

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

LVI

2016

Jussi-Pekka Alander

RYÖMINTÄTILAISEN ALAPOHJAN KONEELLINEN KOSTEUDENHALLINTA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | LVI

2016 | 59

Ohjaajat

Erkki Tuomaala, Turun AMK

Matti Alander, Toimitusjohtaja, M.Alander Oy

Jussi-Pekka Alander

RYÖMINTÄTILAISEN ALAPOHJAN KONEELLINEN KOSTEUDENHALLINTA

Opinnäytetyössä on perehdytty ryömintätilaisen, ulkoilmalla tuuletetun alapohjan kosteustekniseen käyttäytymiseen. Työssä arvioitiin moderneissa, tehokkaasti lämpöeristetyissä ryömintätiloissa esiintyvien kosteusongelmien syitä. Lisäksi on selvitetty rakennusten rakenneratkaisuissa tapahtuneiden muutosten vaikutuksia ryömintätilan kosteuskäyttäytymiseen verrattuna perinteiseen 1900-luvun alun rossipohjaan.

Opinnäytetyössä on tutkittu ryömintätilojen kuivatuksessa käytettyjen ilmankuivainten laiteteknisiä ratkaisuja ja niiden soveltuvuutta ryömintätilojen kuivatukseen. Työn toimeksiantajana on M.Alander Oy, joka on käyttänyt ilmankuivaimia ja lämpöalapohjaratkaisuja urakoimissaan korjaus- ja uudisrakennuskohteissa. Esimerkkikohteina ovat olleet kaksi Kaarinan Kaupungin koulurakennusta, joiden ryömintätilaisten alapohjien kosteudenhallinta on toteutettu koneellisesti.

Tavoite parantaa rakennusten energiatehokkuutta on lisännyt lämmöneristystä myös alapohjissa, ja samalla on vähentynyt lämpöhäviö huonetiloista ryömintätilaan. Tästä on seurannut ryömintätilan matalampi lämpötila verrattuna esikuvina pidettyihin vanhanajan rossipohjiin. Ryömintätilan lämpötilan lasku yhdessä lisääntyneen ulkoilmatuuletuksen kanssa on useissa tapauksissa aiheuttanut kondenssi-ongelmia ryömintätilan rakenteisiin. Koneellinen kosteudenhallinta on toiminut esimerkkikohteissa moitteetta, ja ratkaisua on pidetty toimivana. Ilmankuivaimet ovat toimineet luotettavasti, jos laitevalinnat ovat olleet ryömintätilojen olosuhteet huomioiden sopivia.

ASIASANAT:

Ryömintätila, kosteusongelma, Ilmankuivaus, kosteudenhallinta, kondenssi-kuivain, adsorptio-kuivain

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering | HVAC

2016 | 59

Instructors

Erkki Tuomaala, Turku University of Applied Sciences

Matti Alander, President, M.Alander Oy

Jussi-Pekka Alander

MECHANICAL MOISTURE CONTROL OF BASE FLOORS WITH CRAWL SPACES

This thesis studies the moisture technical behavior of base floors with vented crawl spaces. The thesis assesses the causes of moisture problems in modern, efficiently thermal insulated crawl spaces. In addition, the thesis reviews the effects of changes on construction solutions in moisture behavior compared to a traditional early 20th century base floor.

The thesis examines the technical solutions and suitability of dehumidifiers used in the drying of crawl spaces. The client of this thesis was M. Alander Oy. They have used dehumidifiers and thermal base floor solutions in renovation and new construction sites. The example buildings were two school buildings owned by the city of Kaarina. Both buildings have base floors with crawl spaces and their moisture control is mechanical.

The objective of improving energy efficiency in buildings has increased the thermal insulation of base floors, and in the process heat loss from rooms to base floors has decreased. This has resulted in lower temperatures in crawl spaces compared to the traditional early 20th century base floors, which served as examples. The decreased temperature of crawl spaces combined with added ventilation from outdoors has caused condensation problems in several cases. Mechanical moisture control has functioned impeccably and it has been regarded as functional in the example buildings. Dehumidifiers have functioned reliably if the device selection has been appropriate considering the conditions of crawl spaces.

KEYWORDS:

Crawl space, moisture problem, dry the air, moisture control, condensation dehumidifier, absorption dehumidifier

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
1.1 Tavoitteet	7
1.2 Taustat	7
2 RYÖMINTÄTILALLINEN ALAPOHJA	8
2.1 Historia	8
2.2 Käyttö modernissa rakentamisessa	12
2.3 Esiintyvät ongelmat	14
2.4 Ongelmiin sovelletut ratkaisut	19
3 RATKAISUNA KONEELLINEN ILMANKUIVAUS	27
3.1 Kuivausprosessi	27
3.2 Ilmankuivaukseen käytettävät koneet	34
3.3 Kondenssikuivain	35
3.4 Adsorptiokuivain	37
3.5 Käyttö ryömintätilojen kuivatuksessa	39
4 ESIMERKKI KOHTEET	46
4.1 Kotimäen koulu	46
4.2 Ristikallion lastentalo	50
5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	55

LIITTEET

Liite 1. Ristikallion lastentalon pitkänajanjakson mittauksien tiedot

KUVAT

Kuva 1. Penkkirakenne, jonka kautta tarkastukset ja maa-aineksen lisäys olivat tarvittaessa mahdollisia.	9
Kuva 2. Käsien lohkotusta graniitista ladottu perustus ja kantava puurakenteinen välipohja, jonka alle jää tyhjä ryömintätila.	10
Kuva 3. Portsan-puutaloalueen katumaisemaa Turusta 2012.	11
Kuva 4. Nykyaikainen ryömintätilainen perustusratkaisu, joka on toteutettu puurakenteisella välipohjalla, kantavalle maapohjalle.	13
Kuva 5. Ulkoilman sisältämä kosteus virtaa tuuletusputken kautta viileään ryömintätilaan.	16
Kuva 6. Modernin matalaenergiarakenteisen ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen sateettomina kesäkuukausina, kosteudet suhteellisina kosteuksina.	17
Kuva 7. Kosteusolosuhteet matalaenergiarakenteisessa ryömintätilassa sateisena kesänä.	17
Kuva 8. Koulurakennuksen ontelolaatoilla toteutetussa välipohjassa esiintyviä kondenssi-ongelmia.	18
Kuva 9. Lämpöalapohjarakenne, jossa kosteus ja lämpöeristykset on toteutettu salaojittavalla lämmöneristelevyllä.	24
Kuva 10. Rakennuksen korkeuseroista johtuvat painesuhteet.	25
Kuva 11. Mollierin diagrammi eli h-x-piirros.	33
Kuva 12. Kondenssi-kuivaimen toimintaperiaate	35
Kuva 13. Adsorptiokuivaimen toimintakaavio, jossa regenerointi-ilma otetaan prosessi-ilmasta.	38
Kuva 14. Adsorptiokuivaimen toimintakaavio, jossa regenerointi-ilma otetaan omasta kanavasta, omalla puhaltimella.	38
Kuva 15. Kuivaintyyppien kosteudenerottelukyky ryömintätilan olosuhteissa.	40
Kuva 16. Kuivan ilman jakoputkiston toteutus ryömintätilassa.	43
Kuva 17. Kotimäen koulurakennus	46
Kuva 18. Kuvassa vasemmalla on kuivan ilman jakoputkisto, puhdistusluukku ja ulospuhalluskartioita Kotimäen koulun ryömintätilassa.	48
Kuva 19. Ristikallion uuden lastentalon ja vanhan koulurakennuksen liittymäkäytävä.	50

KUVIOT

Kuvio 1. Kevytsoraeristuksen vaikutukset betonirakenteisen ryömintätilan kosteuskäyttäytymiseen mittausajanjaksolla 1.10.98–1.9.99.	22
Kuvio 2. Ilmankuivauskoneen vaikutukset tutkittavan ryömintätilan kosteusolosuhteisiin.	44

TAULUKOT

Taulukko 1. Puurakenteisen sekä betonirakenteisen rakennuksen ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen eri ilmanvaihtuvuuden arvoilla kesäkuukausina, tulokset ovat suhteellisen kosteuden keskiarvoja (RH %) mittauskuukausilta.	20
Taulukko 2. Taulukko vesihöyryn kyllästymiskosteudesta sekä paineesta, normaalissa ilmanpaineessa ja tavanomaisissa ulkoilman lämpötiloissa.	31

1 JOHDANTO

1.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää ulkoilmalla tuuletetun, ryömintätilaisen alapohjan kosteuskäyttäytymistä sekä perehtyä niissä esiintyvien kosteusongelmien syihin. Tavoitteena on myös perehtyä ryömintätilan koneelliseen ilman-kuivaamiseen käytettyihin laitteisiin sekä selvittää niiden toimivuutta ryömintätilan kosteudenhallinnassa, kahdesta esimerkkikohteesta saatujen tietojen sekä tutkimustulosten pohjalta.

1.2 Taustat

Opinnäytetyön toimeksiantajana on M.Alander Oy, joka on toiminut rakennusten perustusten ja alapohjien kosteusongelmien parissa yli kaksi vuosikymmentä. Korjausrakentaminen on yrityksen toimialoista suurin, mutta materiaalitöitä tehdään myös uudisrakentamiseen.

Ulkoilmalla tuuletetut, ryömintätilaiset perustusratkaisut ovat lisääntyneet 1990-luvulta alkaen pientalojen paaluttamisen myötä. Perustustavan yleistyttyä on niissä myös ilmennyt kosteusongelmia ja samalla tarvetta niiden korjaamiseen. Muutamia yrityksen urakoimiin kohteisiin on asennettu koneellisia ilman-kuivaimia, joiden avulla on ryömintätilan kosteusolosuhteita pystytty parantamaan. Ryömintätilan koneellisesta kosteudenhallinnasta saatu palaute on ollut enimmäkseen positiivista. Ryömintätilan kosteuskäyttäytymiseen ja sen koneelliseen kosteudenhallintaan on ollut tarvetta perehtyä ja kartoittaa saatavilla olevaa tietoa aiheesta.

2 RYÖMINTÄTILALLINEN ALAPOHJA

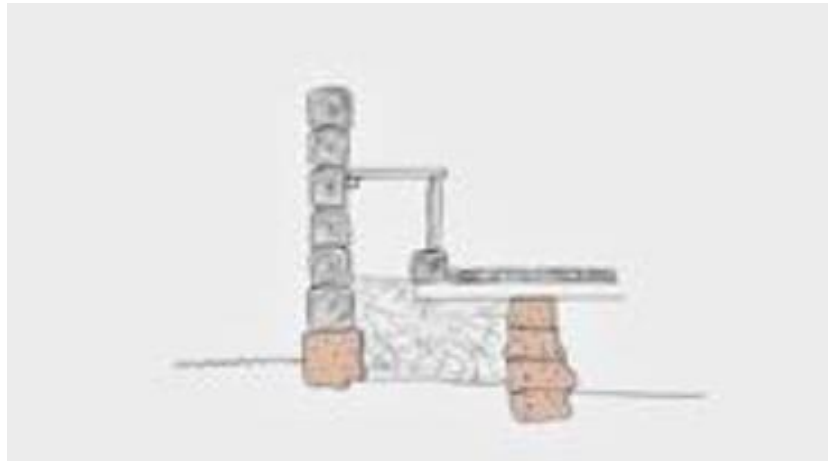
2.1 Historia

Suomi on aina ollut harvaan asuttua soiden, järvien ja soraharjujen peittämää seutua. Viljelyskäyttöön soveltuva tasamaa on ollut kallisarvoista, joten rakennukset pyrittiin sijoittamaan sorapitoisten kumpujen päälle sekä aurinkoisiin etelärinteisiin (Hemgren & Wannfors 2012, 54). Rakennuspaikkana kummut sekä rinteet olivat kuivia ja pintavedet virtasivat painovoimaisesti pois rakennusten perustuksista. Rakennuspaikan valinta edesauttoi perustusten kuivana pysymistä verrattuna nykyisin taajamissa tyypilliseen käytäntöön rakentaa tasaisille peltoaukeamille.

Ensimmäisenä varsinaisena perustustapana, jossa lattian alle jäi avoin ilmatila, voidaan pitää 1700–1800-lukujen multapenkkiperustusta. Rakennukset olivat hirsirakenteisia, ja ne oli perustettu pohjamaan päälle ladottujen luonnonkivien vaaraan. Hirsirakenne itsessään oli jo hyvin kantava, joten perustusten kantokyvyn ei tarvinnut kauttaaltaan olla hyvä. Kulmapilareiden väleillä olikin usein väljempää kiviladontaa. Perustussyvyys oli myös matala, jolloin isommilta kaivuutöiltä vältyttiin. Perustamiseen riitti jo luonnon muovaama painanne kummussa tai rinteessä. (Perinnemestari 2016.)

Matalasta perustussyvyydestä seurasi routimisongelmia, ja eristämätön lankkulattia oli talvisin kylmä sekä vetoisa. Ratkaisuksi aikakauden ihmiset olivat keksineet kasata maata ja sammalia sokkelin sisäpuolelle, sekä usein myös ulkopuolelle, alimpien hirsien yläosaan asti. Tämä esti kylmän ilmanvirtausta alapohjassa ja vähensi perustusten routimista. (Hemgren & Wannfors 2012, 53.)

Täyttömaalla on taipumus tiivistyä ajan kanssa, ja lattialankut olivatkin tyypillisesti irtonaisia ja helposti nostettavissa sivuun, maa-aineksen lisäämiseksi multapenkkiin. Joskus seinustoita kiersi avattavalla istuiñosalla varustettu penkki, jonka alta maatäyttö oli tarkastettavissa ja lisättävissä tarpeen mukaan. Tästä on syntynyt multapenkki-nimitys (Kuva 1). (Perinnemestari 2016.)

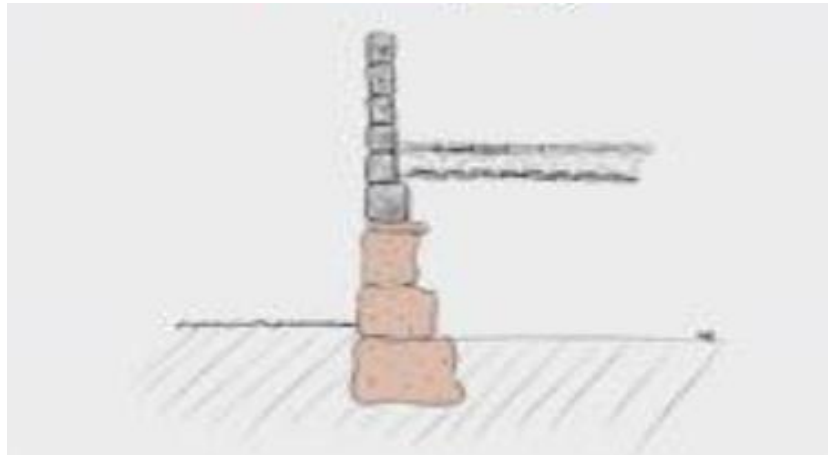


Kuva 1. Penkkirakenne, jonka kautta tarkastukset ja maa-aineksen lisäys olivat tarvittaessa mahdollisia (Perinnemestari 2016).

Alimmat hirret olivat kovalla kosteusrasituksella maakosketuksessa, mutta käsi-työtaitoa oli saatavilla ja rakennukset ”kengitettiin” tarpeen mukaan uusimalla alimmat hirsirakenteet. Hirsien kestoikä vaihteli lähinnä rakennuspaikan kosteusolosuhteiden mukaan. On löydetty yli 100 vuotta vanhojakin ehjiä multapenkkirakenteita. (Perinnemestari 2016.)

1800-luvulla alkoi rakennuskanta parantua ja multapenkeistä alettiin luopua. Valitsevaksi perustustavaksi muodostui rossipohja, joka perustettiin syvemmälle, ja välipohja nostettiin korkeammalle perusmaasta kuin multapenkkiperustuksessa oli tapana (kuva 2). Rossipohjien korkeudet vaihtelivat 20–30 sentistä yli metriin. Perustusmateriaalina käytettiin pääasiassa käsin lohkottua graniittia, joka ladottiin taidokkaasti päällekkäin. Graniittia käytettiin 1900-luvun alkupuolelle asti, kunnes teräsbetoni vähitellen syrjäytti sen perustusmateriaalina. (Perinnemestari 2016.)

Sanat rossipohja ja permanto ovat puhekielessä säilyneet tähän päivään asti, ja nimityksiä käytetään yleisesti perustustavasta, jossa kantavan välipohjan ja pohjamaan väliin jää tyhjä ryömintätila (Kuva 2).



Kuva 2. Käsin lohkotusta graniitista ladottu perustus ja kantava puurakenteinen välipohja, jonka alle jää tyhjä ryömintätila (Perinnemestari 2016).

Sokkeli oli perinteisesti varustettu kissanluukuilla, joiden ensisijainen tarkoitus oli tehdä kulkureitti ryömintätilaan talon kissalle hoitamaan tehtäväänsä eli jysijöiden torjuntaa. Luukkujen toteutustapa, koko, lukumäärä ja sijoitus sokkelissa vaihtelivat, mutta mitoitus oli tehty lähinnä palvelemaan käyttäjäänsä. Luukut tehtiin normaalisti suljettaviksi, koska aikakauden lattiat olivat eristämättömiä. Kylmän sekä vedontunteen välttämiseksi luukut pyrittiin sulkemaan pakkasilla ja avaamaan vasta ”järvien sulaessa” (Perinnemestari 2016). Kesälläkin luukkuja availtiin ja suljettiin lähinnä tuntemuksien perusteella. Aamulla isäntä tuli ulos tarpeilleen ja huomasi päivästä tulevan poutaisen, jolloin hän avasi luukun ja vastaavasti taas tihkusateessa puristeltiin kauluksia ja luukku suljettiin.

Eristämättömän välipohjan läpi ja kivisistä tulisijanperustuksista kulkeutui riittävästi lämpöä ryömintätilaan, joten pintojen lämpötilat pysyivät ympäri vuoden kastepisteen yläpuolella. Välipohjissa käytettiin myös eristeitä, eteenkin arvokkaammassa rakennuksissa kuten esimerkiksi kouluissa ja seuraintaloissa. Yleisesti eristeinä käytetyt sammaleet, sahanpurut ja hiekka olivat eristyskyvyltään kuitenkin verrattain heikkoja eikä ryömintätilan lämpötila päässyt oleellisesti laskemaan (Perinnemestari 2016). Tämä ratkaisu toimi hyvin toistasataa vuotta. Käytössä oli tuntemuksiin perustuva tarpeen mukainen ilmanvaihto riittävän lämpimästä ryömintätilasta.

1800-luvun loppupuolella Suomi alkoi teollistua ja muuttoliike maaseudulta kaupunkiin kiihtyi (Tieteessä tapahtuu 2016). Kaupunkeihin muuttanut työväestö asutettiin useasti rivitalon esikuvanakin pidettyihin puutaloihin, joita on säästynyt runsaasti näihin päiviin asti (Kuva 3). Rakenteiltaan puutalot olivat pääosin perinteisiä hirsirakennuksia. Talot perustettiin kantavalle maapohjalle, luonnonkivi-, tiili- tai betonisokkelin päälle. Puutalojen alakerrat olivat tyypillisesti matalia kellaritiloja, jotka eivät juurikaan eronneet korkeammasta rossipermannosta ja joita ei suunniteltu varsinaiseen asuinkäyttöön (Portsa 2016).



Kuva 3. Porsan-puutaloalueen katumaisemaa Turusta 2012 (Portsa 2016).

Toisen maailmansodan jälkeen rossipohjien suosio laski, koska rintamamiestalot perustettiin usein kellarillisena ja runkorakenne oli puinen tolpparunko. Talot rakennettiin kaupunkien läheisyyteen kaavoitetuille alueille, joiden maaperä ei yleensä suosinut entisaikojen rakennustapaa. (Perinnemestari 2016.)

Rintamamiestaloja seurasivat 60- ja 70-lukujen matalat perustustavat ja 80-luvun reunavahvisteiset laattarakenteet valesokkeleineen. Kaikilla edellä mainituilla aikakausilla esiintyy perustustapaan liittyviä kosteusongelmia, mutta niitä ei tämän opinnäytetyön yhteydessä käsitellä.

Rossipohjia rakennettiin vähäisemmässä määrin aina, mutta uutta tulemista ne tekivät vasta pientalojen paalutuksen yleistyttyä 80-luvun loppupuolella. Ryömintätilainen, kantavalla välipohjalla varustettu perustusratkaisu soveltuu hyvin, niin teräs- kuin betonipaalujen varaankin toteutettuna (RT 81-10486).

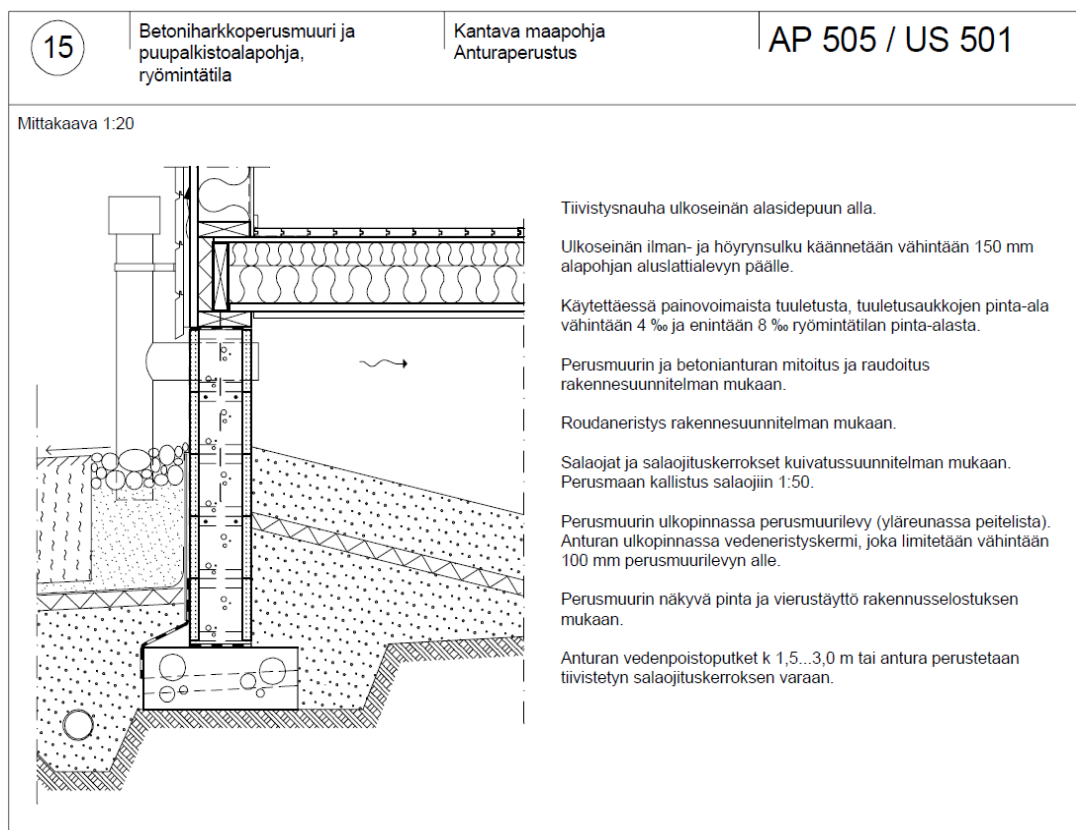
Rossipohjia alettiin nimittää ulkoilmalla tuuletetuiksi alapohjiksi. Niitä markkinoitiin vanhan perinteisen rakenteen hyvillä ominaisuuksilla, ja tarkoituksena oli välttää 60- ja 70-lukujen perustustavoissa ilmenneet ongelmat.

2.2 Käyttö modernissa rakentamisessa

Nykyisin varsin yleinen perustusratkaisu uusissa pientaloissa on kantavalla välipohjalla oleva, ryömintätilainen alapohja (Suomi rakentaa 2016). Suurin osa näistä on rakennettu kaupunkien läheisyyteen, tasaisille peltoalueille kaavoitettuihin asumalähiöihin. Perustustapaa on käytetty myös päiväkodeissa, kouluissa sekä muissa rakennuksissa, joita on rakennettu samankaltaiseen maastoon, lähiön asukkaita palvelemaan.

Rakenneratkaisun etuna on ollut kustannussäästö perustuksen täyttömateriaaleissa verrattuna maavaraisiin pohjaratkaisuihin. Massiivisten sokkelitöytöjen on havaittu myös aiheuttavan painumaongelmia talotekniikalle sekä piharakenteille juuri savikoille, paalujen varaan perustettaessa. Rossipohjaratkaisussa on talotekniikkaa voitu sijoittaa alapohjaan, jolloin sen tarkastaminen ja huoltaminen on mahdollista rakenteita avaamalla.

Radon-alueilla on myös suosittu rossipohjia koska, ne on havaittu toimivaksi ratkaisuksi radonia vastaan, yhdessä tehokkaan tuuletuksen ja tiiviin välipohjarakenteen kanssa (Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa 2013, 206).



Kuva 4. Nykyaikainen ryömintätilainen perustusratkaisu, joka on toteutettu puurakenteisella välipohjalla, kantavalle maapohjalle (RT 81-10854).

Perustusmateriaaleina on käytetty yleisesti moderneja harkkoratkaisuja kuten kevytsora- ja betonivaluharkkoja (Kuva 4). Monet talopakettitoimittajat ovat perustaneet rakennukset myös valmiiden betonisten ja eristettyjen sokkelielementtien varaan. Perinteinen laudoituksen väliin valettu teräsbetonisokkeli on harvinaisempi, mutta osaavat hartiapankkirakentajat käyttävät myös tätä rakennetta.

Välipohjien yleisimpiä materiaaleja ovat puu ja betoni. Betonirakenteisissa välipohjissa esijännitetty ontelolaatta on yleinen, erityisesti kivrunkoisissa rakennuksissa ja ammattirakentajien keskuudessa. Eristemateriaaleina välipohjissa on käytetty mineraalivillaa, puukuitueristettä, polystyreeniä sekä polyuretaania. Eristysten toteutustapaa rakenteessa ovat sanelleet eristysmateriaalien paloturvallisuus, kosteudensietokyky, puristuslujuus, ilmatiiveys, vesihöyrynvastus (diffuusio) sekä lämmönjohtavuus, kuten myös kustannuslähtöiset seikat (RT 83-11009). Tiukentuneet energiamääräykset ovat kasvattaneet välipohjan eristepaksuuksia ja nykyiset passiivi- ja nollaenergiaratkaisut ovat vielä oma lukunsa alapohjien lämpöhäviöiden minimoimisessa.

2.3 Esiintyvät ongelmat

Rossipohjaratkaisu teki uutta tulemista pientalojen paalutuksen yleistyttyä. Rakennuksia perustettiin kaupunkien läheisyyteen vanhoille viljelysmaille. Alueiden kaavoittamisessa ei ollut ongelmia, ja kunnallistekniikan rakentaminen oli huomattavasti nopeampaa ja halvempaa kuin kallioiseen rinnemaastoon.

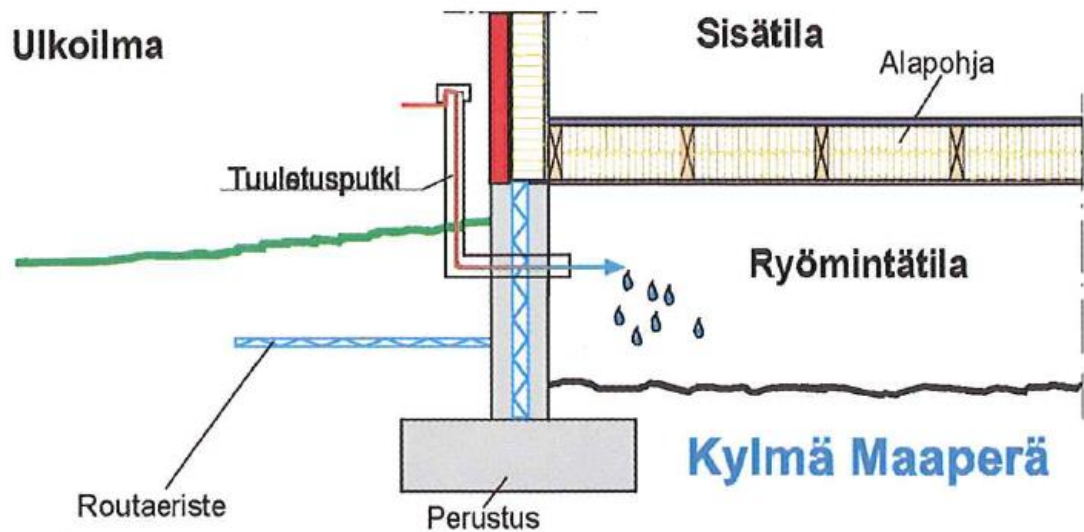
90-luvun loppupuolella alettiin havaita kosteudesta johtuvia ongelmia rossipohjille rakennetuissa moderneissa rakennuksissa. Ongelmia oli ilmennyt ryömintätilan kohonneina suhteellisina kosteusprosentteina ja puurakenteisten välipohjien kosteusvaurioina. Myös sisäilman kohonneita mikrobipitoisuuksia sekä niistä johtuvia terveysongelmia oli alkanut esiintyä yhä useammin. Eräissä tapauksissa ryömintätilaan sijoitettu talotekniikkakin oli kärsinyt talvikuukausina jäätymisongelmista (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 32).

Ongelmien syiden selvittäminen ei ollut helppoa, koska yhtä yksittäistä ongelmien lähdeä ei pystytty heti nimeämään. Kuten muissakin kosteusvaurioissa, on alapohjan kosteusvauriokin yleensä monen osatekijän summa, ja niiden välillä esiintyy tapauskohtaisia eroavaisuuksia. Esimerkiksi rakennuspaikan kosteusolosuhteet, välipohjan lämmönläpäisy ja jopa rakennuksen käyttö ovat vaikuttaneet kosteusvaurioiden syntyyn.

Ryömintätilaisen alapohjan kosteustekniset ongelmat saavat usein alkunsa jo suunnitteluvaiheessa, ja rakennusmääräykset antavatkin melko väljät raamit rakenteiden suunnittelulle. Konkreettisia arvoja on annettu lähinnä tuuletusaukkojen pinta-aloille (min 4 ‰ - max 8 ‰ alapohjan pinta-alasta), sijoituksesta rakennuksen seinustoille, kapilaarikatkerrokselle (min. 200 mm), salaojitukselle, ryömintätilan korkeudelle (min. 800 mm) sekä lämmönläpäisykertoimelle (0,17 W/(m²K)). Myös muut suunnittelijan tietolähteet alapohjarakenteen kosteusteknisestä toiminnasta ovat olleet riittämättömiä, erityisesti modernin ulkoilmalla tuuletetun alapohjaratkaisun alkutaipaleella. (RakMK C2 1998, 9 sekä RakMK D3 2012, 13.)

Suuren muutoksen perinteisiin rakennuksiin verrattuna on aiheuttanut rakennusten sijoitus tasamaalle, mikä on lisännyt salaojituksen sekä pintavesien ohjauksen merkitystä perustusten kosteuskuormalle. Erona on myös matalampi perustuskorkeus sekä sokkelirakenteissa käytettyjen materiaalien vaihtuminen luonnonkivestä betoniin. Luonnonkivi on materiaalina tiheämpää kuin nykyisin käytetty betoni, joka lisää perustusten kapilaarista kosteudennostokykyä maaperästä ja asettaa kapilaarikatkerroksen toimivuudelle uudet vaatimukset.

Suunnittelussa ei ole otettu riittävästi huomioon tuuletusilman ominaisuutta kuljettaa kosteutta ulkoilmasta alapohjaan. Modernien tehokkaiden lämmöneristeiden vaikutusta alapohjarakenteiden pintalämpötiloihin sekä koko ryömintätilan lämpötilaan ei myöskään ole osattu ennakoida tarpeeksi. (Kuva 5) (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 33.)

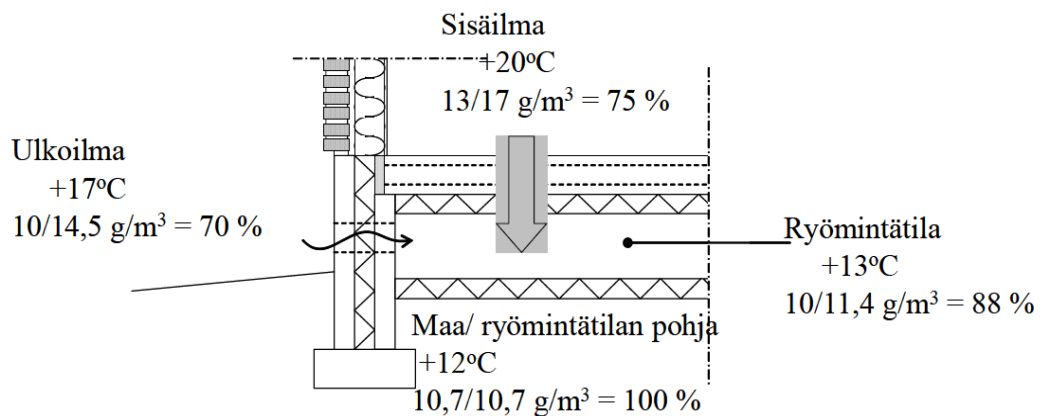


Kuva 5. Ulkoilman sisältämä kosteus virtaa tuuletusputken kautta viileään ryömintätilaan (Rakennettu ympäristö 2011).

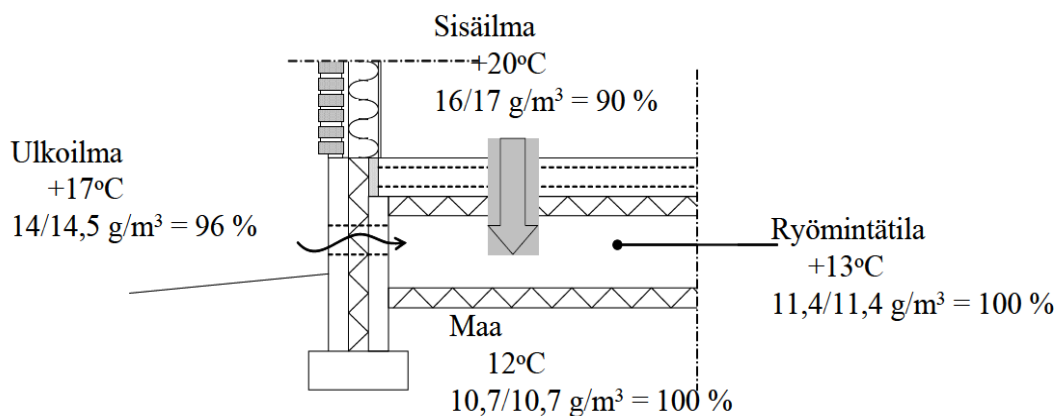
Suurimmat ongelmat ulkoilmalla tuulettussa ryömintätilassa ovat ilmaantuneet kesällä, jolloin tuuletusilma on lämmintä ja sisältää runsaasti kosteutta. Lämmin ja kostea ulkoilma virtaa tuuletusaukoista ulkoilmaa huomattavasti viileämpään ryömintätilaan. Ryömintätilan lämpötila on kylmästä, eristämättömästä pohjamaasta sekä välipohjan tehokkaista lämmöneristyksistä johtuen usein huomattavasti tuuletusilman lämpötilaa matalampi. (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 55–56)

Lämpimämmän tuuletusilman sisältämä kosteus nostaa ryömintätilan suhteellista kosteutta, joka voi kohota kriittisen pisteen ($\approx 75\%$ Rh) yläpuolelle. Kriittisenä pisteenä pidetään suhteellisen kosteuden (Rh %) arvoa, jossa mikrobien ja lahottajien on todettu alkavan kehittyä perustusten rakenteisiin (Rakennettu ympäristö 2011). Ryömintätilan kosteusolosuhteiden on havaittu pysyvän pitkiäkin ajanjaksoja korkealla tasolla ja mahdollistavan mikrobikasvuston syntymisen alapohjan rakenteisiin (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 30).

Talvikaudella vastaavia ongelmia ei ryömintätiloissa ole esiintynyt. Ongelmat hyvin eristetyissä rakenteissa ovat lähinnä ryömintätilan liiallisesta lämpötilan laskusta johtuvat jäätymisongelmat vesi- ja viemäriputkille. Suhteellinen kosteus on lämpötilariippuvainen suure. Talvella kylmään ulkoilmaan ei mahdu kuin vähän absoluuttista kosteutta. Ryömintätilan ilman ollessa ulkoilmaa lämpimämpää absoluuttista kosteutta mahtuu siihen enemmän ja suhteellinen kosteusprosentti pysyy talvikuukausina matalana (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 29).



Kuva 6. Modernin matalaenergiarakenteisen ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen sateettomina kesäkuukausina, kosteudet suhteellisina kosteuksina (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 32).



Kuva 7. Kosteusolosuhteet matalaenergiarakenteisessa ryömintätilassa sateisena kesänä (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 33).

Suhteellinen kosteusprosentti ulkoilmassa kohoaa sadesäällä, jolloin tuuletusilman kosteusprosentti lähentelee 100 % (Kuva 7) (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 33). Myös ryömintätilan pohjamaan lämmöneristyksen poistamisella ja välipohjan lisäeristyksellä olisi alapohjan lämpötilaa laskeva vaikutus, joka vaikuttaisi negatiivisesti kuvien 6 ja 7 ryömintätilan kosteuskäyttäytymiseen (Rakennettu ympäristö 2011).

Ongelmallisimmissa tapauksissa on puisen välipohjarakenteen pintalämpötila laskenut talven aikana niin alas, että kesän lämpökään ei ole ehtinyt nostaa sitä kastepisteen yläpuolelle. Tuuletusilman kosteus on kondensoitunut pinnoille, ja aiheuttanut orgaanisessa puurakenteessa lahovaurioita. Betonirakenteisten välipohjien kohdalla ongelma ei ole yhtä suuri vaikka kosteuden pisaroituminen on silmin havaittavissa välipohjan alapinnalla (Kuva 8). Betonin kosteuspitoisuus toki nousee kapilaari-ilmiön vuoksi, mutta sen kosteudensietokyky on epäorgaanisena materiaalina parempi kuin puurakenteilla. (Rakennettu ympäristö 2011.)



Kuva 8. Koulurakennuksen ontelolaatoilla toteutetussa välipohjassa esiintyviä kondenssi-ongelmia (Alustatilaselvitys Kilterin koulu 2011).

Mikrobien ja lahottajasienien aiheuttamia sisäilmaongelmia on esiintynyt myös betonirakenteisten ryömintätilojen yhteydessä. Tuuletusilman mukana kulkeneet epäpuhtaudet ovat antaneet mikrobeille kasvualustan rakenteiden pinnoilla. Rakennuksen alipaineinen ilmanvaihto on imenyt välipohjan vuotokohtien läpi mikrobeja sisäilmaan, josta on aiheutunut tilojen käyttäjille terveyshaittoja. Ryömintätiloissa on useasti esiintynyt myös rakennusaikaisia epäpuhtauksia kuten sahanpurua ja purkamattomia betonilaudoituksia, jotka ovat olleet sopivia kasvualustoja mikrobeille sekä lahottajasienille (Rakennettu ympäristö 2011).

2.4 Ongelmiin sovelletut ratkaisut

Ulkoilmalla tuuletettujen alapohjien kosteusongelmien korjaus ja ehkäisy ovat olleet myös haastavia ohjeistuksen sekä luotettavien tutkimustulosten puutteen vuoksi. Tutkimustuloksiakin on viimeaikoina saatu, mutta tiedon siirtyminen käytäntöön suunnittelijoille ja toteuttajille on hidasta. Uudet rakennustavat kohtaavat useasti myös periaatteellista vastustusta.

Yleinen ohjeistus on ollut tuuletuksen lisääminen, jolla ei ole normaalisti saatu juurikaan parannusta aikaan, vaan on pahimmassa tapauksessa aiheutettu lisää kosteuskuormaa jo vaurioituneille rakenteille. Kylmän ryömintätilan tapauksessa on ulkoilmasta muodostunut kosteuslähde, ja ryömintätilan suhteellinen kosteus on noussut entisestään. (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 61.)

Alapohjarakenteen korjaamisen ja uuden alapohjan kosteusteknisen suunnittelun tulisi perustua kosteuskuormituksen pienentämiseen perustuksen kaikissa osissa. Perusmaahan tulisi tehdä riittävät kallistukset, viettäen kohti salaojia ja salaojitus on rakennettava RakMK C2 ohjeiden mukaan. Maaperän ja rakenteiden välille tulisi toteuttaa riittävä, vähintään määräysten mukainen kapillaarikatko. Rakennusjätteet kuten sahanpuru ja muottilaudat on huolellisesti siivottava pois ryömintätilasta. Viemäri- ja vesiputkien sekä muiden taloteknisten laitteiden vuotojen ja kondenssin aiheuttama kosteuskuorma tulisi myös poistaa ryömintätilasta sekä välipohjan läpivienneistä.

Ryömintätilaan tulee järjestää riittävä ilmanvaihto. Ilman vaihtuvuuden määrä ja toteutustapa tulisi suunnitella tapaus kohtaisesti. Riittävästä ilmanvaihdon määrästä ryömintätilassa on ammattilaistenkin keskuudessa eriäviä mielipiteitä. Ryömintätiloissa, joiden pohjamaa on lämpöeristämätön, ei suurikaan ilmanvaihdon lisäys ole nostanut riittävästi ryömintätilan lämpötilaa. Maaperään ja perustusrakenteisiin varastoitunut talvikuukausien kylmyys viilentää ryömintätilan pitkälle syyskesään ja pitää ryömintätilan suhteellisen kosteuden korkealla tasolla (Rakennettu ympäristö 2011).

Taulukko 1. Puurakenteisen ja betonirakenteisen rakennuksen ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen eri ilmanvaihtuvuuden arvoilla kesäkuukausina, tulokset ovat suhteellisen kosteuden keskiarvoja (RH %) mittauskuukausilta (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 57).

Puurakenteinen päiväkoti	0,5 1/h	2,0 1/h	5,0 1/h
Kesäkuu	77,6	79,1	75,5
Heinäkuu	78,6	74,0	68,7
Elokuu	80,1	79,9	77,5
Kesän k.a.	78,8	77,6	73,9
Betonirakenteinen kerrostalo	0,2 1/h	0,5 1/h	1,0 1/h
Kesäkuu	62,8	60,0	60,6
Heinäkuu	72,5	72,7	76,0
Elokuu	72,4	71,8	74,2
Kesän k.a.	69,3	68,3	70,4

Taulukosta 1 on havaittavissa ilmanvaihtuvuuden muutosten vaikutukset ryömintätilan ilman suhteelliseen kosteuspitoisuuteen. Suuremman varaavan massan omaava betonirakenteinen ryömintätila pysyy pidempään viileänä kuin vastaava puurakenteinen ratkaisu. Betonirakenteisessa ryömintätilassa onkin alhaisimmat suhteellisen kosteuden arvot mitattu 0,5 1/h ilmanvaihdolla, jota voidaan pitää yleisesti riittävänä ilmanvaihtuvuutena betonirakenteisissa alapohjissa. Ilmanvaihdon nostamisella kaksinkertaiseksi arvoon 1/h ei ole saatu aikaiseksi suhteellisen kosteuden laskua ryömintätilassa. Kesä- ja heinäkuussa tuuletusilman suurempi kosteussisältö on jopa nostanut betonirakenteisen ryömintätilan suhteellista kosteusprosenttia. (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 57.)

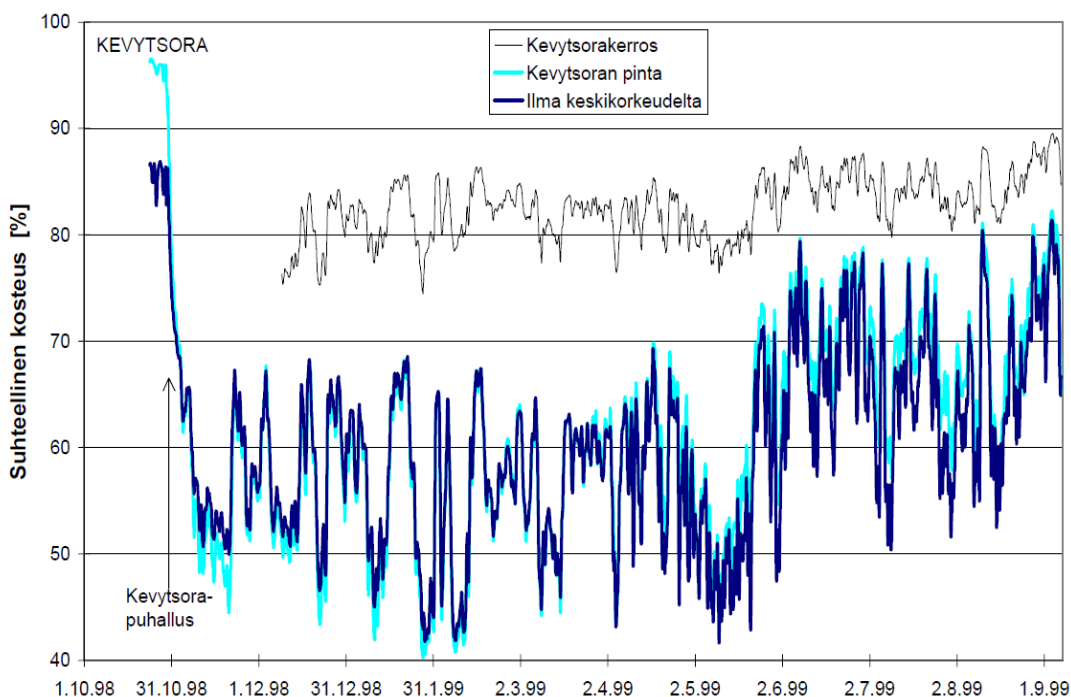
Puurakenteisella välipohjalla toteutetussa ryömintätilassa on reilulla ilmanvaihtuvuuden lisäämisellä kesäkuukausina saavutettu suhteellisen kosteusprosentin alenemista. Puurakenne on massaltaan huomattavasti betonirakennetta kevyempi, joten sen kyky varastoida kylmää itseensä on vastaavaa betonirakennetta vähäisempi. Kymmenkertainen ilmanvaihto (5 1/h) on pystynyt tuomaan riittävästi lämpöä ulkoilmasta ryömintätilaan, jotta sen lämpötila on saatu nousemaan. Ryömintätilan lämpötilannousun vaikutuksesta on tuuletusilman sisältämä kosteus mahtunut paremmin ryömintätilan ilmaan, jolloin suhteellinen kosteusprosentti on laskenut (Taulukko 1). (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 57). Eli entisaikojen kissanluukkujen pienentäminen talvisin ja tarpeen mukainen avaaminen kesäisin saattaa olla toimiva ratkaisu nykyisinkin (Rakennettu ympäristö 2011).

”Riittävä” tuuletus on kuitenkin harkittava tapauskohtaisesti moderneissa puurakenteisissa ulkoilmalla tuuletetuissa ryömintätilaratkaisuissa. Ruotsalaisten tutkimusten perusteella tehokkaasti lämmöneristetyllä puurakenteisella välipohjalla toteutettua, ulkoilmalla tuuletettua ryömintätilaista alapohjarakennetta pidetään riskirakenteena. (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 75.)

Ratkaisuna on käytetty varaavan massan eristämistä ryömintätilassa. Maapohjalle on levitetty suodatinkangas, jonka päälle on levitetty 200–300 mm:n kerros kevytsoraa tai 50–100 mm:n muovipohjainen eristelevy. Tapauskohtaisesti on

myös sokkelirakenteita eristetty ryömintätilan lämpötilan nostamiseksi ja kylmäsiltojen minimoimiseksi. Näillä toimilla on saatu ryömintätilan lämpötila kohoamaan nopeammin keväällä ja lyhennettyä ajanjaksoa, jolloin ryömintätilan suhteellinen kosteus pysyttelee kriittisenpisteen yläpuolella (Kuvio 1).

Kevytsoran etu on keveys sekä helppo asennettavuus. Kevytsora muodostaa saumattoman eristyksen ja se voidaan puhalttaa pienistäkin aukoista ryömintätilaan. Puhaltaminen helpottaa eristyksen toteutusta, varsinkin korjausrakentamisessa. Se ei myöskään vaadi tasaista alustaa, kuten helposti rikkoutuvat muovipohjaiset eristelevyt. Kevytsoralla on myös hyvät kapilaarikatko-ominaisuudet, jotka ovat ryömintätilan perusmaata eristettäessä oleellinen ominaisuus. Varjopuolena on vaatimaton eristyskyky verrattuna moderneihin muovipohjaisiin eristemateriaaleihin. (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 55.)



Kuvio 1. Kevytsoraeristyksen vaikutukset betonirakenteisen ryömintätilan kosteuskäyttäytymiseen mittaussajanjaksolla 1.10.98–1.9.99 (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 57).

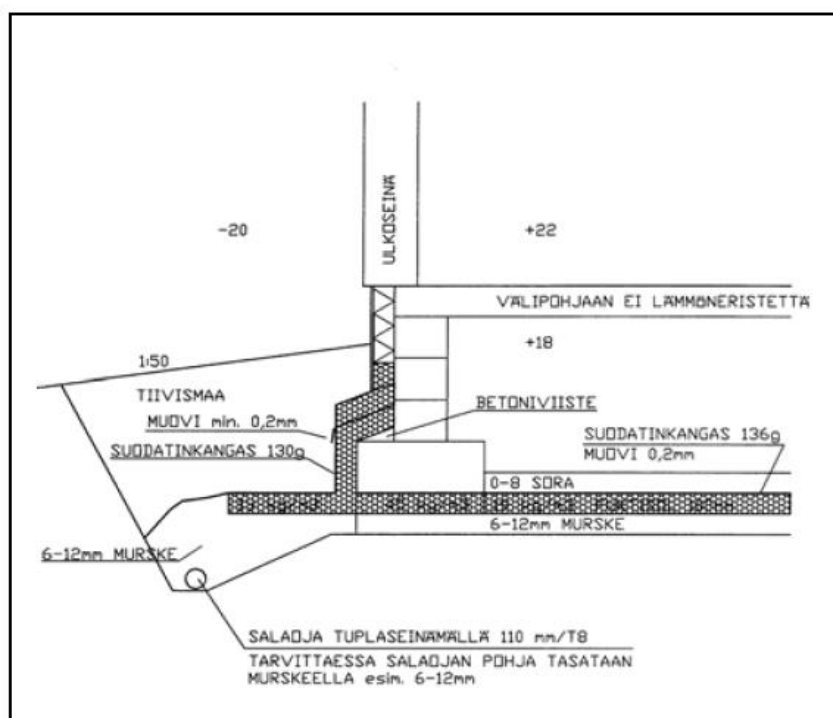
Vähentämällä ryömintätilan kosteuslähteitä ja eristämällä kylmää varaava massa on pystytty myös ilmanvaihtuvuuden tarvetta ryömintätilassa vähentämään. Tutkimuksissa on esitetty välipohjan lämmönläpäisykertoimen ($0,17W/(m^2K)$) pitämistä ennallaan muiden energiamääräysten kiristyessä sekä kieltämällä tasauslaskennan kompensointi alapohjan eristystä lisäämällä. (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 76.) Sallimalla pieni lämpöhäviö välipohjan läpi ryömintätilaan, saadaan ryömintätilan lämpötila keväisin nopeammin nousemaan. Näin saadaan myös lämmityskaudella ryömintätilan lämpötila pysymään plus-asteilla, jotta ryömintätilaan asennettu talotekniikka ei pääsisi vaurioitumaan jäätyessään.

Uudisrakennuspuolella on käytössä ratkaisu, jota kutsutaan lämpöalapohjaksi. Rakenteessa on alapohjaeristys asennettu kokonaisuudessaan ryömintätilan perusmaata vasten ja välipohja on käytännössä eristämätön. Sokkeli on kauttaaltaan lämpöeristetty, jolloin kylmäsiltoja ryömintätilaan ei pääse muodostumaan. (Kuva 9) (Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa 2013, 206).

Lämpöalapohjarakenteisessa pientalossa ryömintätilan ilmanvaihto toteutetaan tyypillisesti rakennuksen ilmanvaihtokoneella, jonka lämmöntalteenotto kenno ottaa tilasta lämpöenergiaa talteen hyvällä hyötysuhteella. Suuremmissa kiinteistöissä on ryömintätilan ilmanvaihto normaalisti rakennettu kokonaan omalla ilmanvaihtokoneella, jotta riittävä ilmanvaihto ryömintätilassa olisi taattu. Ylimääräistä lämpöenergiaa syntyy ryömintätilaan lähinnä huonetiloista eristämättömän välipohjan läpi kulkeutumalla sekä ryömintätilaan sijoitetun talotekniikan lämpöhäviöistä.

Kyseessä on siis matalakellari, minkä lämpötila pysyttelee vuodenajoista riippumatta lähes samana eikä ulkoilman vaihteleva suhteellinen kosteus vaikuta alapohjan kosteusolosuhteisiin merkittävästi. Rakenteessa on mahdollista sijoittaa talotekniikkaa turvallisesti ryömintätilaan, koska lämpö ja kosteusolosuhteet muistuttavat lähinnä osalämmintä kellaritilaa. (Malander 2016.)

Kiinteistön ilmanvaihtokoneen LTO:n vaatimuksena rakenneratkaisussa on tiiveys, poisto ja tuloilmavirrat eivät saa päästä sekoittumaan. Tämä vaatimus sulkee pois mahdollisuuden käyttää pyöriväkennoisia lämmöntalteenottolaitteita IV-koneissa. Ryömintätilan ilmanvaihto on myös mahdollista toteuttaa kokonaan omalla IV-koneella, jolloin ryömintätilan ja huonetilojen ilman sekoittumisen riski on minimoitu.



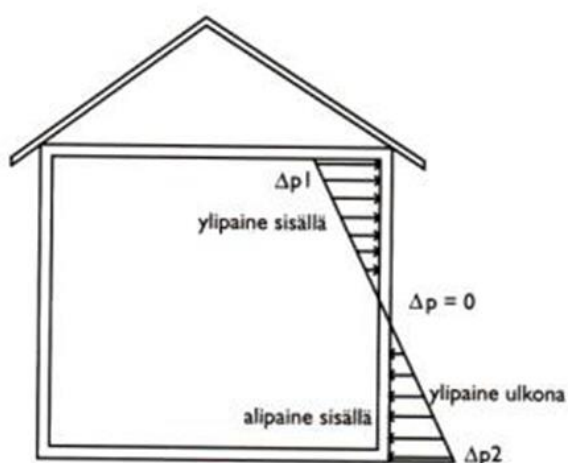
Kuva 9. Lämpöalopohjarakenne, jossa kosteus ja lämpöeristykset on toteutettu salaojittavalla lämmöneristelevyllä (Malander 2016).

Korjausrakentamisessa lämpöalopohjarakenteen toteuttaminen on haastavampaa ja rakenneratkaisun käyttö on vähäistä. Yleisempää on asentaa alapohjiin koneellinen ilmankuivain ja kustannuksien sekä toteutusmahdollisuuksien puitteissa pyrkiä vähentämään muita kosteuslähteitä rakenteissa. Paraskaan ilmankuivauskone ei pysty tekemään ihmeitä, jos muihin rakenteen heikkouksiin ei riittävästi puututa (Rakennettu ympäristö 2011).

Ilmankuivain on tekninen laite, joka vaatii toimiakseen sähköenergiaa sekä ajoitusta huoltoon. Suunnittelun lähtökohtana ryömintätilan toiminnassa ilman-kuivainta ei välttämättä ole järkevää pitää. Suunnittelussa tulee pyrkiä fysikaalisesti toimiviin rakenneratkaisuihin. (Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa 2013, 209.)

Kaikissa perustustyypeissä, on sitten kyseessä uudisrakennus tai korjauskohde, tulee kiinnittää erityistä huomiota välipohjan tiiveyteen. Ongelmallisia ovat välipohjan liitoskohta sokkeli- ja seinärakenteeseen sekä talotekniikan, kuten sähköjohtojen ja LVI-putkitusten läpiviennit.

Rakennuksen huonetilojen alaosissa on tyypillisesti korkeuseroista johtuvaa alipainetta ulkoilmaan verrattuna (Kuva 10) (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 75). Ulkoilmalla tuulettun ryömintätilan ilmanpaine on lähellä ulkoilmapainetta, jonka seurauksena mahdolliset vuotovirtaukset välipohjan lävitse kulkevat kohti huonetiloja. Säättämätön koneellinen ilmanvaihto voi lisätä kyseistä paine-eroa, jonka johdosta lisääntyy samalla myös haitallisen vuotoilmavirran määrä rakennuksessa.



Kuva 10. Rakennuksen korkeuseroista johtuvat painesuhteet (Sisäilmäyhdistys 2016).

Lämpöalopohjaratkaisuissa sekä koneellisella ilmankuivaimella varustetuissa ryömintätiloissa on mahdollisuus vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin, ja osaltaan vähentää välipohjan vuotoriskiä sisäilmaan. Ryömintätilan ylipaineisuus lisää mikrobien kulkeutumisen riskiä välipohjan vuotokohdista huonetiloihin. (Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa 2013, 209.)

3 RATKAISUNA KONEELLINEN ILMANKUIVAUS

3.1 Kuivausprosessi

Ryömintätilan rakenteiden ja ilmankuivaamisen teoriaa tarkastellessa on lähdettävä liikkeelle veden ja sen eri olomuotojen fysikaalisesta käyttäytymisestä rakenteissa sekä ryömintätilan ilmassa. Nestemäisessä olomuodossa vesi pystyy liikkumaan perustuksissa ja maapohjassa painovoimaisesti ylhäältä alaspäin sekä ylipaineisena myös alhaalta ylöspäin. Toinen veden kulkeutumismuoto on huokoisalipaineeseen perustuva kapilaarinen kulkeutuminen maa-aineksissa ja huokoisissa rakennusmateriaaleissa. Kapilaarisesti vesi voi liikkua rakenteissa myös ylöspäin sekä vaakasuunnassa. Veden aiheuttama kosteuskuorma tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä poistamaan ryömintätilasta. Esimerkiksi näkyvän veden ja korkeiden rakenteiden kosteuspitoisuuksien kuivattaminen koneellisesti kuluttaa huomattavasti energiaa. (U.Siikanen 2014, 67–68.)

Kiinteässä olomuodossa eli jäänä tai lumena vettä esiintyy ryömintätiloissa harvemmin, mutta täysin mahdotontakaan se ei ole. Tehokkaasti eristettyjen välipohjarakenteiden alapintaan voi sopivissa olosuhteissa kondensoitua vettä, joka jäätyy huuruksi tai jäähelmiksi ryömintätilan lämpötilan painuessa nollan alapuolelle. Huurua saattaa esiintyä myös sokkelirakenteessa kylmäsiltojen kohdilla. Talvella tuulenpaine voi työntää pakkaslunta suojaamattomista tuuletusaukoista ryömintätilaan, joka sulaessaan aiheuttaa lisää kosteuskuormaa ryömintätilaan. On ilmennyt ryömintätiloja, joiden maapohjan notkokohdissa olevat vesilammikot ovat jäätyneet ja aiheuttaneet jopa routavaurioita rakenteille. Nämäkin ongelmat tulisi pyrkiä ehkäisemään lämpöeristyksin, tuulensuojauksin, perusmaan vedenohjauksella sekä kapilaarikatkaisulla ennen koneellisen ilmankuivaimen asentamista. Jään lämmittäminen vedeksi sekä haihduttaminen vesihöyryksi kuluttaa huomattavasti ostoenergiaa.

Ratkaisevassa asemassa ryömintätilan kosteuskäyttäytymisessä sekä sen koneellisessa kuivaamisessa on veden kolmas olomuoto eli vesihöyry. Vesihöyry on normaaliolosuhteissa aina osana ilmaa, mikä sisältää muitakin kaasuja kuten happea, typpeä, argonia ja hiilidioksidia. Kiinnostavaa vesihöyryn käyttäytymisessä on sen olomuodonmuutosten osuminen juuri ympäristön normaalien lämpötilojen alueelle, kun taas muiden ilmassa esiintyvien kaasujen olomuodonmuutokset tapahtuvat reilusti alle $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloissa. (P. Koskinen 2016.)

Ilma on siis kaasuseos, joka sisältää normaalisti aina jonkin verran vettä kaasumaisessa olomuodossa eli vesihöyryä. Vesihöyry on hajutonta, mautonta ja väritöntä, eikä sitä pidä sekoittaa sumuun, mikä taas on kastepisteen alittamisesta johtuvaa höyryn tiivistymistä ilmassa olevien epäpuhtauksien kuten siitepölyn ym. hiukkasiin. (P. Koskinen 2016.)

Vesihöyry liikkuu ryömintätilan rakenteissa diffuusion avulla, normaalisti lämpimämmästä kohti viileämpää lämpötilaa. Alemmassa lämpötilassa on yleensä matalampi vesihöyryn osapaine kuin korkeamassa lämpötilassa, jolloin absoluuttinen kosteus on myös vähäisempää. Materiaaleissa on tyypillisesti myös samanaikaista kapilaarista veden liikettä, ja niitä onkin käytännössä hankala erottaa toisistaan. Rakenteet pyritään suojaamaan haitalliselta määrältä vesihöyryn diffuusiota, suunnittelussa tai suunnittelemalla ne diffuusioavoimiksi eli ”hengittäviksi”. (U.Siikanen 2014, 71.)

Ilmaan sitoutunut vesihöyry liikkuu pääasiassa konvektion vaikutuksesta. Vesihöyry kulkeutuu ilmavirtausten mukana rakenteiden ilmavuotokohdista tai tuuletusaukoista esimerkiksi ryömintätilaan. Konvektio pystyy siirtämään suuria määriä vesihöyryä, mikä kondensoituessaan rakenneosiin saattaa aiheuttaa niissä kosteusvaurioita. Konvektiota on pakotettua eli puhaltimien ym. aikaansaamaa sekä vapaata konvektiota, joka johtuu lämpötilaerojen synnyttämästä tiheyden vaihtelusta. (D.Björkholtz 1990, 17.) Konvektiota käytetään pääasiallisena kosteudensiirtomenetelmänä koneellisissa ilmankuivaimissa joko adsorboimalla tai kondensoimalla ilmanvirtauksen sisältämä kosteus pois ryömintätilan ilmasta.

Vesihöyryn käyttäytymiseen ryömintätilan ilmassa ja rakenteissa voidaan soveltaa ideaalikaasun tilayhtälöitä (1-2).

$$P_i = \frac{\rho_i R_u T}{M_i} = \rho_i R_i T \quad (1)$$

$$P_h = \frac{\rho_h R_u T}{M_h} = \rho_h R_h T \quad (2)$$

sekä kaasujen osapainelakia (3) (E. Sandberg 2014, osa 2, 124).

$$P = P_i + P_h = \frac{\rho_i R_u T}{M_i} + \frac{\rho_h R_u T}{M_h} = \rho_i R_i T + \rho_h R_h T \quad (3)$$

$P_i =$ Kuivan ilman paine [Pa] $P_h =$ Vesihöyryn osapaine [Pa]

$\rho_i =$ Kuivan ilman tiheys [kg/m^3] $\rho_h =$ Vesihöyryn tiheys [kg/m^3]

$R_u =$ Yleinen kaasuvakio 8315 J/(kmol K)

$T =$ Absoluuttinen lämpötila [K]

$M_i =$ Kuivan ilman moolimassa 29,0 [kg/kmol]

$M_h =$ Vesihöyryn moolimassa 18,0 [kg/kmol]

$R_i =$ Yleinen kaasuvakio kuivalle ilmalle 287,0 [J/(kmol K)]

$R_h =$ Yleinen kaasuvakio vesihöyrylle 462,0 [J/(kmol K)]

$P =$ Vallitseva ilmanpaine [Pa]

Yhtälöistä (1-3) on johdettu paremmin käytännön laskutoimituksiin soveltuva yhtälö (4). Yhtälö toteutuu normaalissa ilmanpaineessa, mikä on merenpinnan tasossa noin (101,3 kPa). Rakennuksia ei ole perustettu tarkalleen merenpinnan tasoon mutta käytännössä tämä tarkkuus on riittävä tarkasteltaessa ryömintätilan kosteuskäyttäytymistä. (D.Björkholtz 1990, 23.)

$$p = 461,4 * T * v \quad (4)$$

p = ilmassa oleva vesihöyryn paine [Pa]

v = ilmassa olevan vesihöyryn määrä [kg/m^3]

T = ilman lämpötila kelvineinä eli $273,15 +$ vallitseva ilman lämpötila $^{\circ}C$ [K]

Yhtälöstä (4) on selvästi havaittavissa ilmanlämpötilan, vesihöyryn määrän ja vesihöyryn osapaineen välinen verrannollisuus toisiinsa. Ryömintätilan ilman sisältämää kosteutta kuvataan sekä mitataan normaalisti suhteellisena kosteusprosenttina (RH %). Nimensä mukaisesti suhteellinen kosteus on suhdeluku, ja se voidaan laskea vesihöyryn kosteuspitoisuuden suhteessa vesihöyryn kyllästysmiskosteuteen (5) (D.Björkholtz 1990, 23).

$$RH \% = \frac{v}{v_k} * 100 [\%] \quad (5)$$

v_k = vesihöyryn määrä kyllästyskosteudessa [kg/m^3]

Samaan lopputulokseen laskennassa päädytään laskettaessa suhteellista kosteutta vesihöyryn osapaineiden kautta. Ilman suhteellinen kosteus on ilman sisältämän vesihöyryn paineen suhde vesihöyryn kyllästymispaineeseen (6). (D.Björkholtz 1990, 23.)

$$RH \% = \frac{p}{p_k} * 100 [\%] \quad (6)$$

$p_k = \text{vesihöyryn kyllästymispaine [Pa]}$

Käytännön laskentaa yksinkertaistamaan on luotu taulukoita. Taulukot sisältävät arvot vesihöyryn kyllästymiskosteudelle sekä kyllästymispaineelle, kulloinkin valitsevassa lämpötilassa. Arvot toteutuvat ilmanpaineessa 101,3 kPa, jossa taulukon arvoja on suunniteltu käytettäväksi.

Taulukko 2. Taulukko vesihöyryn kyllästymiskosteudesta sekä paineesta normaalissa ilmanpaineessa ja tavanomaisissa ulkoilman lämpötiloissa (hometal-koot 2016).

t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa
-20	0,87	102	-3	3,89	485	14	12,10	1602
-19	0,95	111	-2	4,19	524	15	12,86	1708
-18	1,04	122	-1	4,51	566	16	13,65	1820
-17	1,14	135	0	4,85	611	17	14,49	1939
-16	1,25	149	1	5,21	658	18	15,37	2064
-15	1,38	164	2	5,58	708	19	16,30	2197
-14	1,52	181	3	5,98	762	20	17,28	2337
-13	1,67	200	4	6,40	818	21	18,31	2484
-12	1,83	221	5	6,84	878	22	19,40	2640
-11	2,01	242	6	7,31	941	23	20,54	2805
-10	2,20	266	7	7,80	1008	24	21,74	2979
-9	2,40	292	8	8,32	1079	25	23,00	3162
-8	2,61	319	9	8,87	1154	26	24,32	3355
-7	2,84	348	10	9,45	1234	27	25,71	3559
-6	3,08	379	11	10,06	1318	28	27,17	3773
-5	3,33	412	12	10,71	1408	29	28,70	3999
-4	3,60	447	13	11,38	1502	30	30,31	4237

Taulukossa 2 on esitetty maksimiarvot eri ilmanlämpötiloissa vesihöyryn sisältämälle vesimäärälle sekä osapaineelle. Taulukossa 2 esitettyjä arvoja ei ole mahdollista normaaleissa oleskeluolosuhteissa ylittää. Käytännössä raja-arvot osoittavat ilmankosteuden kastepisteen kyseisessä lämpötilassa ja paineessa, jonka jälkeen vesihöyryn määrä ilmassa ei voi lisääntyä. Kastepisteen ylimenevä osa vesisisällöstä tiivistyy vedeksi.

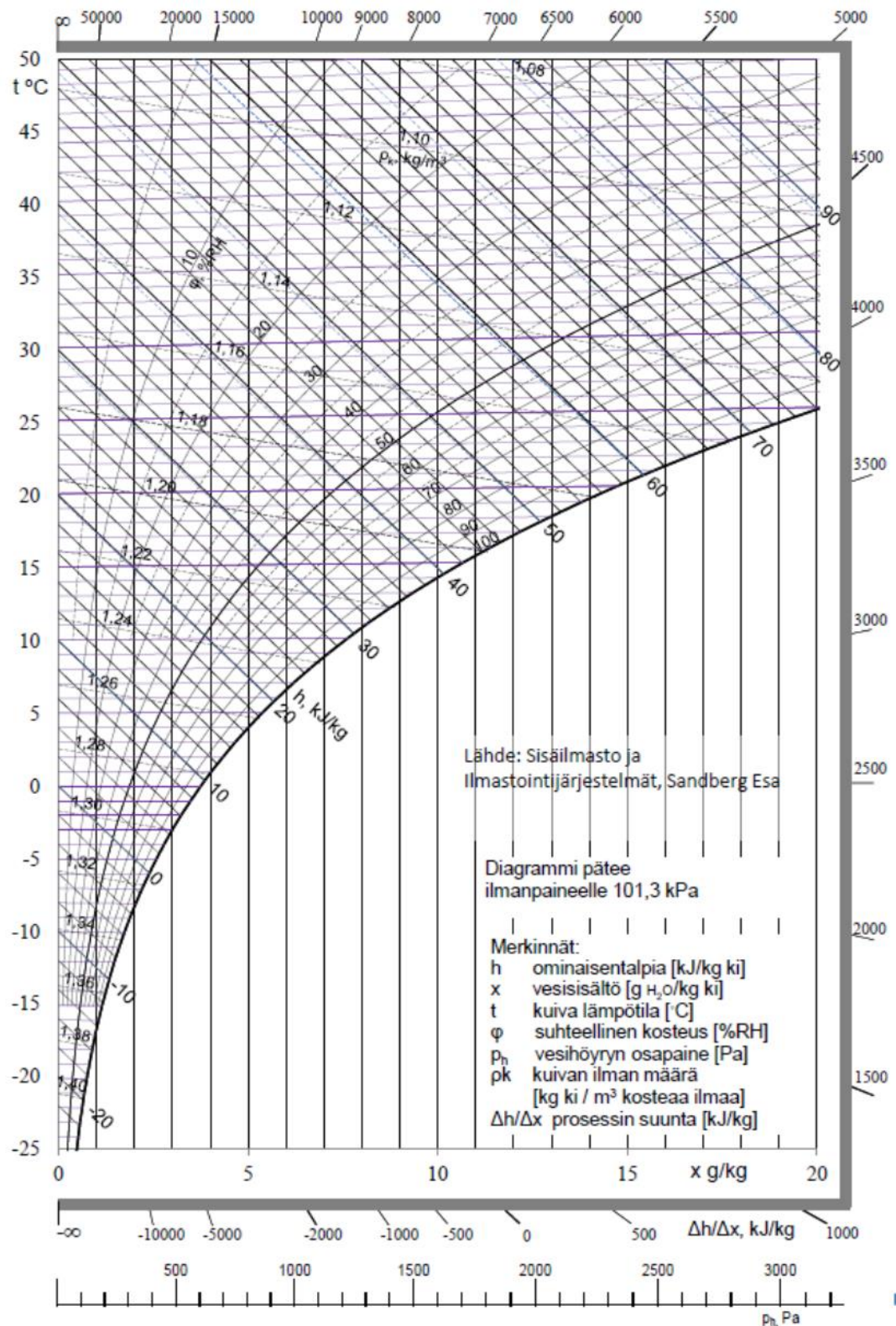
Vesihöyryn olomuodonmuutosta nestemäiseksi eli kondensoitumista pyritään välttämään ryömintätilan rakenteissa. Vesihöyryn siirtäminen pois ryömintätilasta perustuu yleensä kuivatusratkaisuissa konvektioon ja osittain myös diffuusioon. Kosteuden siirtymisen toteutumiseksi on sen pysyttävä vesihöyrynä.

Matemaattista tarkastelua nopeampi ja tyypillisesti riittävän tarkka menetelmä, kostean ilman olosuhteiden tarkasteluun käytännön kohteissa on Mollierin diagrammi (Kuva 11). Diagrammista on helpompaa havainnoida piirtämällä veden olomuodonmuutos sekä suhteellisen kosteusprosentin muutokset lämpötilan muutoksen mukana. (E. Sandberg 2014, osa 2, 126.)

Diagrammin vinoakselilta on luettavissa kostean ilman sisältämä sekä ilman kuivattamiseen tarvittava energiamäärä eli entalpia (kJ/kg). Energiasisältö on oleellinen tieto tarkasteltaessa koneellisen ilmankuivauksen aiheuttamia kustannuksia energiankulutuksen muodossa. (E. Sandberg 2014, osa 2, 129.)

Vesihöyryn sisältämä vesisisältö (x) ilmoitetaan joko grammana tai kilogrammana, kilogrammaa kuivaa ilmaa kohden (g/kg). Arvo on luettavissa diagrammin alalaidasta, pystyviivoitusta seuraten. Kostean ilman sisältämän vesimäärän selvittäminen on tärkeää mitoittaessa kondenssikuivaimen tai ilmanvaihtokoneen LTO-kennon kondenssivedenpoistoa. (E. Sandberg 2014, osa 2, 129.)

Edellä mainituista syistä diagrammia kutsutaan myös h-x-piirroksi. Diagrammeja kuten taulukoitakin on luotu laajalle lämpötila- ja paine-alueille, joka mahdollistaa niiden käytön suunniteltaessa myös teollisuuden prosesseja. (E. Sandberg 2014, osa 2, 126.)



Kuva 11. Mollierin diagrammi eli h-x-piirros (E. Sandberg 2014, osa 2, 128).

Kostean ilman ja rakenteiden kosteuskäyttäytymisen sekä kosteusmittausten tulosten käsittelyssä käytetään myös tietokoneohjelmistoja. Ryömintätilojen kosteuskäyttäytymistä on mahdollista mallintaa ja käyttää tuloksia hyödyksi ilman-kuivaimien mitoituksessa.

3.2 Ilmankuivaukseen käytettävät koneet

Ilmankuivaamiseen kehitetyt kuivauskoneet jaotellaan tyypillisesti toimintaperiaatteensa mukaan. Yleisin markkinoilla oleva konetyyppi on kondenssikuivain. Niitä markkinoidaan moniin eri käyttötarkoituksiin, ja edullisimmillaan kondenssikuivaimen saa muutamalla kymppillä. Kondenssikuivaimia käytetään kotitalouksista aina teollisuuden prosessikuivauksiin. Kondenssikuivainta käytetään myös ryömintätilojen kuivaamiseen, mutta toimintaperiaatteestaan johtuen koneen sijoitus kohteessa tulisi suunnitella konetyypin vaatimusten mukaan. Kondenssikuivaimen hyötysuhde ei myöskään ole parhaimmillaan ryömintätilan viileissä olosuhteissa.

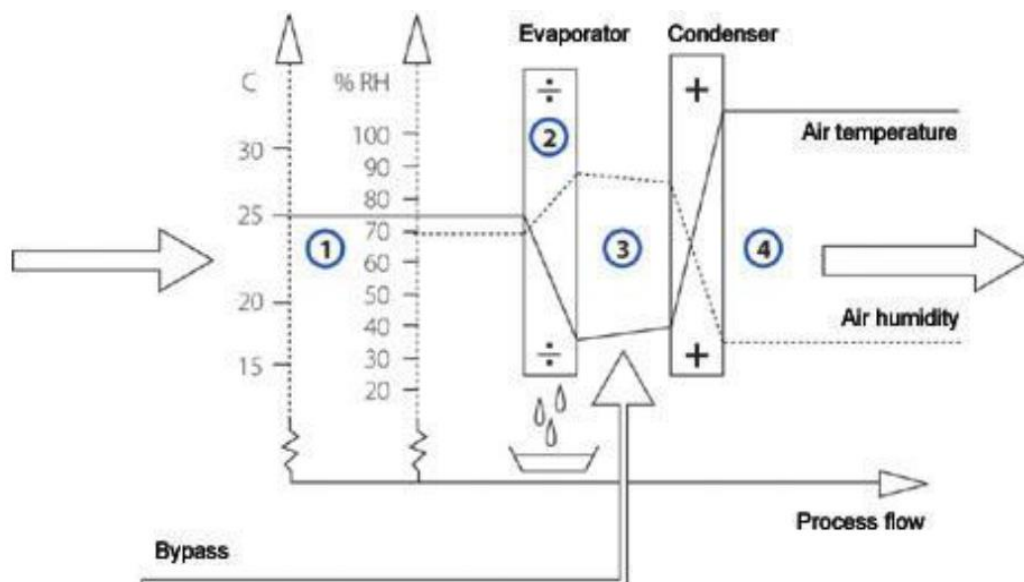
Adsorptio-periaatteella toimivia kuivaimia valmistetaan myös moneen käyttötarkoitukseen. Pääasiassa ne ovat kuitenkin ammattilaisille suunnattuja laitteita ja halpamallit näin ollen puuttuvat markkinoilta. Adsorptio-kuivainta pidetään parhaana ratkaisuna ryömintätilan kosteudenhallinnassa. Kuivaimen rakenne sallii vapauksia sen sijoittelussa kohteeseen, toisin kuin kondenssikuivaimen. Adsorptio-kuivain voidaan asentaa suoraan ryömintätilaan tai mallista riippuen jopa ulkotilaan. Ne ovat säänkestäviä ja ilman kuivaaminen on mahdollista myös matalissa lämpötiloissa. Varjopuolena on useasti korkeampi hankintahinta vastaavan kuivaustehon omaavaan kondenssikuivaimen verrattuna.

Edellä mainittujen kuivainten toimintaperiaatteita on myös yhdistelty, jotta eri kuivaintyyppien ominaisuuksia voitaisiin paremmin hyödyntää muuttuvissa kuivausolosuhteissa. Yhdistelmäkuivaimissa yhdistyvät Adsorptio-kuivaimen kuivauskyky matalissa lämpötiloissa ja kondenssikuivaimen hyvä hyötysuhde, kuivatessa hyvin kostea ilmaa korkeammassa lämpötiloissa.

Yhdistelmäkuivaimia ei varsinaisessa ryömintätilan kosteudenhallinnassa juurikaan käytetä, koska tarvetta ilmankuivaamiseen korkeammissa lämpötiloissa ei normaalisti ole (Kuivain 2016).

3.3 Kondenssikuivain

Kondenssikuivaimen toiminta perustuu nimensä mukaisesti vesihöyryn hallittuun kondensoitumiseen kuivaimen kylmäpatterissa. Prosessissa käytetään hyväksi kylmätekniikkaa sekä laitepuhaltimia. Laitepuhallin imee kuivattavan tilan kostea ilmaa ilmankuivaimeen (1) (Kuva 12). Kuivaimessa on suljettu kylmäainekierto, mikä ottaa kostean ilman sisältämää energiaa talteen höyrystimessä. Höyrystimen lämpötila on alhainen, joten kostean ilman vesisisältö tiivistyy sen pinnoille, josta se johdetaan pumpaamalla tai painovoimaisesti viemäriin. (2) (Kuva 12) Höyrystimessä kylmäaineeseen varautunut energia vapautetaan lauhduttimessa, joka nostaa kuivatun ilman lämpötilaa (3) (Kuva 12). Prosessista vapautuva ilma on lämmintä, ja sen suhteellinen kosteuspitoisuus on alhainen (4) (Kuva 12). Lämmin ja kuiva ilma nostaa ryömintätilan lämpötilaa ja pystyy sitomaan rakenteiden luovuttamaa kosteutta itseensä, mikä mahdollistaa niiden kuivumisen.



Kuva 12. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate (Dantherm 2016).

Ryömintätiloissa käytettävissä kondenssikuivaajissa ei tyypillisesti ole erillisiä putkiliitoksia kostealle ja kuivalle ilmalle. Käsiteltävä ilmavirta imetään koneeseen sen sijoituspaikassa ja vastaavasti kuivattu ilma puhalletaan koneen vastakkaiselta puolelta takaisin kuivattavaan tilaan. Kuivan ilman tasaisen virtaamisen kannalta ryömintätilakäytössä ratkaisu ei ole paras mahdollinen. (Kuivain 2016.)

Osassa kondenssikuivaimia on sisäänrakennettu tai kuivattavaan tilaan asennettava anturi (hygrostaatti), joka ohjaa kuivaimen toimintaa sen sijoituspaikan suhteellisen kosteuden mukaan. Yksinkertaisimmillaan anturiin asetetun raja-arvon saavuttaminen sammuttaa koneen ja vastaavasti suhteellisen kosteuden kohoaminen asetusarvon yläpuolelle käynnistää kuivaimen. Edullisimmissa kuivureissa ei ole anturiohjausta ja kuivauksen aloitusta sekä lopetusta säädellään lähinnä kuivurin kondenssi-veisäiliön veden määrään perustuen. Säiliöstä löytyvän kondenssiveden määrän väheneminen ei aina ole kuitenkaan merkki riittävästä kuivauksen tasosta, koska vaihtuvat olosuhteet vaikuttavat myös kondenssi-veden määrään (Kuivain 2016). Ilman anturiohjausta olevat kuivauskoneet ovat tyypillisesti sisäkäyttöön tarkoitettuja eivätkä näin sovellu ryömintätilan kuivaamiseen.

On myös kuivaajia, joilla on mahdollista kierrättää ilmaa kuivattamatta siitä kosteutta. Kone on tällöin varustettu ohituskanavalla, mikä ohjaa tuloilmavirran höyrystimen ohi lauhduttimeen tai lisälämmityspatteriin. (bypass) (Kuva 12) Ohitettu ilmankuivain toimii tässä tapauksessa ainoastaan ilmankierrätyslaitteena. Kondenssikuivaimia on saatavilla useilla lisäominaisuuksilla eri käyttötarkoituksiin.

Kondenssikuivain soveltuu parhaiten käytettäväksi lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa, jossa sen kosteudenerottelukyky on adsorptio-kuivainta parempi (Kuivain 2016). Ryömintätilan olosuhteet ovat harvoin kondenssikuivaimelle otolliset, joten niiden käyttöä ryömintätilan kuivaajana tulisi välttää. Ongelmaksi ryömintätilassa muodostuu usein myös kondenssiveden poisto.

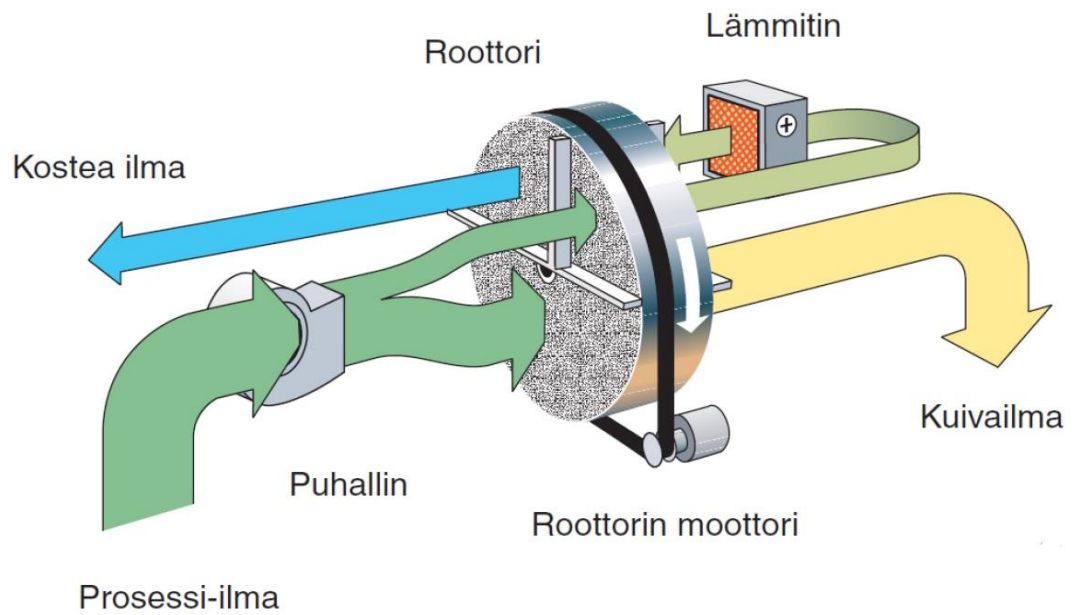
3.4 Adsorptiokuivain

Adsorptiokuivaimen toiminta perustuu välittäjäaineeseen, jolla on kyky sitoa ja luovuttaa nopeasti ilmavirran sisältämää vesihöyryä. Yleisesti käytetty materiaali on keraaminen silica-geeli. Sitä on olemassa useita muunnoksia eri käyttötarkoituksiin, ja se pystyy sitomaan kosteutta itseensä noin 40 % omasta massastaan. (Ryömintätilakuivaus 2016.)

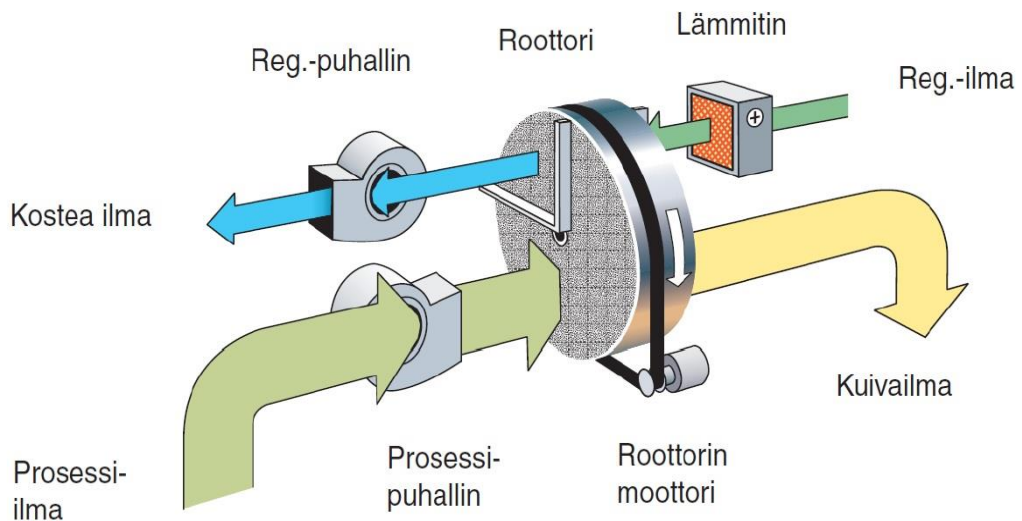
Silica-geeli on kiderakenteinen, ja jokaisessa kiteessä on suuri määrä mikro-koopin pieniä huokosia. Rakenteesta johtuen muodostuu kiteen sisältämä, kosteutta sitova seinämäpinta-ala suureksi. Yksi gramma silica-geeliä voi sisältää jopa 700 m² hyvin vesihöyryä itseensä sitovaa pintaa. (Ryömintätilakuivaus 2016.)

Samoin kuin kondenssikuivaimia on adsorptiokuivaimiakin paljon erilaisia malleja. Niitä on suunniteltu useisiin eri käyttökohteisiin ja olosuhteisiin, joissa on tarvetta ilman kuivaamiseen. Ryömintätilakuivaimissa on käytössä lähinnä kahta rakenneratkaisua. Vaihtoehtona on ottaa tarvittava regenerointi-ilma prosessi-ilmasta (Kuva 13) tai kokonaan omana kanavana, vaikkapa ulkoilmasta (Kuva 14). (Drymon 2016.)

Kuivausprosessi adsorptiokuivaimessa alkaa prosessi-ilman liikuttelusta. Laitepuhallin imee kuivattavan ilman koneeseen, jossa se kulkee silica-geelillä pinnoitetun roottorin läpi. Prosessi-ilmassa oleva kosteus sitoutuu (adsorptio) roottorin pintoihin, joka pyöriessään siirtää kosteuden regenerointi puolelle prosessia. Roottori on pyörivän LTO-kiekon kaltainen, ja sen kierrosluku on sovitettu tehtaalla vastaamaan adsorboivan väliaineen ominaisuuksia (E. Sandberg 2014, osa 2, 142). Regenerointi-ilman lämpötila nostetaan lämmittimessä korkeaksi ja johdetaan roottorin läpi koneen regenerointi-osassa. Roottori luovuttaa (desorptio) pintoihin sitoutuneen kosteuden sen läpi virtaavaan lämpimään ilmavirtaan ja jatkaa taas pyörimistään prosessi-ilman puolelle. Lämmin ja kostea ilma johdetaan normaalisti omaa kanavaa pitkin pois kuivattavasta tilasta. Roottorin läpi kulkenut prosessi-ilma on kuivaa, joten se voidaan johtaa takaisin kuivatettavaan tilaan. (Kuvat 13–14)



Kuva 13. Adsorptiokuivaimen toimintakaavio, jossa regenerointi-ilma otetaan prosessi-ilmasta (Drymon 2016).



Kuva 14. Adsorptiokuivaimen toimintakaavio, jossa regenerointi-ilma otetaan omasta kanavasta, omalla puhaltimella (Drymon 2016).

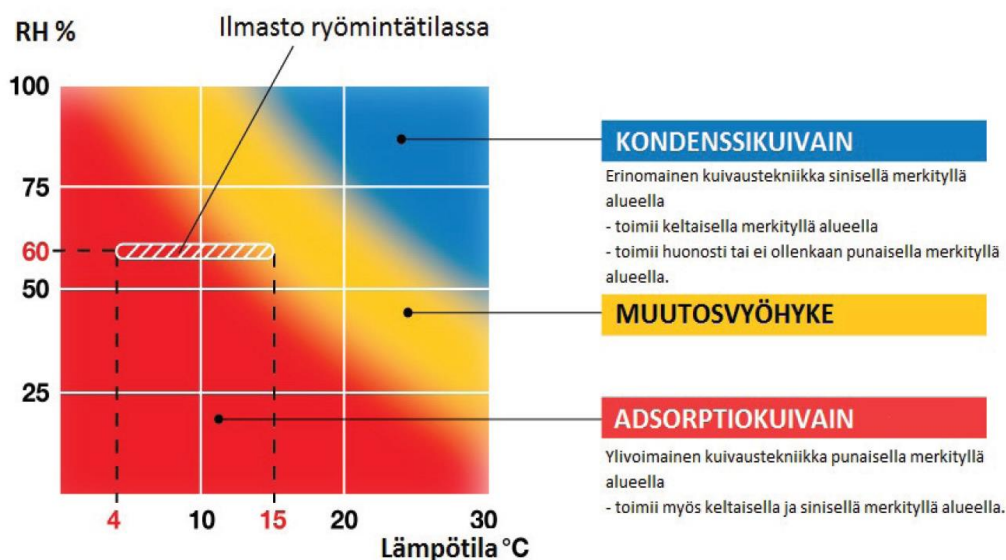
3.5 Käyttö ryömintätilojen kuivatuksessa

Erityyppisiä ilmankuivaimia käytetään ryömintätilojen kosteudenhallintaan niin korjaus- kuin uudisrakentamisessakin. Niiden käyttö juontaa juurensa pitkälti ryömintätiloissa laajamittaisesti esiintyviin kosteusongelmiin. Ilmankuivaimia on alettu asentaa ryömintätiloihin enemmän vasta 2000-luvulla. Nykyisin osa talotöimittajistä varustaa ryömintätilansa jo alusta alkaen kuivauskoneella. Myös isompien kiinteistöjen, kuten koulujen ja päiväkotien, ryömintätiloja suunnitellaan sekä toteutetaan koneellisella ilmankuivauksella.

Aluksi moderneissa ryömintätiloissa esiintyviin kosteusongelmiin reagoitiin nopeasti ja yhdeksi ratkaisuksi ongelmaan keksittiin juuri ilmankuivauskone. Talotehtailta ja muilla korvausvelvollisilla oli kiire löytää ratkaisu nopeasti lisääntyvien reklamaatioiden estämiseksi. Nopeasti ilmenneen tarpeen vuoksi ei ehditty tekemään tarpeeksi taustatyötä, joka monesti johti harhaan kuivauskoneen valinnassa.

Ryömintätiloihin asennettiin hankintahinnaltaan edullisia ja heikkolaatuisia kondenssiperiaatteella toimivia kuivaimia. Kondenssikuivain sai loppukesästä lämmenneen ryömintätilan suhteellista kosteutta alennettua ja kaikki näytti toimivan hienosti. Seuraavana keväänä, ilmojen lämmettyä oli ryömintätilan kosteusprosentti kuitenkin kohonnut jälleen kriittisenpisteen yläpuolelle. Tilannetta tutkittaessa huomattiin, että kondenssikuivain oli joskus jopa jäänyt talvella eikä näin ollen enää kevään koittaessa ollut toimintakunnossa. Kohteissa, joissa ilmankuivain oli selvinnyt talvesta rikkoutumatta, havaittiin kuitenkin myös kohonneita suhteellisia kosteuspitoisuuksia. Talven viilentämän ryömintätilan lämpötila oli alhainen, eikä kondenssikuivaimen kosteudenerottelukyky viileissä olosuhteissa ollut riittävä ryömintätilan ilman kuivaamiseen (Kuva 15). Myös asennuksessa on ollut useasti puutteita, jotka edesauttoivat kondenssikuivaimen toimintahäiriöissä. Kokemusta ryömintätila-asennuksesta ei ollut, ja laitetoimittajien antama tekninen tuki useasti myös rajallista.

Alun ongelmista johtuen ryömintätilan ilmankuivaimiin saatetaan nykyisinkin suhtautua skeptisesti, vaikka positiivisia kokemuksia on laitteiden toiminnasta kertynyt runsaasti.



Kuva 15. Kuivaintyyppien kosteudenerottelukyky ryömintätilan olosuhteissa (ryömintätilakuivaus 2016).

Nykyään markkinoilla olevilla adsorptiokuivaimilla on mahdollista saada ryömintätilaan erittäin kuivat olosuhteet. Sen paras kosteudenerottelukyky osuu juuri ryömintätilassa vallitsevien lämpötilaolosuhteiden alueelle (Kuva 15). Eri laitevalmistajilla on ilmankuivaimia, jotka on suunniteltu juuri ryömintätilojen kosteudenhallintaan. Markkinoilta löytyy kuivauskoneita, jotka on tarkoitettu asennettavaksi itse ryömintätilaan tai ulkoseinustalle suojakatokseen. Ne ovat ruostumattomalla suojakuorella varustettuina säänkestäviä sekä fyysisiltä mitoiltaan kompakteja. (Drymon 2016.)

Asennus ryömintätilaan on yleistä eteenkin korjausrakentamisessa. Kuivauskoneen vaatimaa asennustilaa on vaikea löytää valmiista rakennuksesta, ja meluhaitat jäävät huonetila-asennusta pienemmiksi. Isomman kokoluokan uudisrakennuksissa on ryömintätilan ilmankuivain tyypillisesti sijoitettu rakennuksen tekniseen tilaan. Koneen sijoitus tekniseen tilaan helpottaa koneen huoltamista ja tarkkailua.

Ryömintätilan koneellista ilmankuivausta suunniteltaessa on lähdettävä liikkeelle kuivattavan tilan kosteusolosuhteista sekä pinta-ala- ja tilavuustiedoista. Lähtökohtaisesti on selvitettävä ryömintätilassa vallitseva keskimääräinen suhteellinen kosteusprosentti ja lämpötila. Ryömintätilan tilavuudesta saadaan laskettua ryömintätilan ilmassa lähtötilanteessa oleva absoluuttinen kosteusmäärä. Ryömintätilan rakenteiden ja pohjamaan luovuttamaa kosteuslisää ryömintätilan ilmaan voidaan arvioida haihtumisyhtälöllä (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 22). Haihtumisen aiheuttaman kosteuslisän arvioiminen on monista muuttujista johtuen verrattain hankalaa ja täsmällisen tuloksen saaminen lähes mahdotonta.

Täsmälliseen arvioon rakenteiden ja maapohjan luovuttamasta kosteudesta ei normaalisti ole tarvetta, ja kuivainkone mitoitetaan kuivauskapasiteetiltaan hieman arvioitua tarvetta suuremmaksi. Tyypillisesti kuivauskoneen asentamisen jälkeen ryömintätilan pinnat kuivuvat aluksi nopeasti, jolloin hygrostaatti-ohjatun kuivauskoneen käyntijaksot ovat varsin pitkiä. Pintojen kuivumisen jälkeen kuivuminen hidastuu merkittävästi, jolloin koneen käyntijaksot myös lyhenevät. Rakenteissa syvemmällä oleva kosteus kulkee diffuusion vaikutuksesta kohti pinnassa virtaavaa kuivaa ilmavirtaa, johon se pinnan saavuttaessaan sitoutuu. Diffuusiovirran nopeus on riippuvainen materiaalien hygroskooppisista ominaisuuksista. Massiiviset betonirakenteet kuivuvat hitaammin kuin vastaavat huokoisemmat rakennusmateriaalit. (D.Björkholtz 1990, 40.)

Rakenteiden tuottamaan kosteuslisään tulisi pyrkiä myös vaikuttamaan mahdollisuuksien mukaan rakeenteellisin muutoksin. Kapillaarinen kosteus sokkelirakenteessa ja pohjavesi ryömintätilan maapohjalla kuormittavat kuivauskonetta aiheuttaen energian kulutusta pidentyneiden käyntijaksojen muodossa. Ongelma on suurempi korjauskohteissa. Uudisrakentamisessa kapillaarikatkokerrokset ja eristykset ovat nykyisin yleensä jo hyvin toteutettu. Ulkoilmaa ei ryömintätilaan kuivauskoneen asentamisen jälkeen enää johdeta. Kaikki venttiilit ja mahdolliset ilmavuodot tulee mahdollisimman hyvin tiivistää. Ilman vaihtuvuus suoritetaan hallitusti kuivauskoneen kautta. (ryömintätilakuivaus 2016.)

Koneellisella ilmankuivaimella on mahdollista vaikuttaa ryömintätilan painesuh-teisiin. Tyypillisesti asuntojen lattianrajassa esiintyy korkeuseroista ja koneelli-sesta ilmanvaihdosta johtuvaa alipainetta ryömintätilaan nähden, joka lisää riskiä ryömintätilan epäpuhtauksien kulkeutumiselle sisäilmaan. Kuivainten ilmavirtojen säädöllä voidaan paine-ero minimoida. On kehitetty adsorptiokuivaimia, mitkä selviävät tehtävästä menettämättä kuivaustehoa. (Ryömintätalakuitaus 2016.)

Ryömintätilan kosteudentuoton määrittämisen jälkeen voidaan kuivauskone va-lita valmistajan ilmoittamien kuivaustehojen mukaan. Valmistajilta löytyy tehtä-vään laadittuja diagrammeja sekä nettiselaimella toimivia mitoitusohjelmia. Tun-nettujen valmistajien antamat arvot ovat täsmällisiä ja luotettavia. Kuivauskonei-den kuivausteho ilmoitetaan tyypillisesti kuivattuna absoluuttisena kosteutena ai-kayksikköä kohti (kg/h tai l/vrk).

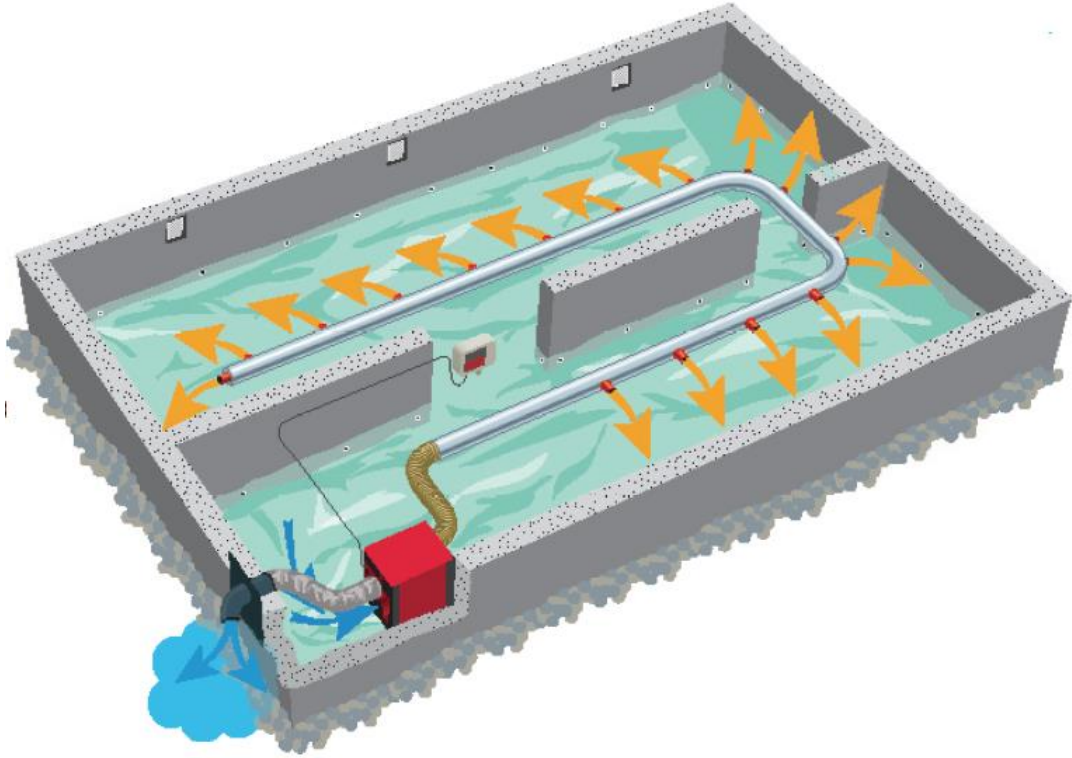
Suunniteltaessa ryömintätilan koneellista kuivausta on tärkeää suunnitella myös ilmavirtojen jakamiseen tarvittavat kanavistot. Kanavamateriaalina voidaan käyt-tää metallia tai muovia. Kuiva ilma jaetaan kanavistoja pitkin tasaisesti koko ryö-mintätilaan. Kanaviston mitoituksen tärkeys korostuu isoissa ja sokkeloisissa ryö-mintätiloissa (Kuva 16).

Tasaisen kuivailmavirran toteutumiseksi on kanavisto varustettava riittävällä määrällä säätöpeltejä sekä päätelaitteita. Päätelaitteilla varmistetaan riittävä kui-vanilman virtausnopeus kuivattavien rakenteiden rajapinnoilla, jotta rakenteiden kuivuminen olisi mahdollisimman tehokasta.

Kuivattava prosessi-ilma otetaan koneeseen joko suoraan tai lyhyellä imuput-kella. Kuivailma joutuu kulkemaan maksimimatkan ryömintätilassa kohti imuilma-kanavaa, ja samalla sitoo rakenteiden luovuttaman kosteuden tehokkaasti it-seensä.

Koneesta poistuva jäteilma on kuumaa ja sen kosteuspitoisuus on erittäin suuri. Jäteilmakanava tulee kondenssi-eristää ja mahdollisuuksien mukaan rakentaa alaspäin viettäväksi. Viileässä ilmassa on mahdollista kosteuden kondensoitumi-nen jäteilmakanavaan, joka kulkeutuessaan kuivauskoneeseen saattaa haitata

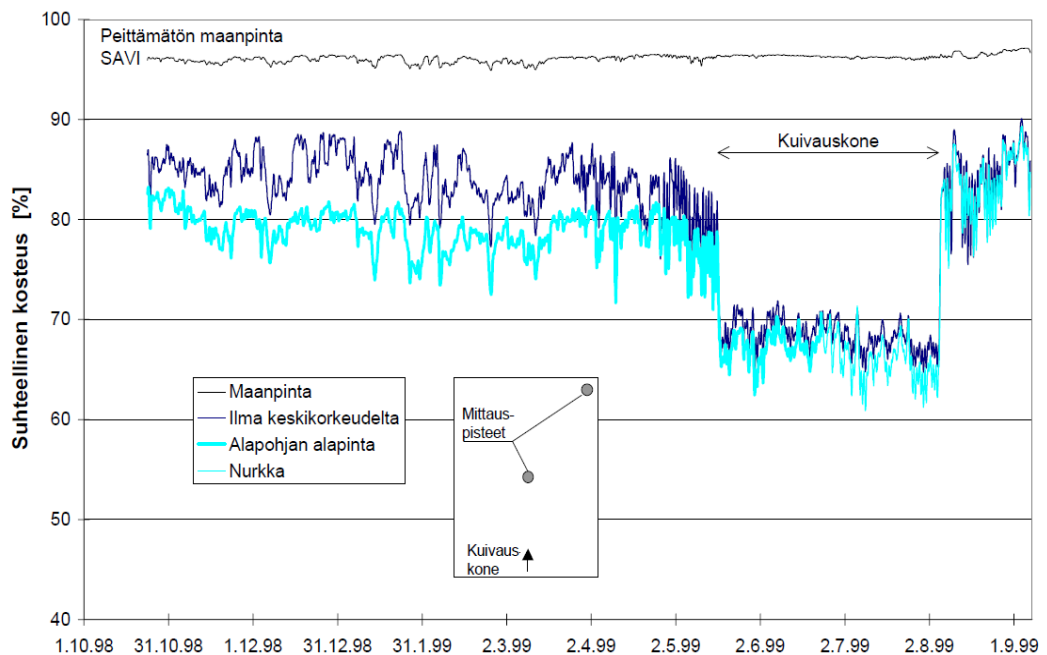
sen toimintaa. Koneissa, joissa regenerointi-ilma otetaan omana kanavana ulkoilmasta, tulee ulkoilmakanava kondenssi-eristää sisätiloissa.



Kuva 16. Kuivan ilman jakoputkiston toteutus ryömintätilassa (ryömintätilakuivaus 2016).

Ryömintätilan kuivauskoneen ohjaus on hyvä toteuttaa hygrostaatilla, mikä asennetaan keskeisesti ryömintätilaan. Hygrostaatti tarkkailee ryömintätilan kosteus sekä lämpöolosuhteita ja tarpeen vaatiessa joko käynnistää tai sammuttaa kuivauskoneen. Hygrostaatti-ohjaus on energiatehokas ohjausmuoto, joka minimoi kuivurin käyntijaksojen pituuden.

Hygrostaattiin on liitettävissä informointijärjestelmiä, jotka mahdollistavat koneen toimintahäiriöiden havaitsemisen sekä kuivaustulosten pitkäaikaisen seurannan. Etänä kosteuskäyttäytymisen seuranta suoritetaan tyypillisesti isommissa kohteissa, omakotitaloissa ei normaalisti ole siihen tarvetta.



Kuvio 2. Ilmankuivauskoneen vaikutukset tutkittavan ryömintätilan kosteusolosuhteisiin (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 19).

Kuvio 2:ssa on selkeästi havaittavissa kuivauskoneen tehokkuus kuivattaessa ryömintätilan ilmaa. Tutkimuskohde on betonirakenteinen ja ryömintätilan pohjamaa on peittämätöntä savimaata. Kohteen ilmankuivain on teholtaan noin 0,5–0,8 kg/h ja tilavuusvirta 140 l/s. Koneen suoritusarvot ovat riittäneet 127 m²:n ryömintätilan suhteellisen kosteuden keskiarvon alentamiseen kesäkuukausina 85 %:sta alle 70 %:iin. Kohteessa ryömintätilan pohjamaa on peittämätön ja kosteusprosentti yli 97 %. Käytännössä pohjamaa on kyllästystilassa, ja kuivauskoneen toimintaa voitaisiin helpottaa huomattavasti pohjamaan eristämällä. (Ryömintätilan kosteus ja mikrobit 1999, 19–20.)

Ilmankuivauskoneen energiankulutus on riippuvainen ryömintätilan kosteustuotosta. Tyypillisesti kuivauskoneen käyntijaksot ovat pitkiä, heti koneen asentamisen jälkeen. Muutamassa kuukaudessa, rakenteiden kuivuessa käyntijaksot lyhenevät ja samalla energiankulutus vähenee. Jos ryömintätilan kosteudentuottoon ei muilla keinoilla pyritä kohteessa vaikuttamaan, tasoittuvat kuivauskoneen käyntijaksot kohteessa vallitsevan kosteustuoton tasolle.

Adsorptiokuivaimen komponenteista lämmitin on suurin yksittäinen energiankuluttaja. Pääsääntöisesti ryömintätilakuivainten regenerointi-ilma lämmitetään sähköenergialla, mutta markkinoilta löytyy myös kaasulämmittimellä ja lämpöpumpulla toimivia kuivauskoneita. (Drymon 2016.) Ryömintätilan kuivattamisen kohdalla energian kulutuksen ja kosteusvaurioista johtuvien haittojen aiheuttamien kustannusten puntarointi on aiheellista.

4 ESIMERKKI KOHTEET

4.1 Kotimäen koulu

Kaarinan kaupungin avustuksella oli mahdollista perehtyä kahteen kiinteistöön, joiden pohjaratkaisuna oli ryömintätilainen alapohja. Molempien kohteiden ryömintätilojen ilmanvaihto ja kosteudenhallinta perustuu koneelliseen ratkaisuun. Kotimäen koulu (Kuva 17) sijaitsee Kaarinassa, Littoisten kaupunginosassa. Koulu on valmistunut kesällä 2005 ja palvelee noin 630 oppilasta (Kaarina 2016). Koulurakennuksen bruttopinta-ala on 6 900 m². Rakennus on perustettu paalujen varaan ja varustettu betonirakenteisella kantavalla välipohjalla.



Kuva 17. Kotimäen koulurakennus (skv 2016).

Koulurakennuksen ryömintätilan ilmanvaihto ja kosteudenhallinta on jo hankesuunnitteluvaiheessa päätetty toteuttaa koneellisesti. Ilmankuivain on sijoitettu sille varattuun tekniseen tilaan, jossa huoltohenkilökunta voi esteettömästi suorittaa tarvittavat huoltotoimet. Sain tutustua huoltomiehen avustuksella kohteen rakenne- ja LVI-suunnitelmiin sekä käydä ryömintätilassa.

Ryömintätilan rakenteet ovat kauttaaltaan sisäpuolelta eristetty EPS-eristyksin ja pohjamaan lämpöeristeenä on arviolta noin 200–300 mm:n kerros kevytsoraa (Kuva 16). Betonirakenteisena voidaan olettaa rakenteiden olevan myös kohtalaisen tiiviitä ja ilmavuotojen vähäisiä.

Ilmankuivauskoneena kohteessa on Munters ML 1350, joka on sisäasennukseen suunniteltu adsorptiotekniikkaan perustuva, mallisarjan suuremman koon kuivain. Ilmankuivaimen maksimiottoteho sähköverkosta on 15,15 kW, josta puhaltimien osuus on 1,65 kW ja regenerointilämmittimen 13,5 kW. Kuivauskoneen kuivattava maksimi-ilmavirta on 1350 m³/h ja kuivauskapasiteetti 80 %:n suhteellisessa kosteudessa 11,5 kg absoluuttista kosteutta (vettä) tunnissa. (Munters 2016.)

Koneen regenerointi-ilma otetaan omaa kanavaa pitkin ulkoilmasta, mikä mahdollistaa ryömintätilan painesuhteiden paremman hallinnan. Koneesta lähtevä kuivailmakanavisto on varsin mittava, johtuen ryömintätilan koosta ja sokkeloisesta rakenteesta. Kuivailman kanavistoa on ryömintätilassa satoja metrejä ja ilmavirtojen säätämiseksi se on varustettu säätöpellein. Kanaviston puhdistamiseksi on asennettu puhdistusluukkuja putkistoon määräväleihin. (Kuva 18)



Kuva 18. Kuvassa vasemmalla on kuivan ilman jakoputkisto, puhdistusluukku ja ulospuhalluskartioita Kotimäen koulun ryömintätilassa.

Kuivan ilman ulospuhallus on toteutettu puhalluskartioilla, joita järjestelmästä löytyy 74 kappaletta (Kuva 18). Puhalluskartiot huolehtivat riittävästä ulospuhallusnopeudesta, joka mahdollistaa kuivan ilman riittävän virtauksen kuivattavilla pinoilla. Ulospuhalluskartion suuaukon läpimitta on 30 mm ja suunniteltu tilavuusvirta on 5 l/s/kartio. Suunniteltu kuivan ilman kokonaisvirtaus ryömintätilaan on siis 370 l/s, joka on käytännössä lähes sama kuin kohteen kuivauskoneen kapasiteetti.

Ilmankuivainta ohjataan ryömintätilaan asennetulla hygrostaattilla, mikä on asetettu pitämään ryömintätilan suhteellinen kosteus alle 60 prosentissa. Arvo on melko alhainen, ja aistimuksiin perustuen ryömintätilan olosuhteet olivat varsin lämpimät ja kuivat.

Kuivauskonetta ei ole kytketty etäjärjestelmiin, ja ohjaus sekä ryömintätilan olosuhteiden havainnointi suoritetaan koneen kyljessä sijaitsevasta, yksinkertaisesta ohjauspaneelistä. Ohjauspaneelistä löytyy hygrostaatin ryömintätilasta lähettämä lukema vallitsevasta suhteellisesta kosteudesta sekä varoitukset oleellisten toimintojen häiriöistä. Ilmankuivaimen kanavista löytyy suodattimet, mitkä suojaavat kuivaimen adsorbointi-pintoja likaantumiselta. Ohjauskeskus mittaa paine-eroa suodattimien yli ja ilmoittaa led-valolla suodattimen vaihtamistarpeen näyttöpaneelissa.

Ilmankuivaimen energiankulutusta kohteessa ei myöskään mitata erikseen. Kohteessa käydessäni arvioin koneen käyttöasteeksi noin 15–20 %. Jos keväistä ajankohtaa pidetään vuotuisena keskitasona, tulisi koneen käyttöajaksi vuositasolla 8760 h/5 eli 1752 h. Koneen mitoitus on lähellä maksimia, josta voidaan olettaa käyttöajan ottotehon olevan myös maksimi eli 15,15 kW. Vuoden energiankulutukseksi saataisiin näillä arvoilla $15,15 \text{ kW} \times 1752 \text{ h} = 26542,8 \text{ kWh}$. Lukema vaikuttaa isolta mutta verrattuna kohteen vuosittaiseen kokonaisenergiankulutukseen, josta oli saatavana mittaustietoa, ei kuivauskoneen vaatima energia vaikutta kohtuuttomalta. Kiinteistön lämmitys tapahtuu kaukolämmöllä mutta valaistuksen, ilmanvaihdon ym. kuluttama sähköenergian määrä on vuonna 2015 ollut 540654 kWh. Ryömintätilan ilmanvaihdon ja kosteudenhallinnan energiankulutus on ollut alle 5 % kiinteistön sähköenergian kulutuksesta.

Energian kulutuksen tarkempi selvitys vaatisi pitemmän ajanjakson seuranta ja esitetyt arviot ovat suuntaa antavia. Kaarinan kaupunki on nähnyt tärkeämpänä terveen koulurakennuksen kuin energiansäästön uutta koulurakennusta rakennuttaessa.

4.2 Ristikallion lastentalo

Toisena esimerkkikohteena on vanhaan Ristikallion kouluun rakennettu, moderni laajennusosa (Kuva 19). Laajennuksen myötä on kiinteistö nimetty Ristikallion lastentaloksi, ja se palvelee päiväkotina sekä 1- ja 2-luokkalaisten oppitiloina. Rakennuksessa eri aikakausien arkkitehtuurit kohtaavat toisensa, minkä onnistumisesta on eriäviä mielipiteitä. Ristikallion lastentalo koostuu vanhasta 1900-luvun alun hirsirakennuksesta ja 1960-luvun kivirakenteisesta koulusta. Nämä kaksi vanhaa rakennusta on liitetty palvelemaan toisiaan elokuussa 2015 valmistuneella kivirakenteisella uudisosalla. Laajennusosa on pohjapinta-alaltaan noin 600 m², ja tiloja on kahdessa kerroksessa.

Uudisrakennusosa on perustettu paalujen varaan, ja kantava välipohja on toteutettu ontelolaatoilla. Välipohjan alla on noin 1,2 m korkuinen ryömintätila, joka pinta-alaltaan vastaa rakennuksen kerrospinta-alaa.



Kuva 19. Ristikallion uuden lastentalon ja vanhan koulurakennuksen liittymäkävätävä (Turunseutusanomat 2016).

Rakennuksen sokkeli on tehokkaasti lämpöeristetty sekä sisäpuolelta että ulkopuolelta suulakepuristetuilla polystyreenilevyillä (XPS 100 mm). Sokkelin eristepaksuudeksi kokonaisuudessa saadaan 200 mm. Rakenneleikkauksesta on nähtävissä, että sokkelipalkin alaosa on eristetty 50 mm:n kerroksella XPS-levyä, joka toimii samalla myös kapilaarikatkona betonirakenteen ja pohjamaan välillä. XPS on monikansallinen lyhenne suulakepuristamalla valmistetuille polystyreenieristeille, joita markkinoidaan useilla tuotemerkeillä. Suomessa tunnetuimpia tuotemerkkejä lienevät Finnfoam ja Styrofoam.

Ryömintätilan pohjamaa on salaojitettu ja tasattu tuh kattomalla kalliosepelillä, jonka päälle on asennettu 70 mm:n XPS-eristelevy. Ryömintätilan pohjamaan eristyksen päälle on levitetty noin 100 mm vastaavaa kalliosepeliä kuin pohjamaan tasaukseenkin on käytetty. Eristyksen päälle levitetyn sepelikerroksen tarkoitusta voidaan vain arvailla, mutta liikkumista ryömintätilassa se ei ainakaan edesauta. Rakennuksen varsinainen alapohjaeristys on sijoitettu kantavan pohjalaatan (ontelolatta) yläpuolelle ja rakenneleikkauksesta luettuna kerros on 200 mm XPS-eristelevyä.

Ryömintätilaa on tyypilliseen tapaan käytetty hyödyksi rakennuksen tekniikka-asennuksessa. Ryömintätilaan on sijoitettu vesi, viemäri ja kaukolämpöputkia, kuten myös sähkö- ja tietoliikennekaapelointeja.

Ryömintätilaa ei ole varustettu sokkelinläpi ulkoilmaan yhdistetyillä tuuletusventtiileillä, vaan tila on kokonaan suljettu ulkoilmasta. Ryömintätilan ilmanvaihto on toteutettu ilmanvaihtokoneella, joka palvelee pelkästään kyseistä tilaa. Ryömintätila on näin ollen rakenteeltaan puhdas lämpöalapohjaratkaisu. Ryömintätila ja pohjamaa on tehokkaasti eristetty ja ulkoilman muuttuvat olosuhteet pyritään taasaamaan koneellisella ilmanvaihdolla.

Ryömintätilan ilmanvaihtokoneena on Vallox 280 SE sähkö/vkl. Ilmanvaihtokone on varustettu sähköisellä etulämmityspatterilla (2,5 kw) sekä nestekiertoisella jälkilämmityspatterilla (5,0 kw). Maksimituloilmavirta koneella on 240 l/s ja poistoilmavirta 290 l/s (Vallox 2016).

Kohteessa nestekiertoista jälkilämmityspatteria ei ole kytketty, joten riittävä tuloilman lämpötila on saatu pidettyä yllä pelkällä etulämmittimellä ja poistoilmasta saatavalla lämpöenergialla. Ryömintätilan tuloilman lämpötilan ei tarvitse olla sisäilman luokkaa, joka selittää huonetilojen tuloilman lämmitystä vähäisemmän lämmitystarpeen. Muita lämmitystarpeeseen vaikuttavia seikkoja ovat ryömintätilan korkeudesta johtuva vähäinen tilavuus sekä huonetilojen lattialämmityksen säteily välipohjan läpi ryömintätilaan.

Ilmanvaihtokoneessa on kaksinkertainen ristivirtaus lämmöntalteenottokenno, jonka vuosihyötysuhteeksi luvataan 54 % (Vallox 2016). Nykyaikainen lämmöntalteenotto on tehokas tapa pienentää ilmanvaihdon lämmityksen aiheuttamaa energiankulutusta. Ryömintätilassa ei ole asumisesta johtuvaa hukkalämpöä saatavilla, kuten huonetiloissa. Ryömintätilaan sijoitetun tekniikan tuottama lämpöenergia saadaan kuitenkin siirrettyä lämmöntalteenotolla tuloilmaan, joka pienentää ostoenergian tarvetta tuloilman lämmittämiseksi.

Ilman jako ryömintätilaan on toteutettu perinteisillä kierresaumaputkilla. Putkisto ei ole yhtä monimuotoinen kuin Kotimäessä, johtuen ryömintätilan avonaisuudesta. Muutama sivuhaaraa on putkistoon kuitenkin jouduttu tekemään ja ne on varustettu järjestelmän tasapainottamiseksi säätöpellein. Putkiston päätylaitteet ovat lähinnä avarretut kartiot, ja ilmasuihkua pidentävää vaikutusta niillä ei ole. Päätelaitteiden tarkoitus on vain jakaa tuloilma kauttaaltaan ulospuhalluspisteessä.

Poistoilma ryömintätilasta otetaan, kuten varsinaisissa ilmankuivaimissakin läheltä konetta. Poistoilma joutuu kulkemaan koko ryömintätilan matkan poistoilmaventtiin, ja sitoo maksimimäärän maapohjasta ja rakenteista haihtuvaa kosteutta itseensä.

Ryömintätilan ilmanvaihtokoneen ohjaus tapahtuu ilman suhteellista kosteutta mittaavien antureiden mittaustietojen perusteella. Raja-arvo ryömintätilan suhteelliselle kosteudelle on asetettu 60 %:iin, jonka ylittyessä koneen puhaltimet lisäävät ilmavirtaa kosteuden alentamiseksi asetusarvon alapuolelle. Varsinaista

ilman kuivaustekniikkaa ei siis ole käytössä, vaan kosteuden hallinta ryömintätalossa perustuu koneelliseen, tarpeen mukaan säätyvään ilmanvaihtoon.

Ryömintätila ja sitä palveleva ilmanvaihtokone on liitetty LON-muuntimen kautta taloautomaatioon, josta on mahdollista seurata ryömintätilan kosteus ja lämpöolosuhteita pitkällä aikavälillä. Ryömintätalosta on myös saatavilla mittaustietoa painesuhteista, jotka ovat luettavissa omana käyränään taloautomaatio datasta (liite 1).

17.3.2016 tarkastellessani ryömintätalaa, olosuhteet vaikuttivat aistinvaraisesti kuivilta. Kalliosepin pinta oli pölykuivaa ja välipohjan alapinnan betonin silmä määräisesti tarkasteltuna vaikutti myös kuivalta. Mittausantureiden digitaal näyttöistä luettuna ryömintätalosta poistettavan ilman suhteellinen kosteus oli 53,7 % ja lämpötila 19,3 °C. Poistoilman olosuhteet vastaavat aistinvaraisia tuntemuksia ryömintätalossa, lämmintä ja kuivaa.

Taloautomaatiosta saatavilla oleva mittausdata alkaa rakennuksen käyttöön otosta 22.7.2015 ja jatkuu 18.3.2016 asti, jolloin mittausajanjakson pituudeksi tulee 208 vrk:tta. Pitkän ajanjakson mittaustuloksia tulkitessa, päädyttiin seuraaviin arvioihin ryömintätilan kosteuskäyttäytymisestä. (liite 1.)

Ryömintätilan lämpötila ja paine-ero opetustiloihin nähden ovat olleet koko mittausjakson ajan hyvin tasaisia. Mittausjaksoon suhteutettu keskilämpötila ryömintätalossa on ollut 19,09 °C ja huojunta 0,48 °C. Puolen asteen eroa voidaan pitää varsin pienenä. Paine-ero ryömintätilan ja opetustilojen välillä on pysynyt hyvin lähellä nollaa. Keskiarvona on ollut 0,4 Pa ja mittausjakson huojuntana 0,51 Pa. Huomattavaa yli- tai alipaineisuutta ei mittaustuloksista ole havaittavissa, joten painesuhteet ryömintätilan osalta vaikuttavat toimivilta. (liite 1.)

Suhteellisen kosteuden osalta on mittaustiedoista havaittavissa mittausajanjakson alussa korkeampia kosteusprosentteja kuin jakson loppupuolella. Osittain arvioin alun korkeampien kosteusarvojen johtuvan uusista rakenteista poistuvasta rakennusaikaisesta kosteudesta.

Vaikka kohteessa on ryömintätilan koneellinen ilmanvaihto ovat suhteellisen kosteuden arvot ryömintätilassa silti osittain myös riippuvaisia ulkoilman kosteudesta. Mittausjakson alku osuu ajanjaksoon jossa ulkoilma sisältää tyypillisesti runsaasti kosteutta, joka ryömintätilan lämpötilasta huolimatta saattaa nostaa tilan suhteellista kosteutta.

Keskitalvella on käyrästössä havaittavissa lyhyt pudotus ryömintätilan kosteusprosentissa, joka johtunee tammikuun pakkasjaksosta. Seuraavan vuoden mitaustulokset antavat paremmat mahdollisuudet tulkita ilmanvaihtokoneen onnistumista ryömintätilan kosteudenhallinnassa.

Kokonaisuudessaan ryömintätilan suhteellinen kosteustaso vaikuttaa hyvältä, keskiarvo on 57,38 % ja huojunta mittausjaksolla 5,99 %. Käyrästössä on kaksi kriittisenpisteen ylittävää (RH 75 %) lyhytaikaista jaksoa, jotka saattavat seuraavan vuoden aikana madaltua. (liite 1.) Kosteuskäyttäytymistä kannattaa jatkossakin seurata mutta uskon ryömintätilan toimivan tulevaisuudessakin hyvin.

5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää moderneissa ulkoilmalla tuuletetuissa ryömintätiloissa esiintyvien kosteusongelmien syitä. Tavoitteena oli myös perehtyä ryömintätiloissa käytettyihin koneellisiin kosteudenhallintaratkaisuihin sekä niissä käytettäviin laitteisiin.

Ulkoilmalla tuuletettuja ryömintätiloja on Suomessa runsaasti ja niissä esiintyviä kosteusongelmia tavataan yleisesti. Riskialttiimpia rakenteita ovat olleet tehokkaasti lämpöeristetyllä, puurakenteisella välipohjalla toteutetut ryömintätilat. Puu on materiaalina herkempi vaurioitumaan kosteudesta kuin vastaavat betonirakenteet.

Kohonneita suhteellisen kosteuden arvoja on mitattu myös betonirakenteisista ryömintätiloista, mutta varsinaiset mikrobien aiheuttamat sisäilmaongelmat ovat niissä harvinaisempia. Betonirakenteisen välipohjan voidaan olettaa olevan tiiviimpi kuin puurakenteisen, ja rakentamisen laadun vaikutukset välipohjan ilmatiiviyteen näkyvät helpommin puurakenteisessa välipohjassa.

Kotimaista tutkimustietoa on ryömintätilan kosteuskäyttäytymisestä saatavilla varsin vähän, ja suurimman osan tutkimuksista on toteuttanut pieni, asiaan perehtynyt tutkijaryhmä. Ruotsalaista tutkimustietoa on myös saatavilla aiheesta ja tutkimuksissa vallitsevat olosuhteet ovat hyvin lähellä meidän vastaavia. Ruotsalaisten tutkijoiden mielipiteet ovat kriittisempiä ryömintätilan ulkoilmallatuulettamista kohtaan kuin suomalaisten. Ruotsalaisiin tutkimustuloksiin on viitattu myös osassa suomalaisia tutkimuksia.

Koneellista ilmankuivausta ja lämpöalapohjaratkaisua voidaan esimerkkikohteiden perusteella pitää toimivana ratkaisuna ryömintätilan kosteudenhallinnassa. Molempien esimerkkikohteiden ryömintätilojen kosteudenhallinta vaikutti toimivalta, joskin Ristikallion lastentalosta ei kohteen uutuudesta johtuen ollut vielä saatavilla ympärivuotisia mittaustietoja. Kotimäenkoulun adsorptio-kuivain on ollut käytössä jo yli kymmenen vuotta ilman ongelmia ja pitänyt ryömintätilan suh-

teellisen kosteusprosentin alle 60 %:ssa. Tutkimuksista on todettavissa samansuuntaisia tuloksia, ja ilmankuivauskone on laskenut tutkittujen ryömintätilojen suhteellisia kosteuspitoisuuksia merkittävästi.

Ryömintätilan koneellisen kosteudenhallinnan varjopuolena on pidettävä teknistä toteutusta, mikä vaatii poikkeuksetta osakseen huoltoa. Huollon laiminlyöminen aiheuttaa laitteissa toimintahäiriöitä sekä lyhentää laitteiston käyttöikää kiinteistöissä. Laitteisto vaatii myös toimiakseen sähköenergiaa, jonka kulutus tulisi ottaa huomioon jo uudisrakentamisen suunnitteluvaiheessa perustustapaa valittaessa.

Koneellinen ilmankuivain on varma ratkaisu ja korjausrakentamisessa usein myös ainoa järkevä ratkaisu ryömintätilan kosteusolosuhteiden parantamiseen. Jälkikäteen rakenteiden muuttaminen on usein hankalaa ja kallista, mikä puoltaa kuivauskoneen investointia ryömintätilaan, käyttökustannuksista huolimatta. Uskoakseni kosteusvaurioista aiheutuvat välittömät ja välilliset kulut ovat moninkertaiset verrattuna ilmankuivainten energiankulutuksesta ja huollosta kertyviin kuluihin.

Omaakohtaiset kokemukset ilmankuivainten käytöstä korjausrakentamisessa perustuvat poikkeuksetta kohteisiin, joiden rakenteet ovat jo vaurioituneet. Ryömintätilojen suhteelliset kosteusprosentit ovat lähennelleet 100 %, ja rakenteita on jouduttu vaihtamaan sekä mikrobikasvustoja polttamaan tai myrkyttämään. Ryömintätilojen kohdallakin on olosuhteiden seurannalla oleellinen merkitys, jotta tilanteeseen voitaisiin puuttua jo ennen suurempien vaurioiden syntyä. Suhteelliseen kosteusprosenttiin, jossa vaurioita alapohjan rakenteisiin alkaa syntyä, on vaikea antaa raja-arvoa. Raja-arvon määrittämisen hankaluus ilmenee hyvin myös eri tutkimuksista sekä laitevalmistajien ohjeista. Oma mielipiteeni asiasta on että vuositasolla hetkittäinen suhteellisen kosteusprosentin kohoaminen ei tuhoa alapohjan rakenteita mutta korkeiden kosteusarvojen ollessa kuukausien mittaisia kannattaa asiaan puuttua. Tilannetta ei välttämättä paranna vaikka kyseessä olisi betonirakenteinen välipohja koska, sisäilmaan kulkeutuneita epäpuhauksia on havaittu myös niiden yhteydessä.

Ryömintätilan kosteuskäyttäytymisestä ja kuivausratkaisuista olisi tarvetta lisätutkimuksille. Kiristyvien energiamäärysten ja uusien rakennusmateriaalien vaikutukset ryömintätilojen kosteuskäyttäytymiseen tulisi selvittää perinpohjaisesti, jotta kosteusongelmilta vältyttäisiin.

LÄHTEET

Alustatilaselvitys Kilterin koulu. 2011. Helsinki: ASB-Consult Oy Ab

Björkholtz, D. 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere: Consulting Ab ja Rakentajain kustannus Oy

Dantherm. Viitattu 10.4.2016

WWW.dantherm.com/gb/dehumidification/selecting-mobile-dehumidifiers/how-does-a-dehumidifier-work/

Drymon. Viitattu 16.4.2016

<http://www.drymon.fi/tuotteet.html>

Hemgren, P. & Wannfors, H. 2012. Uusi pientalon käsikirja. Suom. Kivivalli, L. Täysin uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

Hometalkoot. Viitattu 3.4.2016

WWW.hometakoot.fi/oppaat

Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteustekniiksessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti N:o 159. 2013. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Kaarina. Viitattu 24.4.2016

https://www.kaarina.fi/koulut/kotimaki/koulun_esittely/fi_FI/Esittely/

Koskinen, P. 2016. Opetusvideo kostea ilma ideaalikaasuna. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto/fysiikanlaitos.

Kuivain. Viitattu 10.4.2016

WWW.kuivain.fi/kuivaimet

Malander. Viitattu 7.3.2016

WWW.malander.fi/fuktisol/artikkeleja

Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimusselostus N:o 1706. 2008. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Munters. Viitattu 24.4.2016

https://www.munters.com/globalassets/inriver/resources/products/dehumidifiers/manual_ml2_fi.pdf

Perinnemestari. Rakenteet. Viitattu 30.1.2016

WWW.perinnemestari.fi/perustukset/alapohja.

Portsa. Viitattu 6.2.2016

WWW.portsa.fi/portsan-historiaa.

Rakennettu ympäristö. Viitattu 28.2.2016

WWW.rakennettu ympäristö.fi/arkistohaku/lehti2/2011

RakMK C2 1998. Kosteusmääräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMK D3 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RakMK C4 2003. Lämmöneristys. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RT 81-10486 Pientalon perustamistavan valinta. syyskuu 1992.

RT 81-10854 Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät. syyskuu 2005.

RT 83-11009 Alapohjarakenteita. lokakuu 2010.

Ryömintätilan kosteus ja mikrobit. Raportti B62. 1999. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Ryömintätalakuivaus. Viitattu. 16.4.2016

WWW.ryomintatilakuivaus.fi/esitteet ja materiaalit/Ryömitätalakuivausjärjestelmien esite 2013

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-julkaisut Oy

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry. Viitattu 7.8.2016

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

SKV. Viitattu 7.8.2016

<http://www.skv.fi/alueet/littoinen>

Suomi rakentaa. Viitattu 7.2.2016

WWW.suomirakentaa.fi/valintaopas.

Tieteessä tapahtuu. Viitattu 6.2.2016

WWW.tieteessatapahtuu.fi/006/heinonen.

Turunseutusalanomat. Viitattu 7.8.2016

<http://turunseutusalanomat.fi/2015/12/seinille-kiipeily-sallittu>

Vallox. Viitattu 8.5.2016

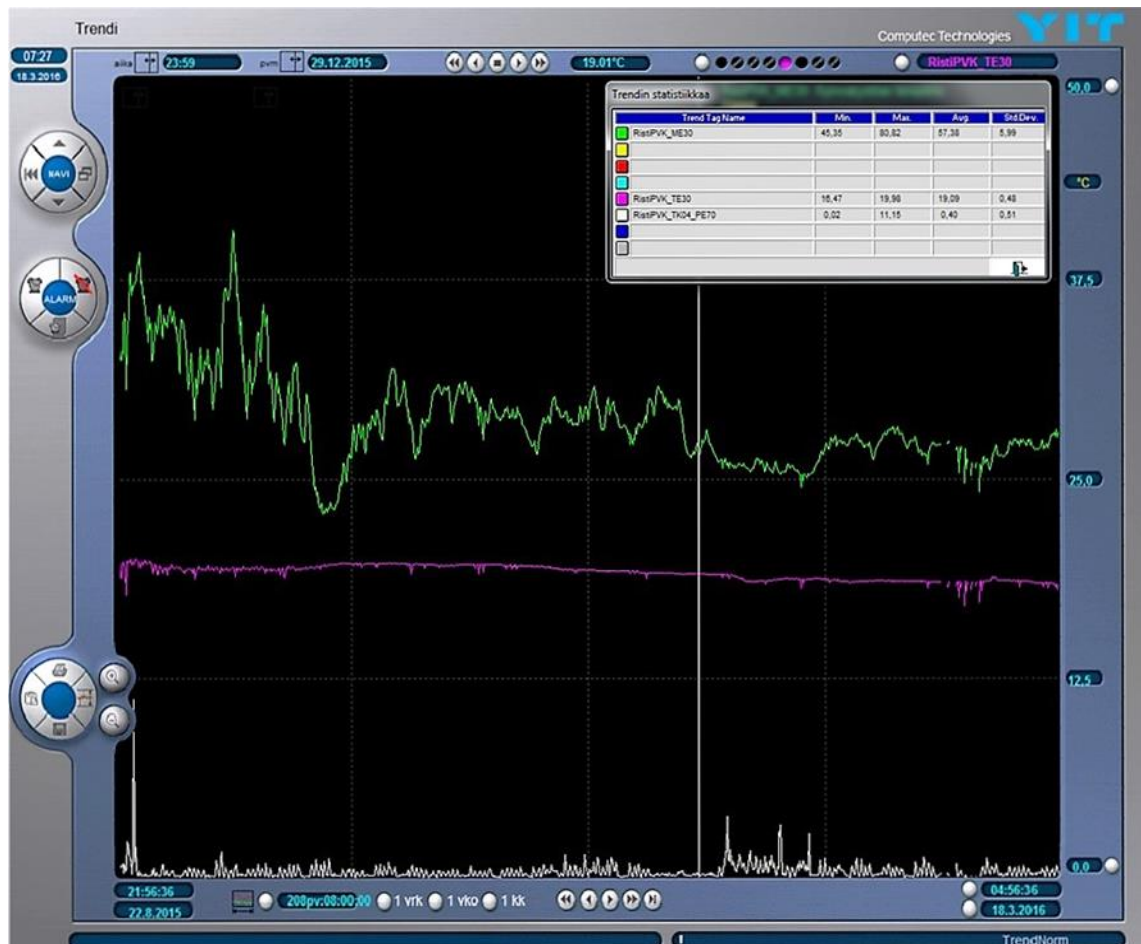
http://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_280_se_sahko_vkl.html

Ristikallion lastentalon ryömintätilan pitkänajanjakson mittaustiedot

Ryömintätilan suhteellinen kosteus (RH %) (ylin, vihreä kuvaaja grafiikassa)



Ryömintätilan lämpötila (°C) (keskimmäinen, violetti kuvaaja grafiikassa)



Ryömintätilan ja opetustilojen välinen paine-ero (Pa) (alin, valkoinen kuvaaja grafiikassa)

