kapillaariputkella.
- Kuivain varustetaan kahdella putkesta valmistetulla höyrystimellä.
- Kylmäkaasulinjaan asennetaan pisaranerotin, jotta voidaan välttyä nesteiskulta.
- Kompressorin molemmin puolin asennetut painekytkimet estävät liiallisen ali- tai ylipaineen syntymisen.
- Kompressorin jälkeen kuumakaasulinja yhdistetään höyrystimille menevään linjaan kuvan mukaisesti ja tämän sulatuslinjan välille asennetaan kuumakaasun ruiskutusventtiili, jolla höyrystimien sulatus toteutetaan.

Paisunta voidaan toteuttaa kapillaariputkin, koska jäätyvää höyrystintä käytettäessä tulistuksen säätö ei ole tarpeellista. Ainoiksi prosessia säätäviksi laitteiksi muodostuvat tällöin sulatusta ohjaava kuumakaasun ruiskutusventtiili ja lauhdutinpaineensäädin.

Matalamman höyrystymislämpötilan takia jäätyvällä höyrystimellä varustetun kondenssikuivaimen hyötysuhde jää vähäisemmäksi ja näin ollen laitteen käyttämä sähkötehon määrä kasvaa suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan. Toisaalta oikein suunniteltuna kyseisen kaltainen laite voidaan toteuttaa suhteellisen pienin valmistuskustannuksin.

Automaattisella sulatuksella ja kapillaaripaisunnalla varustettu kuivain ratkaisisi testauksessa ilmenneen, paisuntaventtiilien jatkuvasta säätötarpeesta aiheutuneen ongelman. Prosessin lämpötilat tulisivat edelleen vaihtelemaan jonkin verran olosuhteiden vaikutuksesta, mutta matalampi höyrystymislämpötila ja automaattinen sulatus huolehtisivat kuivaimen kondensoimiskyvyn riittävydestä tehokkaasti.

6 YHTEENVETO

Yhteenvetona voitaneen todeta, että lattialämpöön lauhduttava kondenssi-kuivain on toimiva laite, josta edelleen kehittämällä voidaan saada huomattava apu lattialämpöputkistolla varustettuihin kohteisiin, joissa valetun betonilattian kuivumista halutaan tehostaa. Energiatehokkuutensa ja toimintatapansa ansiosta kyseisen tyyppinen kuivain on ehdottomasti paras ratkaisu toteuttaa valetun betonilattian kuivatus olosuhteiden sen salliessa.

Työn tavoitteena oli testata laitteen toimintaa käytännön olosuhteissa ja tuoda esille jatkokehitystä tai muutosta vaativia kohtia laitteen toiminnassa. Saadut mittaustulokset osoittivat laitteen toimivuuden sekä laitteen toimintaan liittyvät ja kehitystä vaativat asiat. Saatujen tulosten pohjalta on tehty havaintoja ja valmistettu laitteen jatkokehityksen kannalta tärkeimpien osa-alueiden kehittämistä. Työn tavoitteiden voidaan katsoa täyttyneen.

LÄHTEET

1. Merikallio, Tarja. Betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjeisto.
Saatavissa: <http://www.ouka.fi/documents/486338/dd8be92a-b157-4416-9c56-2a761d6b9c65>. Hakupäivä 30.1.2016.
2. Mollier diagram.
Saatavissa: http://mollierdigram.com/Mollier_diagram_pro_software.php.
Hakupäivä 3.12.2015
3. Seppänen, Olli 2008, Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver oy. S. 189–191.
4. Juutinen, Kauko - Karila Jukka - Laamanen, Pekka - Lukkarinen, Viljo - Leinonen, Anja - Saarimaa, Juho 1999. Kosteus rakennuksissa. Rakennustietosäätiö.
Saatavissa: [https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/RT_7876.html.stx](https://www-rakennustieto.fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/RT_7876.html.stx).
Hakupäivä 9.4.2016.
5. Ulkoseinät ja liittymät. Lammi-kivitalot.
Saatavissa:
http://www.lamminbetoni.fi/documents/10228/20030/02_LL400+ULKOSEIN%C3%84T.pdf/c5bb2d23-3296-433e-b304-a304522a7d3b.
Hakupäivä 18.3.2016.
6. Mäkelä, Mikko - Soininen, Lauri - Tuomola, Seppo - Öistämö Juhani. Tekniikan kaavasto. 2012. 10 painos. Tammertekniikka. S, 178.
7. Paisunta-astian mitoitus. Flamco Oy.
Saatavissa:
https://www.flamcogroup.com/files/datasheets/doc_fin_h1_2014.pdf
Hakupäivä 13.12.2015.

8. Niskala, Mikko 2015. T680910 Lämmityslaitteiston suunnitteluprojekti 10 op. Opintojakson materiaali kevät 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö. Paisunta-astian mitoitus.

LIITTEET

LIITE 1 Lähtötietomuistio

LIITE 2/1 Betonin kuivumisen käyrät

LIITE 2/2 Betonin kuivumisen käyrät

LIITE 2/3 Betonin kuivumisen mittauslomake

LIITE 3/1 Sisäilman kuvaajat

LIITE 3/2 Sisäilman kuvaajat

LIITE 3/3 Sisäilman kuvaajat

LIITE 3/4 Sisäilman kuvaajat

LIITE 4 Kuivaimen prosessin kuvaaja

LIITE 5/1 Hahmotelmakuvat uusista laitekokonaisuuksista

LIITE 5/2 Hahmotelmakuvat uusista laitekokonaisuuksista

LIITE 5/3 Hahmotelmakuvat uusista laitekokonaisuuksista

LIITE 5/4 Hahmotelmakuvat uusista laitekokonaisuuksista

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Ville Ruotsalainen, t2ruvi00@students.oamk.fi

Tilaaaja OAMK
Mikko Niskala

Työn nimi Lattialämmitykseen lauhduttavan rakennuskuivaimen testaus ja tuotekehittely

Työn kuvaus OAMK:n LVI-laboratoriossa on opinnäytetyön yhteydessä rakennettu järjestelmä ilman kuivaukseen.

Tässä työssä kytketään kuivain olemassa olevaan lattialämmitysjärjestelmään. Valetaan koelaatta, joka kuivataan. Mitataan betonin kosteutta ja ilman kosteussisältöä jatkuvana mittauksena, jotta saadaan kuivumiskäyrä.

Rakennusaikaisen pölyn poistamista ennen höyrystintä kehitellään.

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää, rakennuskuivaimen kuivausteho sekä toimivuus pölyissä rakentamisoloissa.

Tavoiteaikataulu

Työn lähtötietojen keräys, perehtyminen työn aiheeseen sekä selvitys kuivainjärjestelmän muutostarpeista lokakuun 2015 loppuun mennessä

Koejärjestelmän suunnittelu ja mittausuunnitelma marraskuun 2015 loppuun mennessä

Koejärjestely joulukuun 2015 loppuun mennessä

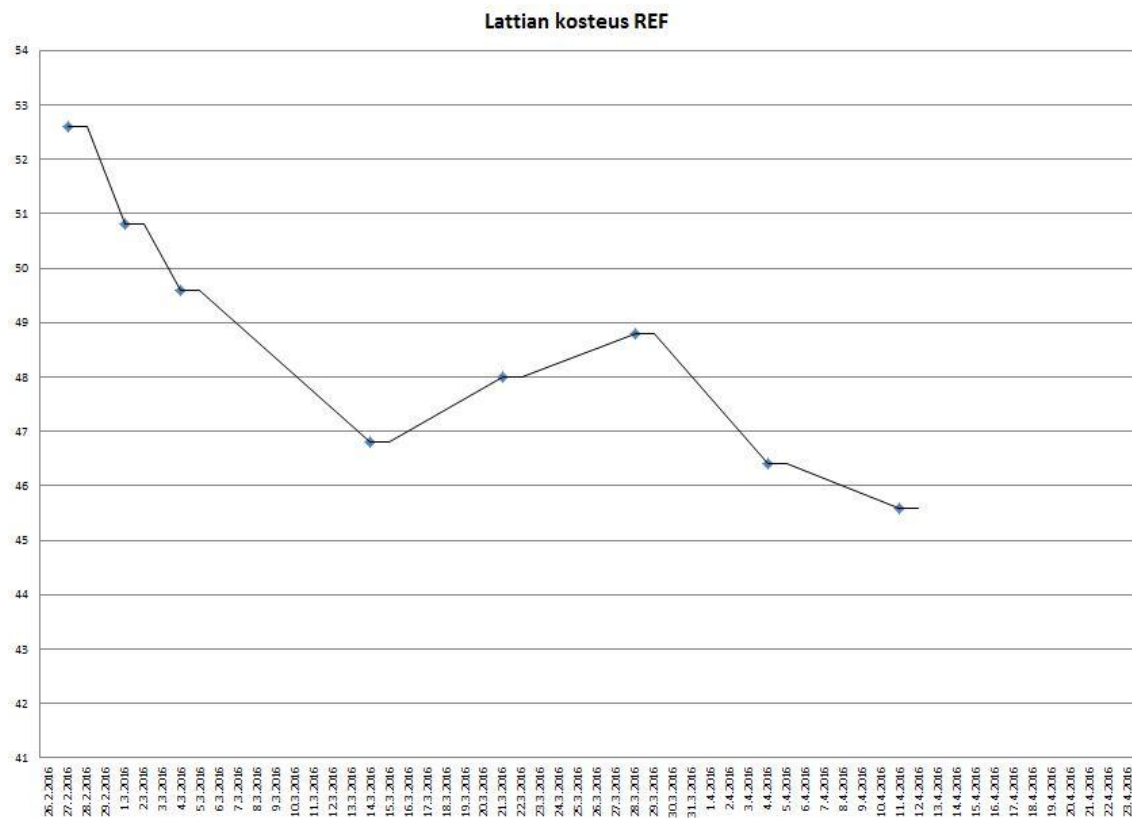
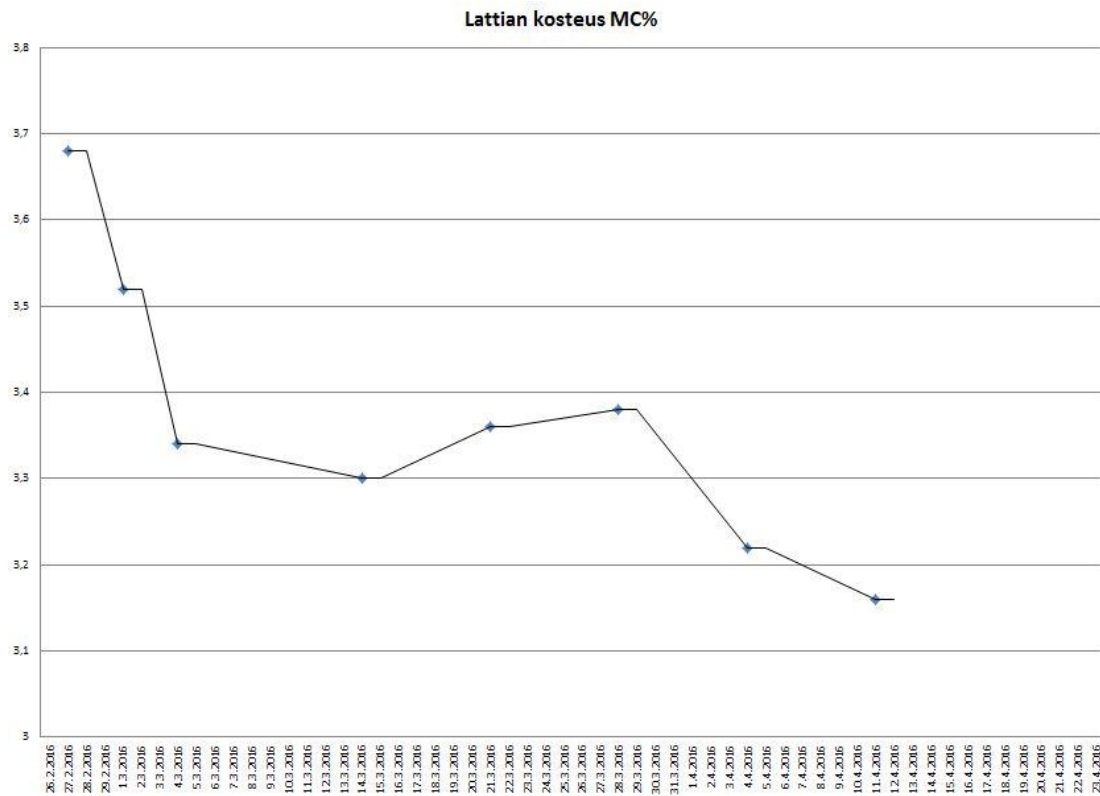
Koejärjestelmän muutokset joulukuun 2015 loppuun mennessä

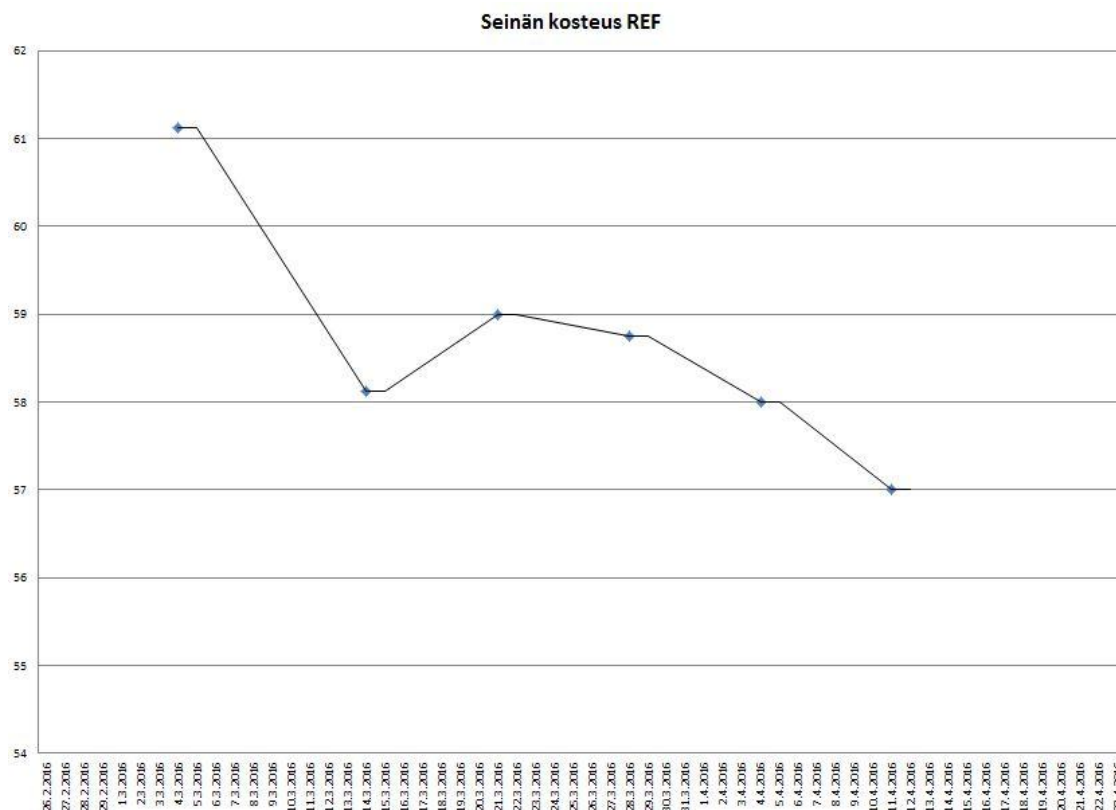
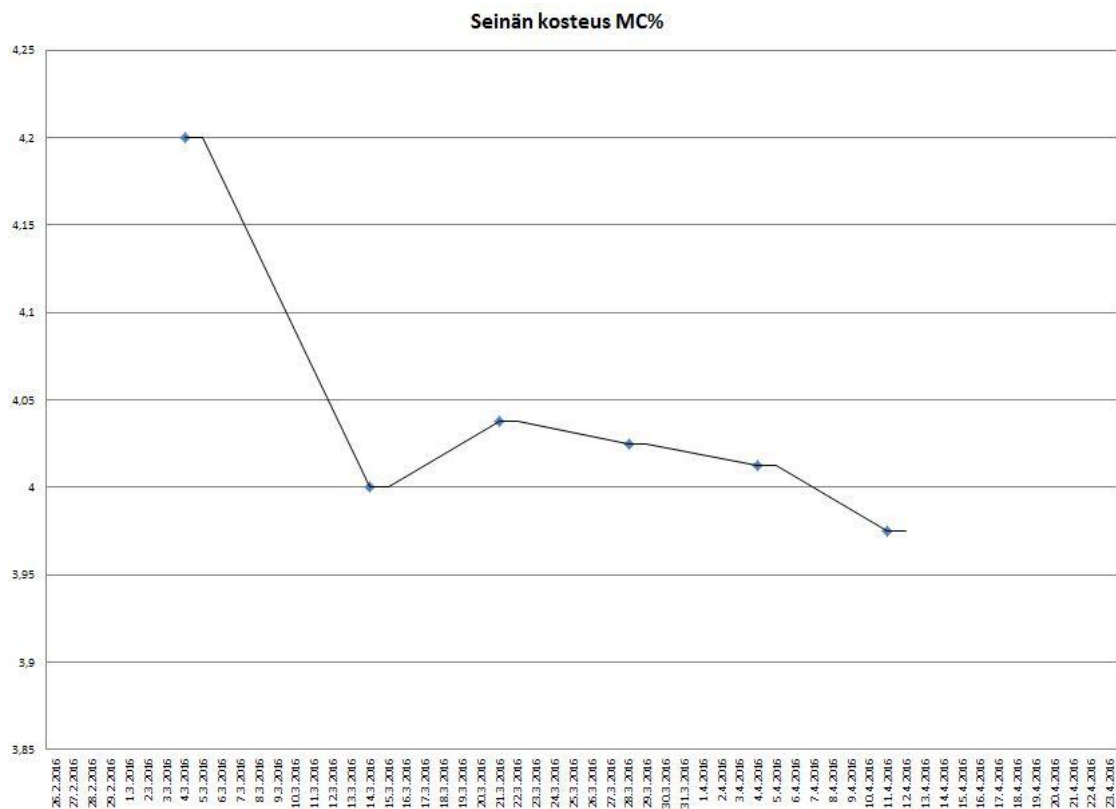
Mittaukset helmikuun 2016 loppuun mennessä

Loppuraportti valmis maaliskuun 2016 loppuun mennessä

Mikko Niskala

Ville Ruotsalainen





Betonin kosteuden muutos

Mittalaitte: Tramex CMExpert II

Astettkko MC% = 0..6,9%

Astettkko REF = 0..99

Lattia

Mittauspiste 1

Päivä	Klo	MC%	REF
27.helm.	10:30	3,5	53
1.maalis	10:40	3,5	52
4.maalis	6:50	3,3	50
14.3.2016	9:00	3,4	48
21.maalis	8:00	3,5	50
28.maalis	9:00	3,4	50
4.huhti	9:00	3,4	50
11.huhti	9:30	3,4	48

Mittauspiste 2

MC%	REF	MC%	REF
3,9	53	3,9	53
3,6	50	3,6	50
3,4	51	3,4	51
3,4	48	3,4	48
3,5	51	3,5	51
3,5	51	3,5	51
3,4	50	3,4	50
3,4	48	3,3	48
3,4	48	3,2	47

Mittauspiste 3

MC%	REF	MC%	REF
4	57	4	57
3,6	52	3,6	52
3,4	51	3,4	51
3,4	48	3,4	48
3,4	49	3,4	49
3,4	49	3,4	49
3,2	48	3,2	48
3,2	48	3,2	48
3,2	47	3,2	47

Mittauspiste 4

MC%	REF	MC%	REF
3,5	50	3,5	50
3,5	51	3,5	51
3,3	48	3,3	48
3,2	45	3,2	45
3,2	46	3,2	46
3,3	47	3,3	47
3,1	43	3,1	43
3	43	3	43

Mittauspiste 5

MC%	REF	MC%	REF
3,5	50	3,5	50
3,4	49	3,4	49
3,3	48	3,3	48
3,1	45	3,1	45
3,2	44	3,2	44
3,3	47	3,3	47
3,1	43	3,1	43
3	43	3	43

Keskisarot

MC%	REF	MC%	REF
3,68	52,6	3,68	52,6
3,52	50,8	3,52	50,8
3,34	49,6	3,34	49,6
3,3	46,8	3,3	46,8
3,36	48	3,36	48
3,38	48,8	3,38	48,8
3,22	46,4	3,22	46,4
3,16	45,6	3,16	45,6

Seinä A

1		2	
MC%	REF	MC%	REF
4,3	60	4,2	62
3,9	56	4	57
4	56	4,1	60
4	57	4	59
4	57	4	59
4	56	4	58

Seinä B

1		2		3	
MC%	REF	MC%	REF	MC%	REF
4,2	61	4,1	60	4,3	62
4,1	59	3,9	58	3,9	58
4,1	59	4	59	4	59
4	58	4	59	4,1	59
4	57	4	58	4	58
3,9	56	4	57	3,9	57

Seinä C

1		2	
MC%	REF	MC%	REF
4,1	60	4,2	62
4,1	59	4	59
4,1	61	3,9	59
4	59	4,1	60
4,1	59	4	58
4	57	4	58

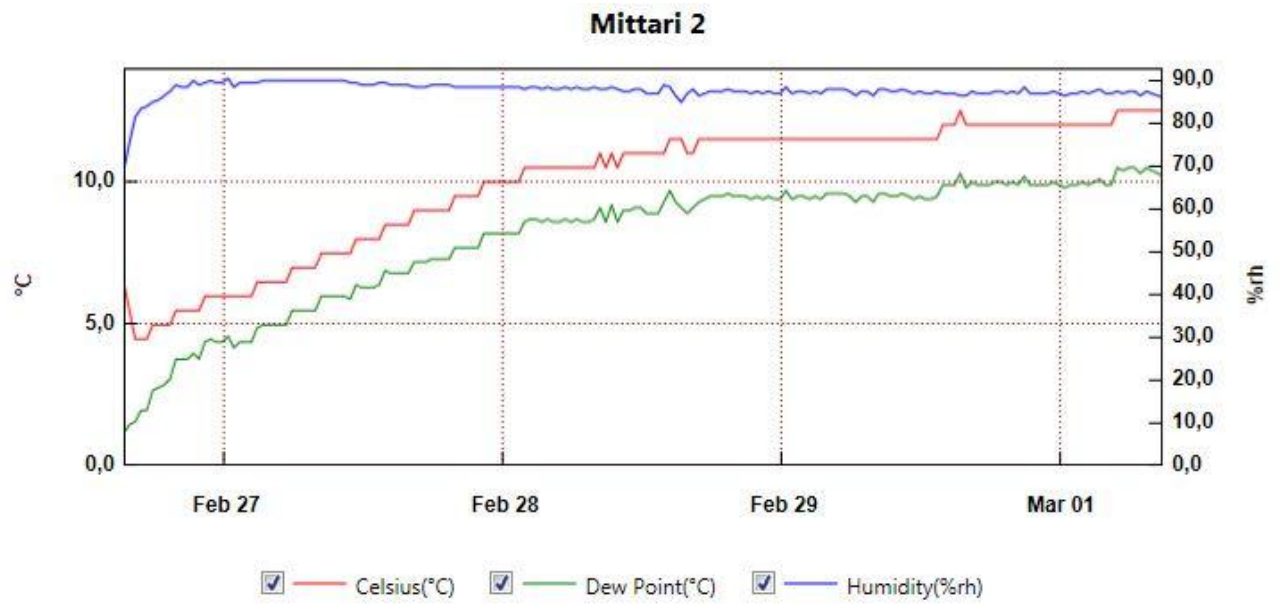
Seinä D

1	
MC%	REF
4,2	62
4,1	59
4,1	59
4	59
4	58
4	57

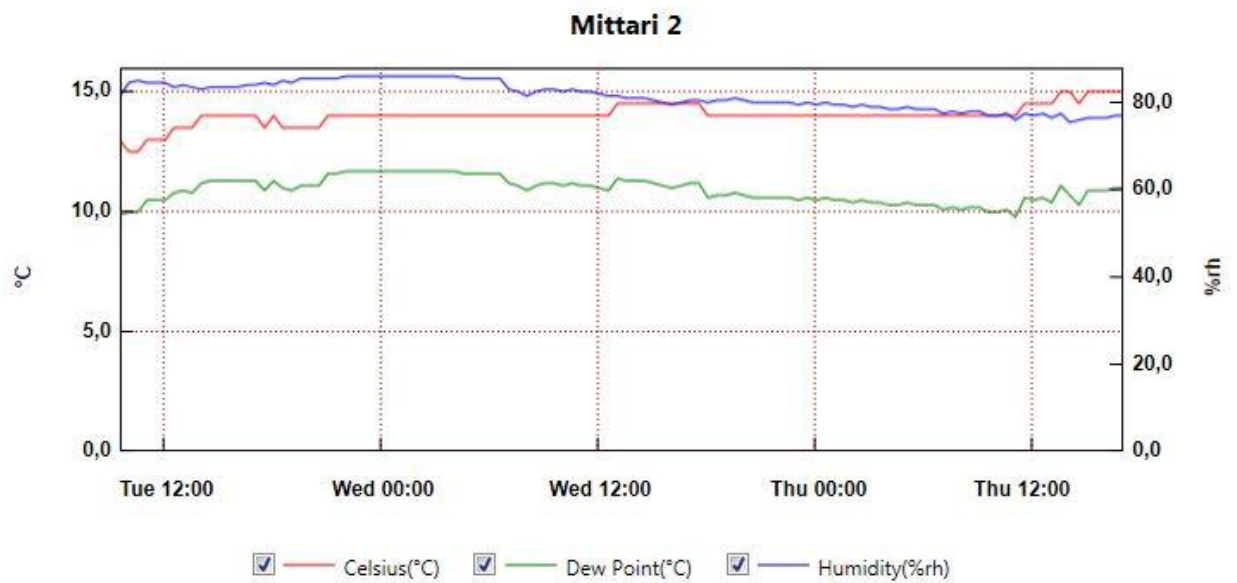
Keskisarot

MC%	REF
4,2	61,1
4	58,1
4,0375	59,0
4,025	58,8
4,0125	58
3,975	57

Päivä	Klo
4.maalis	6:50
14.maalis	9:00
21.maalis	8:00
28.maalis	9:00
4.huhti	9:00
11.huhti	9:30

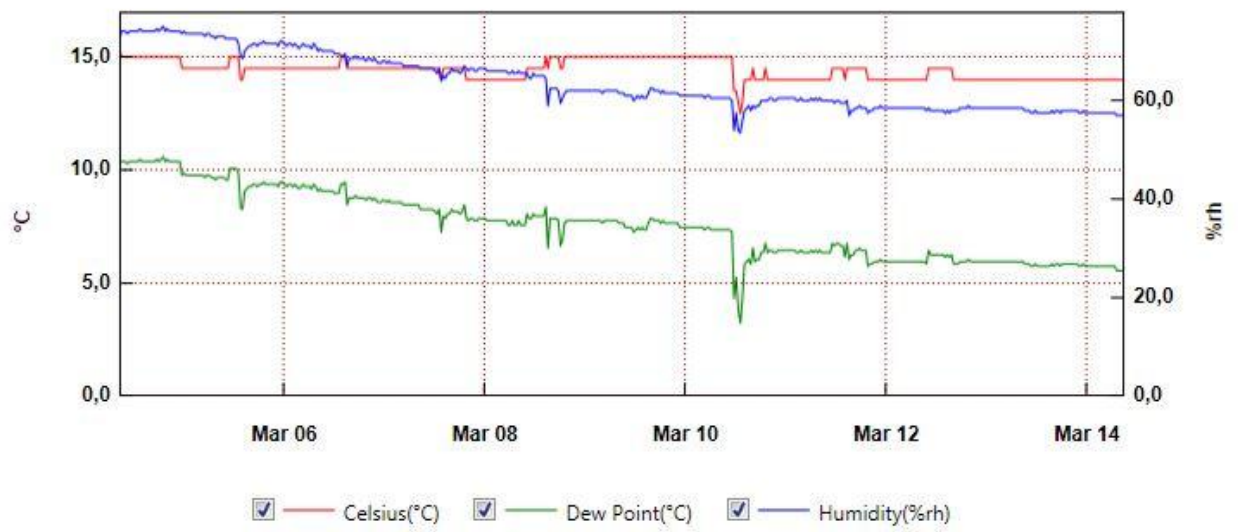


From: 26. helmikuuta 2016 15:21:17 - To: 1. maaliskuuta 2016 8:51:17



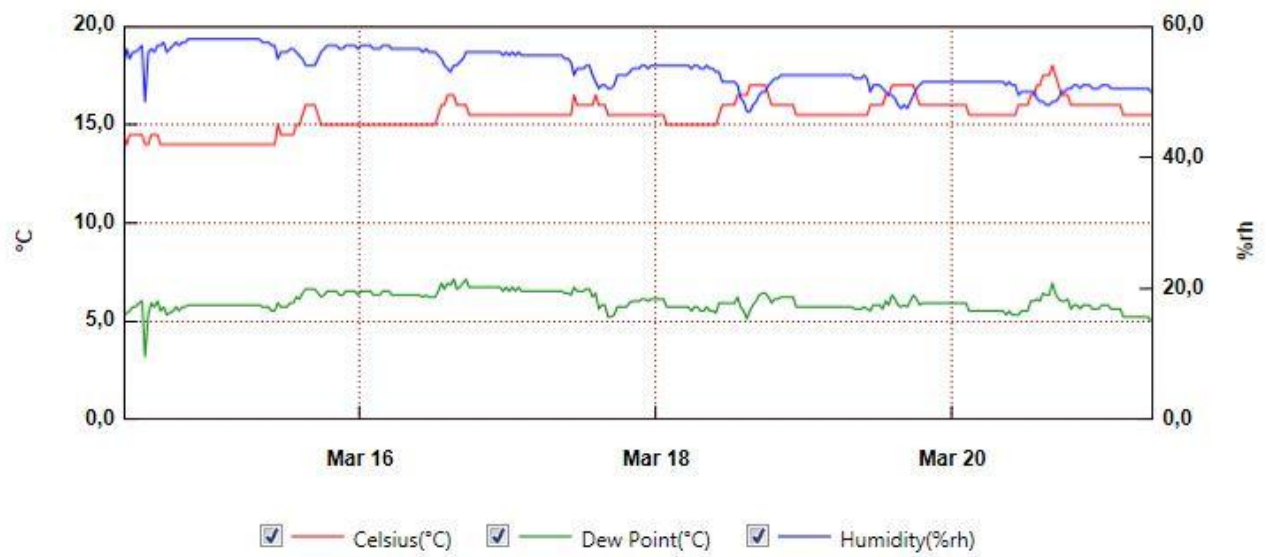
From: 1. maaliskuuta 2016 9:34:24 - To: 3. maaliskuuta 2016 17:04:24

Mittari 2



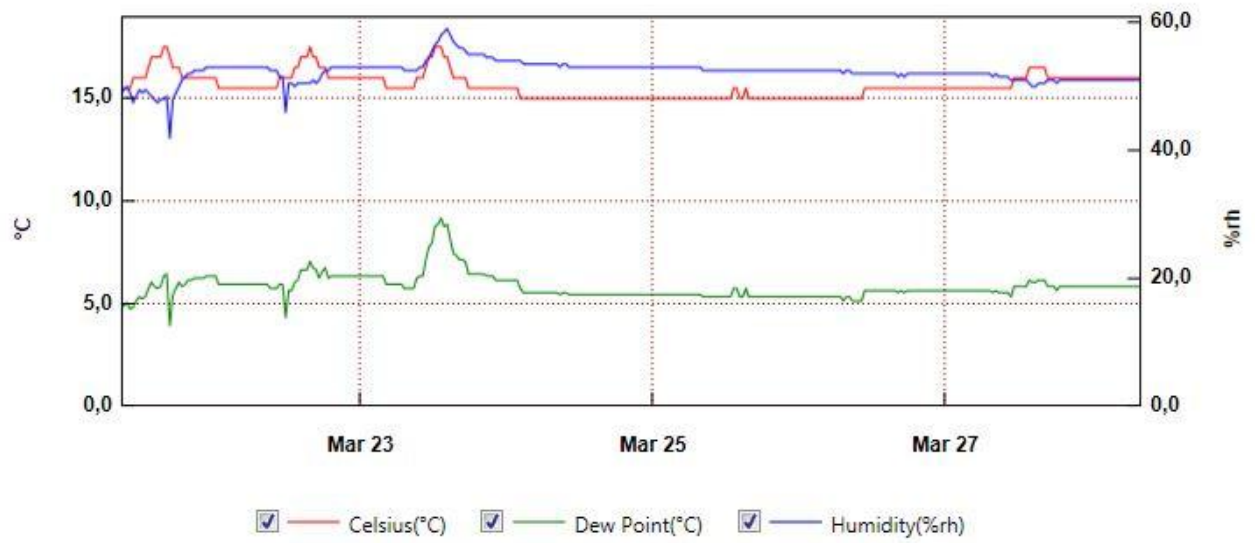
From: 4. maaliskuuta 2016 8:39:01 - To: 14. maaliskuuta 2016 9:09:01

Mittari 2



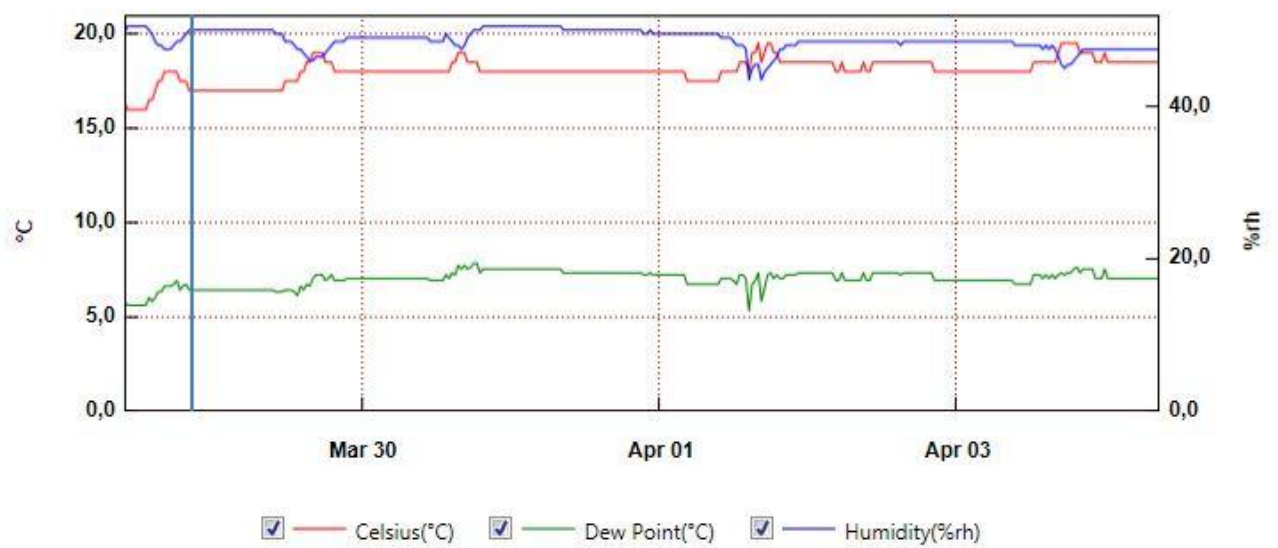
From: 14. maaliskuuta 2016 9:44:01 - To: 21. maaliskuuta 2016 8:44:01

Mittari 2



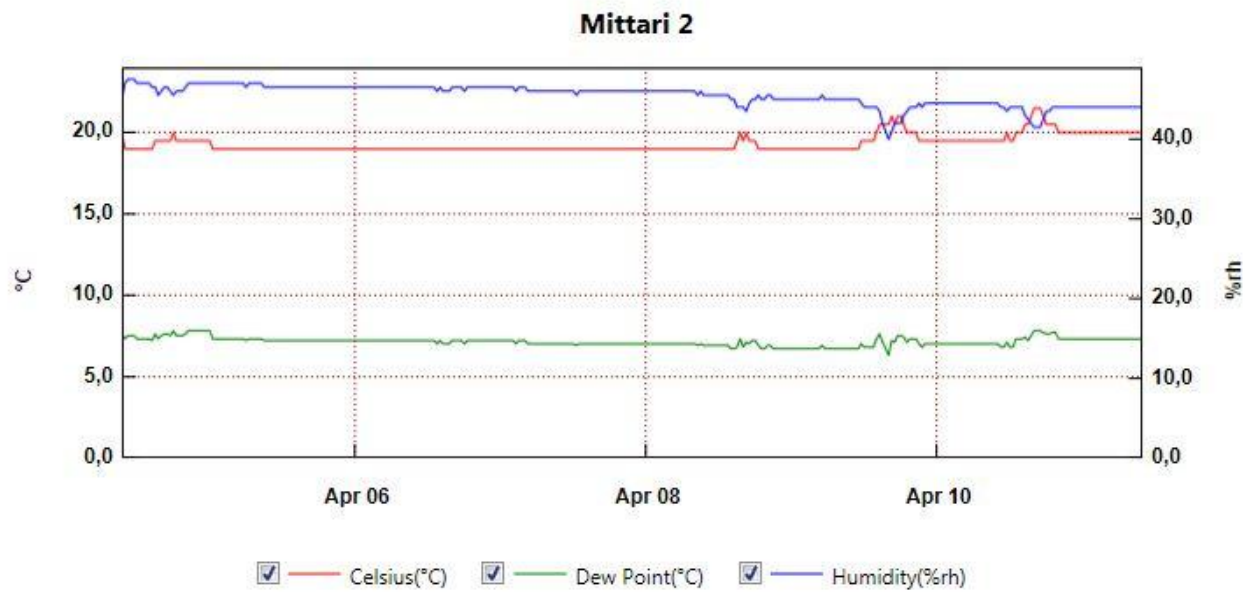
From: 21. maaliskuuta 2016 8:47:41 - To: 28. maaliskuuta 2016 8:17:41

Mittari 2



28. maaliskuuta 2016 20:28:55 [17,0 6,5 50,0]

From: 28. maaliskuuta 2016 9:29:53 - To: 4. huhtikuuta 2016 8:59:53



From: 4. huhtikuuta 2016 9:30:44 - To: 11. huhtikuuta 2016 10:00:44

Quick Graph

Kondenssikuivain

