Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio, B
Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering,
Laboratory of Heating, Ventilating and Air Conditioning, B
Espoo 1999

RYÖMINTÄTILAN KOSTEUS JA MIKROBIT

Kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisu

Mikrobit ryömintätilassa ja asunnoissa

RAPORTTI B62

Jarek Kurnitski Pertti Pasanen Miimu Matilainen
Marko Hyttinen Vesa Asikainen

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa testattiin ryömintätilan kosteuden alentamista eri pohjaratkaisulla ja kuivauskoneella sekä mitattiin ryömintätilojen mikrobiologisia oloja. Tutkimuksen tavoitteena oli testata mittauksiin ja simulointilaskelmiin kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisun toimintaa erityyppisissä ryömintätiloissa. Toisena tavoitteena oli ryömintätilan mikrobiologisten olojen määrittäminen ja alapohjan läpi ryömintätilasta sisätilaan kulkeutuvien kaasumaisten hiilivetyjen ja homeitiöiden leviämisreitin selvittäminen. Lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen kenttämittaukset suoritettiin yhteensä kuudessa betoni- ja puurakenteisen kerrostalon ja päiväkodin ryömintätilassa n. 10 kk aikana. Tietokonesimuloinnein tarkasteltiin ilmanvaihdon ja pohjaratkaisujen vaikutusta ryömintätilan kosteuteen. Mikrobi- ja VOC-määritykset tehtiin ilma- ja materiaalinäytteistä talvi- ja kesäaikana.

Kevytsora rajoitti tehokkaasti kosteuden haihtumista maanpinnalta. Käytetyt 10…20 cm kevytsorakerrokset toimivat täydellisenä kapillaarikatkona, kevytsorakerroksen puolessa välissä suhteellinen kosteus oli n. 85% ja kevytsoran pinnalla lähes sama kuin ryömintätilan ilmassa. Kevytsoraratkaisun vertailukohtana käytetty sepeli ei toiminut kapillaarikatkona vaan kosteus nousi sepelikerroksen pintaan, missä oli lähes jatkuvasti yli 90% suhteellinen kosteus. Näin on erittäin tärkeätä, että ryömintätiloissa käytettäisiin oikeanlaatuista sepeliä, pestyä salaojasepeliä, missä ei ole kosteuden nousua aiheuttavaa hienoainesta. Kuivauskoneella voitiin tehokkaasti ja luotettavasti alentaa ryömintätilan kosteutta. Käytetyn kuivauskoneen teho oli riittävä 200 m^2 ryömintätilassa. Kuivauskone pitää asentaa ryömintätilaan niin, että ilman kierto on taattu koko ryömintätilassa.

Hyvin lämmöneristetyn ja puurakenteisella alapohjalla ryömintätilan kosteus oli kesällä korkein, homekasvuston muodostumisen raja-arvojen tasolla. Pelkkä maaperän kosteustuoton rajoittaminen ei ollut riittävä toimenpide, koska ryömintätila oli kesällä hyvin kylmä (13…15ºC) ja ulkoilmasta tuli kosteuslähde. Ryömintätilan suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvot ylittivät kesällä 80%:n tason.

Pohjaratkaisujen vaikutus perustuu tulosten mukaan haihtumisen rajoittamiseen ja massiivisen maan lämpökapasiteetin eristämiseen. Ryömintätila lämpenee kesällä nopeammin, kun sen pohja on lämpöeristetty. Ilmanvaihto 0,5 1/h on lämmityskaudella ja betonirakenteiden tapauksessa ympärivuotuisestikin täysin riittävä. Hyvin lämmöneristetyn puualapohjan tapauksessa, kesäaikaisen lämpötilan nostamiseksi, ilmanvaihtoa tulee lisätä arvoon 3…5 1/h toukokuun alusta syyskuun loppuun asti.

Sieni-itiöpitoisuudet ryömintätilan ilmassa ovat muutamia tuhansia cfu/kuutiometrissä ilmaa, taso on yli kymmenkertainen asunnoissa sallitusta tasosta. Hiilivetypitoisuudet ryömintätilassa ovat alhaisia ja pitoisuustaso on ulkoilmapitoisuuden tasolla. Ryömintätilassa olevat materiaalit sisälsivät runsaasti homesieni-itiöitä. Mitatuissa asunnoissa ja yhdessä päiväkodissa ryömintätilan korkeat mikrobipitoisuudet heijastuivat sisätilan ilman kohonneina pitoisuuksina etenkin talvijaksolla. Koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetut asunnot olivat alipaineisia ryömintätilan verrattuna ja kohonneen mikrobipitoisuuden ilmeisenä syynä oli ryömintätilasta alapohjan vuotojen läpi imettävä korvausilma.

Tutkimuksen 2-vaiheessa selvitetään erityisesti ryömintätilan kesäaikaisen lämpötilan nostamista massiivisen maan ja betonirakenteiden eristämisellä sekä tuuletusta lisäämällä.

ABSTRACT

In the research "Crawl Space Moisture and Microbes" decreasing the humidity in crawl spaces with ground covers and dehumidifier was tested and microbiological conditions were measured. The aim of the study was to test the behaviour of lightweight aggregate (LWA) and crushed stone ground cover and dehumidifier by field measurements and computer simulations. Another objective was to measure microbe-concentrations in crawl spaces and to find out, are the microbes and VOC-s drifted from crawl spaces to apartments by leakage air flows through base floor. Field measurements of temperature and humidity behaviour were carried out during 10 months in six crawl space of apartment building and day care centre with wooden or stone base floor. The effect of air change and ground covers on crawl space humidity was studied by computer simulations. Mould and VOC-concentrations were measured from air and material samples in winter and summer.

LWA reduced effectively ground moisture evaporation. Used layers with 10…20 cm thickness cut the capillary rise completely, in the middle of the layer the relative humidity was about 85% and on the surface almost the same as in the crawl space air. Crushed stone that was used as reference for LWA did not cut the capillary rise, the moisture rose on the surface of crushed stone, where relative humidity was continuously over 90%. Thus, it is extremely important that the proper crushed stone, washed crushed stone without fine fraction, will be used in crawl spaces. The humidity of crawl space was possible to reduce effectively by dehumidifier. Used device was sufficient for the crawl space with 200 m^2 area. Dehumidifier should be installed in the way that air circulation everywhere in the crawl space is brought about.

Relative humidity of the crawl space with wooden well-insulated base floor was in the summer highest, on the level of limit values for mould growth. Reducing humidity by ground cover only was not sufficient measure, since temperature in the crawl space was low (13…15ºC) and outdoor air became act as moisture source. Monthly averages of the relative humidity exceeded the 80%-level in the summer.

The effect of ground cover is based by the results on reducing the evaporation and insulating heat capacity of the massive ground. Crawl space will warm up faster in the summer if ground is insulated. Air change 0.5 ach is fully sufficient in the heating season and in the case of stone-structures over year round. In the case of well insulated wooden base floor, for increasing temperature in the summer, air change has to be increased to 3…5 ach during May-September.

Mould concentrations in crawl spaces were some thousands cfu/m^3, that is more than ten times higher than concentrations accepted in indoors. Materials in crawl spaces showed high fungal contamination. In the measured apartments and in one day care centre the high mould concentrations were reflected as risen concentrations in the indoor air especially in the winter. There were under-pressure compared to crawl space in the apartments equipped with mechanical exhaust ventilation and evident reason for risen mould concentration was intake air sucked from crawl spaces.

Increasing temperature in crawl spaces in the summer by insulating massive ground and constructions and by adding air change rate will be especially studied in the second stage of the research.

ALKUSANAT

Tutkimusraportissa esitetään Tekesin tutkimushankkeen ”Homeen ja kosteuden kulku rakenteissa ja rakennuksessa erityisesti terveydellisten haittojen torjunnan kannalta” 1-vaiheen tuloksia. Ko. hankeen 1-vaiheen tuloksena julkaistaan vielä seuraavat raportit:

- Anne Korpi, Homeiden kasvu rakennusmateriaaleissa, Kuopion Yliopisto
- Miimu Matilainen, Jarek Kurnitski, Ilkka Jerkku, Ryömintätilan ratkaisut ja rakennusfysiikka, TKK:n LVI-laboratorio ja Ins.tsto Mikko Vahanen Oy
- Terveystutkimusraportti, Helsingin Yliopiston Kansanterveystieteenlaitos ja HYKS

Tämä tutkimusraportti on tehty Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorion ja Kuopion Yliopiston Ympäristötieteiden laitoksen välisenä yhteistyönä. Tutkimusryhmään kuuluivat DI Jarek Kurnitski ja DI Miimu Matilainen LVI-laboratoriosta ja FT Pertti Pasanen, FM Marko Hyttinen ja FM Vesa Asikainen Kuopion Yliopistosta. Tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi Prof. Olli Seppänen LVI-laboratoriosta. Jarek Kurnitski on kirjoittanut kenttämittauksia, ym. koskevat luvut 1, 2.1, 3, 7.1 ja 8. Pertti Pasanen on kirjoittanut mikrobiologisia oloja käsittelevät luvut 2.2, 2.3, 4, 5, 7.2, 7.3 ja Miimu Matilainen laskennallisen mallintamisen luvun 6.

Tutkimus on tehty Tekesin Ympäristöterveysohjelman rahoituksella. Tutkimusta ovat rahoittaneet Hesasbest Oy, HOAS, Ins.tsto Mikko Vahanen Oy, Optiroc Oy, Pharmacia&Upjohn AB ja Vantaan kaupunki. Hankeen johtoryhmään kuuluivat Pekka Laamanen Vahaselta (puheenjohtaja), Toimi Niesniemi Hesasbestista (varapuheenjohtaja), Ilmari Absetz Tekesistä, Jouni Hiltunen HOAS:sista, Mikko Pöysti Optirocista, Pekka Wallenius Vantaan kaupungista ja Olli Seppänen Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratoriosta.

Esitän tässä kiitokset rahoittajille sekä tutkimuksen johtoryhmälle ja tutkimusosapuolille moitteettomasti toimineesta ja tuloksia tuottaneesta yhteistyöstä.

Espoossa 6. päivänä lokakuuta 1999

Jarek Kurnitski

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ ... 3
ABSTRACT ... 4
ALKUSANAT ... 5
1 JOHDANTO ... 9
2 TUTKIMUSKOHTEET JA MENETELMÄT ... 10
2.1 Tutkimuskohteet ... 10
2.1.1 Kerrostalo ... 10
2.1.2 Päiväkodit ... 12
2.1.3 Pienkerrostalo ... 13
2.2 Mikrobien määritys ... 15
2.3 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määritys ... 16
3 KOSTEUS- JA LÄMPÖKÄYTTÄYTYMISEN KENTTÄMITTAUSTULOKSET ... 18
3.1 Betonirakenteinen kerrostalo ... 18
3.2 Puurakenteinen päiväkoti 1 ... 25
3.3 Puurakenteinen pienkerrostalo ... 28
4 ILMAN JA MATERIAALIEN MIKROBIPITOISUUDET ... 32
5 HAIHTUVIEN HIILIVETYJEN PITOISUUDET ... 37
6 LASKENNALLISEN MALLINTAMISEN TULOKSET ... 40
6.1 Puurakenteinen päiväkoti ... 42
6.1.1 Ilmanvaihdon merkitys lämpö- ja kosteusolosuhteisiin ... 45
6.1.2 Eri pohjaratkaisujen vaikutus lämpö- ja kosteusolosuhteisiin ... 47
6.2 Betonirakenteinen kerrostalo ... 48
6.2.1 Ilmanvaihdon merkitys lämpö- ja kosteusolosuhteisiin ... 51
6.2.2 Eri pohjaratkaisujen vaikutus lämpö- ja kosteusolosuhteisiin ... 52
7 TULOSTEN TARKASTELU ... 54
7.1 Ryömintätilan lämpö- ja kosteusolot ... 54
7.1.1 Kesäaikaiset kuukausikeskiarvot ... 54
7.1.2 Ratkaisujen toimivuus ... 54
7.1.3 Lämpötekninen toiminta ... 55
7.1.4 Ilmanvaihdon ja pohjaratkaisun vaikutus kosteuteen ... 56
7.1.5 Tutkimuskohteiden korjaustoimenpiteiden riittävyys ... 57
7.2 Ryömintätilan mikrobiologiset olot ... 58
7.3 Ryömintätilan hiilivetypitoisuudet ... 59
8 YHTEENVETO ... 61
LÄHDELUETTELO ... 63

1 JOHDANTO

Ryömintätilaan kosteuteen vaikuttavat oleellisesti kolme tekijä. Ne ovat maaperän kosteustuotto, ryömintätilan lämpöolosuhteet ja ilmanvaihto. Lämpöolosuhteita käsiteltäessä on syytä puhua lämpöhäviöistä ryömintätilaan sekä sieltä ulospäin ja ryömintätilan termisestä massasta. Lämpöhäviöistä ja lämpökapasiteeteistä riippuu mikä on ryömintätilan lämpötila. Ryömintätilan lämpötila on kriittinen tekijä kosteuden kannalta. Jos ryömintätila on merkittävästi kylmempi kuin ulkoilma ryömintätilan kosteus on aina korkea riippumatta asianmukaisesti rajoitetusta maaperän kosteustuotosta ja toimivasta ilmanvaihdosta. Tästä johtuen ryömintätilan lämpö- ja kosteusolosuhteita on tarkastettavaa kokonaisuutena.

Suunnittelulla voidaan vaikuttaa kaikkiin edellä mainittuihin tekijöihin lukuun ottamatta alapohjan lämpöhäviötä, joka ulkoilmalla tuuletetun ryömintätilan tapauksessa on energiatekninen kysymys ja määräytyy rakennuksen energiankulutustason mukaan. Ongelmana on, että kosteustuoton rajoittamisesta, ilmanvaihdon tarpeesta ja ryömintätilaan lämpötekniikan hallinnasta ei ole riittävästi tietoja. Aikaisemmat ryömintätilatutkimukset ovat kyllä antaneet arvokasta tietoa esim. kerrostalojen ryömintätiloista ja eri materiaalien kosteustuotosta, mutta edelleen avoimia kysymyksiä ovat erityisesti hyvin lämmöneristetyllä alapohjalla puurakennusten ryömintätilaratkaisut. Lisäksi tilannetta vaikeuttaa käyttökelpoisten ja yksiselitteisten ryömintätilan suhteellisen kosteuden, lämpöolojen ja mikrobipitoisuuksien ohjearvojen puuttuminen. Ei tiedetä tarkasti minkälainen ryömintätilan kosteus voidaan erityyppisissä ryömintätiloissa hyväksyä, jotta siitä ei aiheutuisi haittaa asukkaiden terveydelle ja rakenteiden kestävyydelle.

Tutkimuksen tavoitteena on testata kenttämittauksiin ja simulointilaskelmiin kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisun toimintaa erityyppisissä ryömintätiloissa. Toisena tavoitteena on ryömintätilan mikrobiologisten olojen määrittäminen ja mahdollisesti alapohjan läpi ryömintätilasta sisätilaan kulkeutuvien kaasumaisten hiilivetyjen ja homeitiöiden leviämisreitin selvittäminen, minkä osoittajana käytetään mikrobimetaboliatuotteiksi tunnettuja yhdisteitä ja eri homesienilajien itiötä. Tutkimus tehtiin betoni- ja puurakenteisissa kerrostaloissa ja päiväkodeissa, yhteensä suoritettiin mittauksia kuudessa ryömintätilassa. Tutkimuksen tuloksena on saatu tietoja kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisun toiminnasta ja mikrobiologisista olosuhteista melko lämpimässä kerrostaloryömintätilassa ja viileässä hyvin lämmöneristetyllä alapohjalla päiväkotiryömintätilassa. Tutkimuksessa kehitettyjä ratkaisuja voidaan käyttää hyväksi uudis- ja korjausrakentamisessa. Tutkimuksen tuloksia hyödynnetään myös suunnitteluohjeita kehitettäessä.

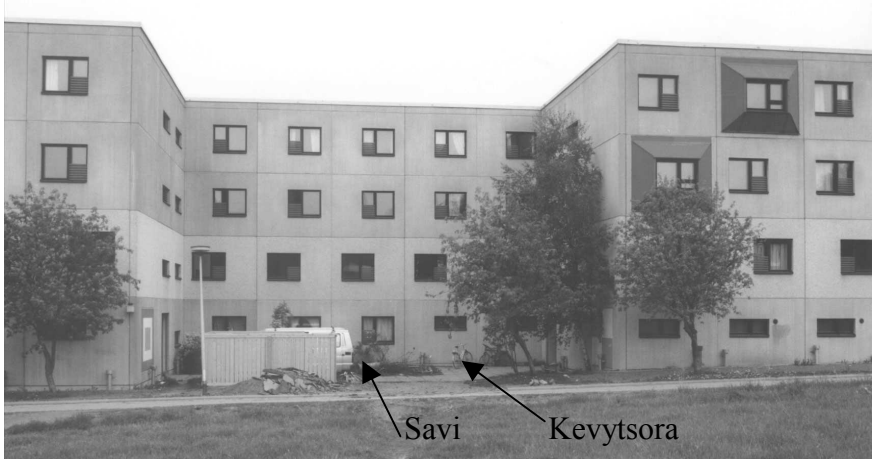
2 TUTKIMUSKOHTEET JA MENETELMÄT

2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteista käytetään jatkossa seuraavia nimityksiä. ***Kerrostalo*** on nelikerroksinen tyypillinen betonirakenteinen elementtikerrostalo. ***Pienkerrostalo*** on puurakenteinen kaksikerroksinen puuelementeistä rakennettu asuintalo. ***Päiväkodit 1 ja 2*** ovat samanlaisia puurakenteisia taloja, joiden rakennustekniikka vastaa hyvin pientaloja.

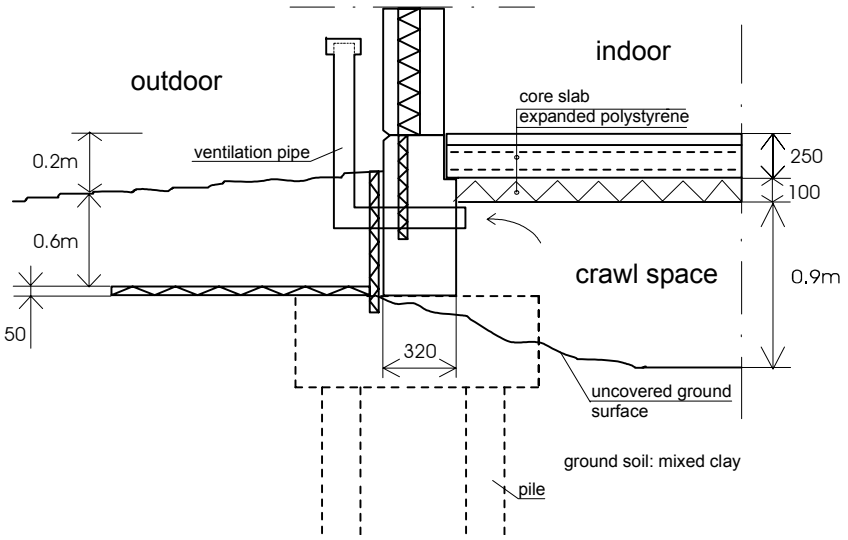
2.1.1 Kerrostalo

Tutkimuskohde on vuonna 1979 valmistunut nelikerroksinen betonirakenteinen asuintalo, jota on vuonna 1997 peruskorjattu, kuva 2.1. Mittaukset on tehty yhdessä talon keskellä sijaitsevassa lamellissa, minkä ryömintätila on jaettu peruspalkilla kahteen osaan. Yhdessä osassa (127 m^2, korkeus 1,1 m) säilytettiin alkuperäinen peittämätön maanpinta (savea) ja toiseen osaan (84 m^2, korkeus 0,9 m) puhallettiin n. 20 cm kevytsorakerros suoraan saven päälle ilman suodatinkangasta. Koska mittaukset tehdään samassa lamellissa, mikä sijaitsee muiden lamellien välissä, ovat tutkittavat ryömintätilat maaperän, geometrian ja mikroilmastollisten reunaehtojen osalta mahdollisimman samanlaiset. Ryömintätiloja erottava peruspalkki tiivistettiin ennen mittausten aloittamista.



Kuva 2.1 Tutkittava kerrostalon lamelli kahden muun lamellin välissä

Rakennuksessa on paaluperustus ja kantava alapohja – peruspalkeille tuetut ontelolaatat. Tutkimuskohteen ryömintätilan leikkaus on esitetty kuvassa 2.2. Alapohjassa on ontelolaatta, jonka alapuolella on tehtaalla liimattu 10 cm styrox-eriste. Ryömintätilan pohja on painunut; joistakin paikoista peruspalkin ulkopuolella oleva styrox-levy (5 cm) on näkyvissä. Ryömintätilan pohja on savea ja silttiä, vain rakennuksen pituussuuntaisten seinien vieressä kulkevien salaojien (ryömintätilan sisällä) kohdalla on n. 1-1,5 m levyinen salaojitussepelin kaista.



Kuva 2.2 Kerrostalon ryömintätilan leikkaus

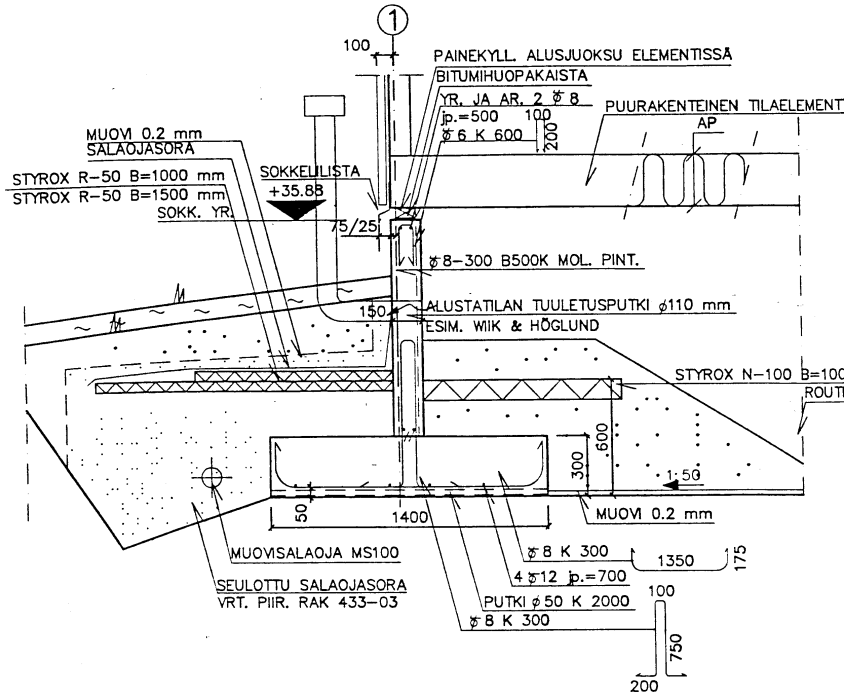
Ryömintätila on luonnollisesti tuuletettu tuuletusputkilla, joiden sisähalkaisija on 125 mm. Kevytsorapuolella (84 m^2) on 6 ja savipuolella (127 m^2) 8 tuuletusputkea. Putket lähtevät ryömintätilasta peruspalkin läpi ja nousevat sen jälkeen maanpinnalle. Vaakasuoran osan pituus on 60 cm ja pystysuoraan osan pituus on 100 cm. Putken yläpäässä (hatun alla) on verkko. Hatun läpimitta on 220 mm ja korkeus 120 mm. Näin tuuletusputken ja hatun väliin jää joka puolelta 45…50 mm. Tämäntyyppisen tuuletusputken painehäviökäyrät on mitattu tutkimuksessa (Kurnitski, ym. 1999). Tuuletusputken painehäviötä [Pa] voidaan kuvata kertavastuksella $\xi = 12$, eli $\Delta P = 12\rho v^2/2$, missä ρ on ilman tiheys 1,2 kg/m^3 ja v nopeus tuuletusputkessa [m/s], minkä poikkipinta-ala on laskettu halkaisijasta 125 mm. Vaihtoehtoisesti tuuletusputken virtausvastusta voidaan esittää vapaan pinta-alan avulla, eli korvaamalla tuuletusputki vapaalla pyöreällä aukolla, jonka paine-häviö on yhtä suuri. Tällä esitystavalla tuuletusputken pinta-alan pienennyskerroin on 0,15 (esim. säleikköjen pienennyskerroin on 0,3…0,6), eli 125 mm tuuletusputki vastaa 50 mm vapaata pyöreätä aukkoa. Tuuletusputket talon ulkopuolelta katsottuna on esitetty kuvassa 2.3.

Kuva 2.3. Ryömintätilan tuuletusputket

2.1.2 Päiväkodit

Päiväkodit ovat 1-kerroksisia ja puurakenteisia vuonna 1989 rakennettuja, kuva 2.4. Päiväkodissa 1 tehtiin rekisteröivät lämpötilan ja kosteuden mittaukset ja päiväkodissa 2 vain kertamittauksia. Taloissa on anturaperustukset ilman sokkelihalkaisua ja hyvin lämmöneristetty alapohja. Rakenneleikkaus on esitetty kuvassa 2.5. L-muotoisen rakennuksen ryömintätila jaettiin päiväkoti 1:ssa kahteen osaan, joista ensimmäisen puhallettiin kevytsora ja toiseen sepeli. Molempien osien maanpinnalle asennettiin ennen puhallusta suodatinkangas.

Kuva 2.4. Päiväkoti 1 sisäpihan puolelta katsottuna



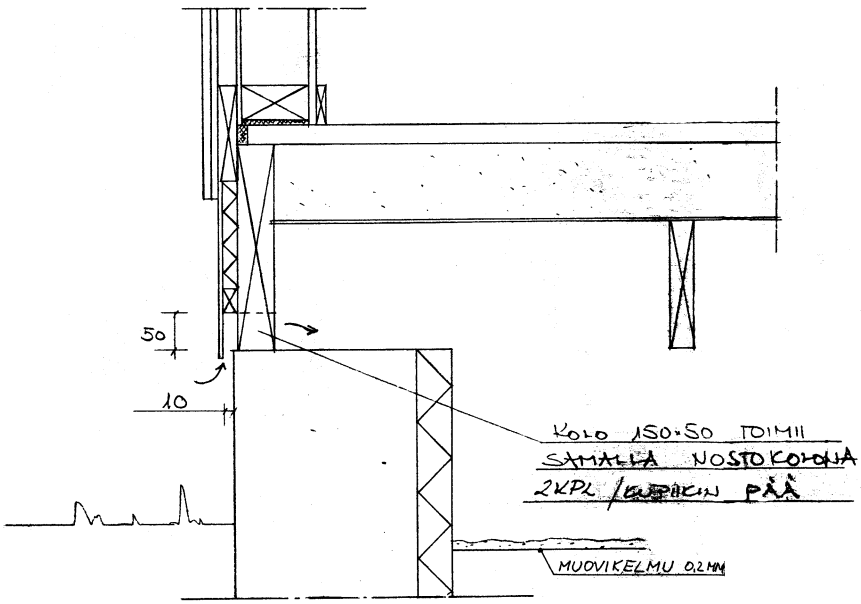
Kuva 2.5. Päiväkodin 1 ryömintätilan sokkelileikkaus

Ryömintätila on koneellisesti tuuletettu katolla sijaitsevilla huippuimureilla. Niin kevytsora- kuin sepelipuolella on oma poisto. Korvausilma saadaan lukuisten tuuletusputkien kautta, joiden halkaisija on kuvassa 2.5 esitetystä poiketen 80 mm.

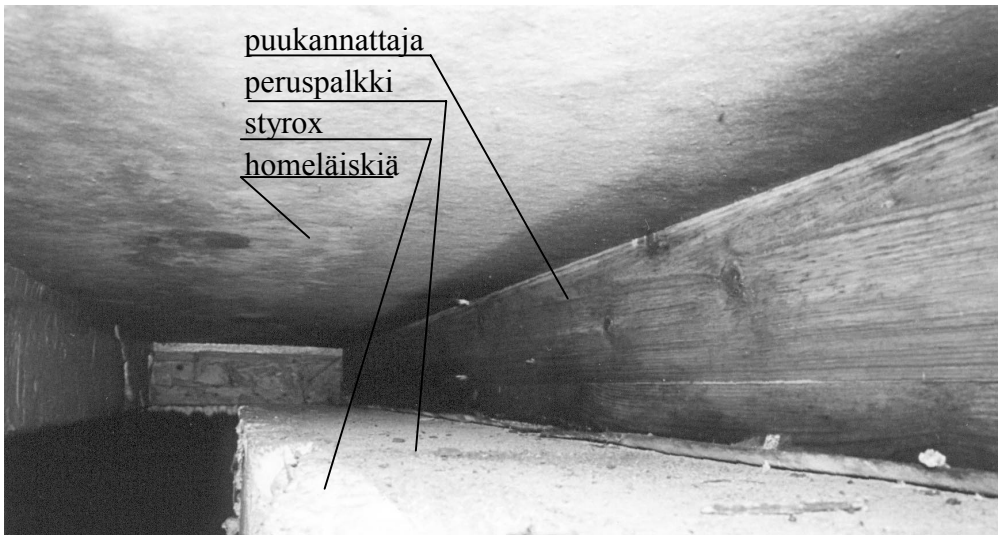
2.1.3 Pienkerrostalo

Pienkerrostalo on 2-kerroksinen puurakenteinen paalutettu elementtirakennus, kuva 2.6. Alapohjan puupalkisto on tuettu rakennuksen pituussuuntaisille peruspalkeille. Peruspalkit on lämmöneristetty ryömintätilan puolelta, joten alapohjakannattajien päät ovat talviaikana erittäin epäedullisissa olosuhteissa kylmän peruspalkin päällä, kuva 2.7 ja 2.8. Kohteen ryömintätilassa on maanpinta aikanaan peitetty muovilla, jonka päällä on n. 5 cm hiekkakerros. Ryömintätilan on ajoittain valunut vettä ja hiekka oli tutkimuksen alussa täysin märkä. Rekisteröivän lämpötilan ja kosteuden mittauksen tarkoituksena oli seurata hiekan ja koko ryömintätilan kuivumista juuri valmistuneen sadevesien poistojärjestelmän ja salaojien korjauksen vaikutuksesta.

Kuva 2.6. Pienkerrostalon valokuva



Kuva 2.7. Pienkerrostalon sokkelileikkaus. Kuvassa olevat puukannattajat on tuettu ristiin kulkeviin palkkeihin, jotka siirtävät kuorman peruspalkeille.



Kuva 2.8. Valokuva ryömintätilasta. Peruspalkin päällä oleva puukannattaja oli talvella täysin märkä.

Ryömintätila on suunnitelmien mukaan luonnollisesti tuuletettu reunimmaisiin kannattajiin tehdyillä 5*15 cm kolojen kautta, joiden avulla on saatu suunnitelmien mukaan 1,5 promillen tuuletusaukkopinta-ala. Käytännössä ilmavirtaus joutui kulkemaan 1 cm levyisen raon kautta ja ilmanvaihto tuntui olevan varsin alhainen.

2.2 Mikrobien määritys

Tutkimuskohteissa otettiin ilmanäytteitä sekä ryömintätilasta että sisätilasta. Mittaukset tehtiin talvella kylmällä jaksolla (25-27.1. 1999) ja ne toistettiin keväällä (17-19.5. 1999) lumien ja maan sulamisen jälkeen. Taulukossa (2.1) on esitetty eri kohteista tehdyt mittaukset.

Taulukko 2.1. Tutkimuskohteet ja niistä tehdyt mittaukset. VOC = haihtuvat hiilivedyt, MVOC mikrobimetaboliatuotteet.

Kohde	Tila	Analysoidut näytteet				
		Kemialliset analyysit			Mikrobiologiset analyysit	
		VOC	MVOC	karbonyyli-yhdisteet	ilmanäytteet	materiaali-näytteet
Kerrostalo	Sisätila	x	x	x	x	
	Kevytsora, ryömintätila	x	x	x	x	x
	savi, ryömintätila	x	x	x	x	x
	ulkoilma	x	x	x		
Pienkerrostalo	sisätila	x	x	x		
	ryömintätila	x	x	x	x	x
	ulkoilma	x	x	x		
Päiväkoti 1	sisätila	x	x	x	x	
	sepeli, ryömintätila	x	x	x	x	x
	savi, ryömintätila	x	x	x	x	x
	ulkoilma	x	x	x		
Päiväkoti 2	sisätila	x	x	x	x	
	ryömintätila	x	x	x	x	x
	ulkoilma	x	x	x		

Ilman mikrobipitoisuuden määritys

Sisä- ja ryömintätilan ilman elinkykyisten mikrobien pitoisuus määritettiin impaktorimenetelmällä. Menetelmä soveltuu ilman mikrobipitoisuuksien määrittämiseen tiloissa ja tilanteissa, joissa pitoisuudet ovat korkeintaan luokkaa 10^4 CFU/m^3 (esim. asuin- ja elinympäristöön kuuluvat sisätilat ja ulkoilma) (Andersen, A., 1958, STM ohje 1997, Dillon, H. ym. 1996). Homesienipitoisuus määritettiin 2% -mallasuute- ja dikloran 18%-glyserolalustoilta ja bakteeripitoisuus määritettiin tryptoni-hiivauute-glukoosialustalta. Kussakin kohteessa otettiin kaksi peräkkäistä näytettä ensin sisätiloista ja sen jälkeen ryömintätilasta. Talvijaksolla ulkoilmanäytteitä ei otettu maljojen jäätymisen takia. Näytteenkeräysaika oli 10 min, jolloin laskennallinen määritysraja on 3,5 pesäkkeen muodostavaa yksikköä kuutiometrissä ilmaa (CFU/m^3). Näyte kerättiin ja analysoitiin Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen menetelmäohjeen STL 6 mukaisesti.

Materiaalien mikrobipitoisuuden määritys

Mikrobikasvuston esiintymistä rakenteissa selvitettiin ottamalla ryömintätilan materiaaleista näytteitä kohdista, missä materiaalin ajoittainen tai jatkuva kostuminen oli todennäköistä. Näytteitä kerättiin puu-, levy- ja eristemateriaaleista ryömintätilan ylä- tai alaosasta. Pientaloissa näytteet kerättiin sisärakenteiden kosteusvaurioituneista kohdista.

Mikrobimääritystä varten näytepalat homogenoitiin ja otettiin edustava 1 g painoinen osanäyte, jota uutettiin ultraäänihauteessa 15 min. Uuttoliuoksen määrä mitoitettiin vastaamaan 1:10 tai 1:100 laimennussuhdetta. Saadusta suspensiosta viljeltiin laimennussarja (10^{-1}-10^{-4}) samoille alustoille, joita käytettiin myös ilmanäytteiden analysoinnissa. Sieni-itiöpesäkkeiden lukumäärä laskettiin 7 vrk ja aktinomykeettipesäkkeiden lukumäärä 14 vrk:n kasvatuksen jälkeen. Sienet tunnistettiin lajitasolle. Pitoisuudet laskettiin materiaalin kuivapainoa kohti (CFU/g kuiva-ainetta) Määrityksessä noudatettiin Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen menetelmäohjetta STL5. Ohjeesta poiketen vertailunäytteitä ei kerätty. (Pasanen, A.-L ym.1992, Dillon, H. 1996, STM ohje 1997).

2.3 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määritys

Haihtuvien hiilivetyjen määritys

Haihtuvat hiilivety-yhdisteet (VOC) kerättiin Tenax GR adsorbenttiin ryömintätilan yläpuolisesta sisätilasta, ryömintätilasta ja ulkoilmasta. Ilman tilavuusvirta näytteenkeräimen läpi rajoitettiin n. 200 ml/min ja keräysaika oli 50 min. Näytteet kerättiin kahtena rinnakkaisena. Näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen injektoinnissa termaalista desorptiotekniikkaa ja detektorina massaselektiivistä detektoria. Toinen rinnakkaisista näytteistä analysoitiin ns. scan tekniikalla, mikä mahdollistaa kokonaispitoisuuden määrityksen ja yhdisteiden tunnistuksen. Toinen rinnakkaisista putkista analysoitiin SIM

tekniikalla, missä haettiin mikrobimetaboliasta peräisin olevia yhdisteitä (Sunesson ym. 1992, Sunesson ym 1995, Pasanen ym. 1996). Yhdisteiden kvantitoinnissa käytettiin sisäisenä standardina 1-kloorioktaania. Analyysit on kuvattu tarkemmin Kuopion yliopiston menetelmäohjeissa STL 18 ja STL 29.

Karbonyyliyhdisteiden määritys

Aldehydi- ja ketoninäytteet kerättiin samoista näytteenottopisteistä kuin VOC yhdisteetkin. Näytteet kerättiin dinitrofenyylihydratsiini -patruunoihin 1,3 l/min tilavuusvirralla n. 80 min. Näytteet uutettiin ennen analyysiä asetonitriilillä ja analysoitiin nestekromatografilla. Standardit valmistettiin kiinteistä dinitrofenyylihydratsoneista (Kuwata ym. 1979, Kuwata, ym. 1983, Grimaldi ym. 1993). Tarkempi kuvaus analyysistä on Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen menetelmäohjeessa STL 19.

3 KOSTEUS- JA LÄMPÖKÄYTTÄYTYMISEN KENTTÄ-MITTAUSTULOKSET

Tutkimuskohteissa mitattiin jatkuvin mittauksin suhteellista kosteutta ja lämpötila Vaisalan HMP44L antureilla. Kevytsoraryömintätiloissa mittauspisteet olivat 15…20 cm paksun kevytsorakerroksen puolessa välissä, kevytsoran pinnalla ja ryömintätilan ilmassa keskikorkeudella. Muissa ryömintätiloissa mittauspisteet olivat maanpinnalla, ilmassa keskikorkeudella ja alapohjan alapinnassa. Kuivauskonejaksojen aikana käytettiin useampia mittauspisteitä ryömintätilan eri paikoissa. Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin kerrostalon ja päiväkoti 1:n länsijulkisivulta tuuletusputkien korkeudelta.

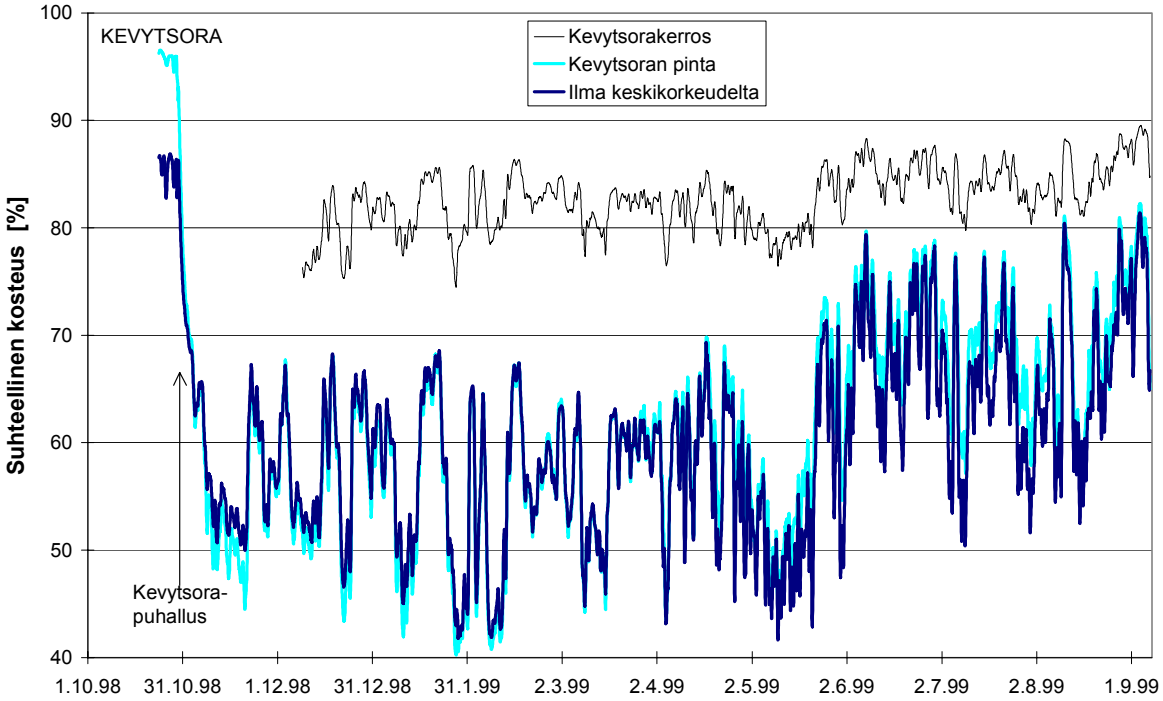
Ilmanvaihto kerrostalon kevytsora-ryömintätilassa määritettiin tuuletusputkien yli jatkuvasti mitattavan paine-eron perusteella, joka mitattiin Furness FCO 44 ± paine-erolähettimillä. Päiväkodeissa arvioitiin ilmanvaihtoa poistopuhaltimien ilmavirtojen perusteella, mitkä mitattiin kertamittauksina anemometritorvilla.

3.1 Betonirakenteinen kerrostalo

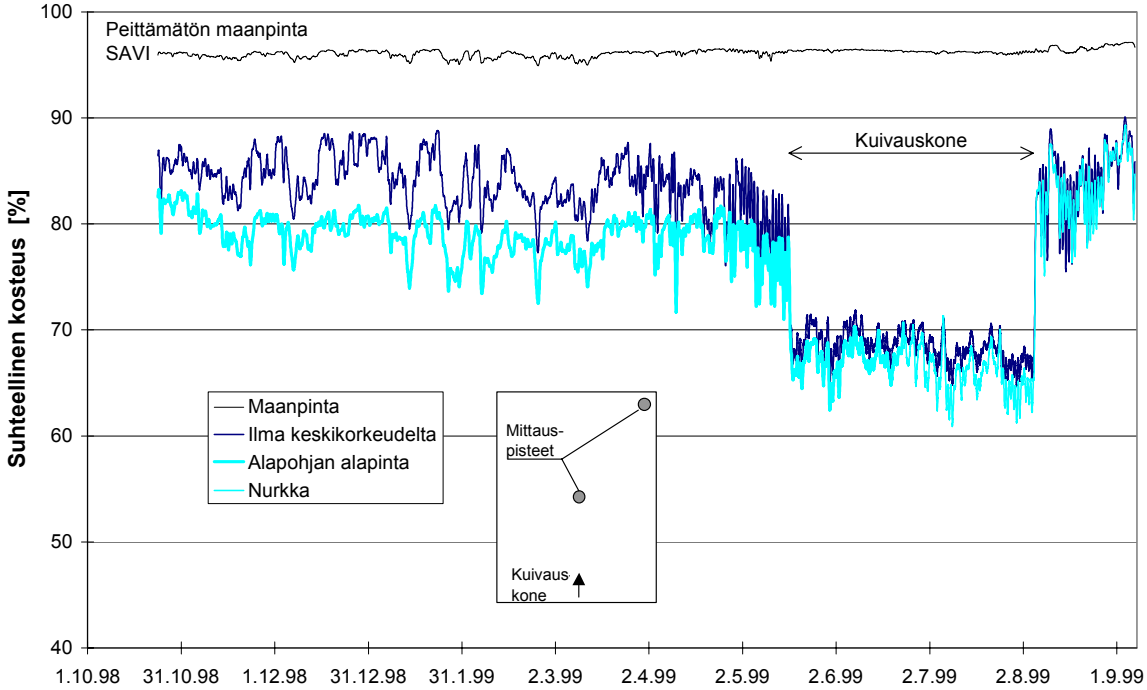
Mittaukset aloitettiin n. viikko ennen kevytsoran puhallusta, 23.10.1998. Kevytsora puhallettiin 29.10.1998. Ryömintätila toisessa osassa, joka on kevytsorapuolesta erotettu tiivistetyllä peruspalkilla ei ole tehty mitään muutoksia. Tutkimuksen (Kurnitski ym. 1999) perusteella tiedettiin, että molemmat kyseiset ryömintätilat käyttäytyvät samalla tavalla ja ovat vertailukelpoisia.

Kevytsoraryömintätilan suhteellinen kosteus on esitetty kuvassa 3.1. Kuvan luettavuuden parantamiseksi on käytetty 12 tunnin liukuvia keskiarvoja. Jatkossa liukuvan keskiarvon periodin pituus on merkitty lyhyesti jokaiseen kuvatekstiin (tässä 12 h k.a.).

Puhalletun kevytsoran kosteuspitoisuus oli 2,8 paino%. Kevytsora kuivui nopeasti, noin kahden viikon kuluttua sen kosteuspitoisuus oli tasoittunut arvoon 0,2 %, mikä pysyi vakiona koko tutkimusjakson aikana. Kevytsorapuhalluksen jälkeen ryömintätilan ilman suhteellinen kosteus aleni noin viikossa 85% tasolta n. 60% tasolle, missä se pysyi talven ja kevään aikana. Kesällä ryömintätilan kosteuden kuukausikeskiarvot olivat 69%, 64% ja 66%, ½-tunnin keskiarvot kohosivat hetkellisesti yli 80%. On merkittävää, että kevytsorakerroksesta mitattu kosteus oli 80…85% tasolla ja kevytsorapinnan kosteus lähes sama kuin ilman kosteus.



Kuva 3.1. Kevytsoraryömintätilan suhteellisen kosteuden 12-tunnin liukuvat keskiarvot.

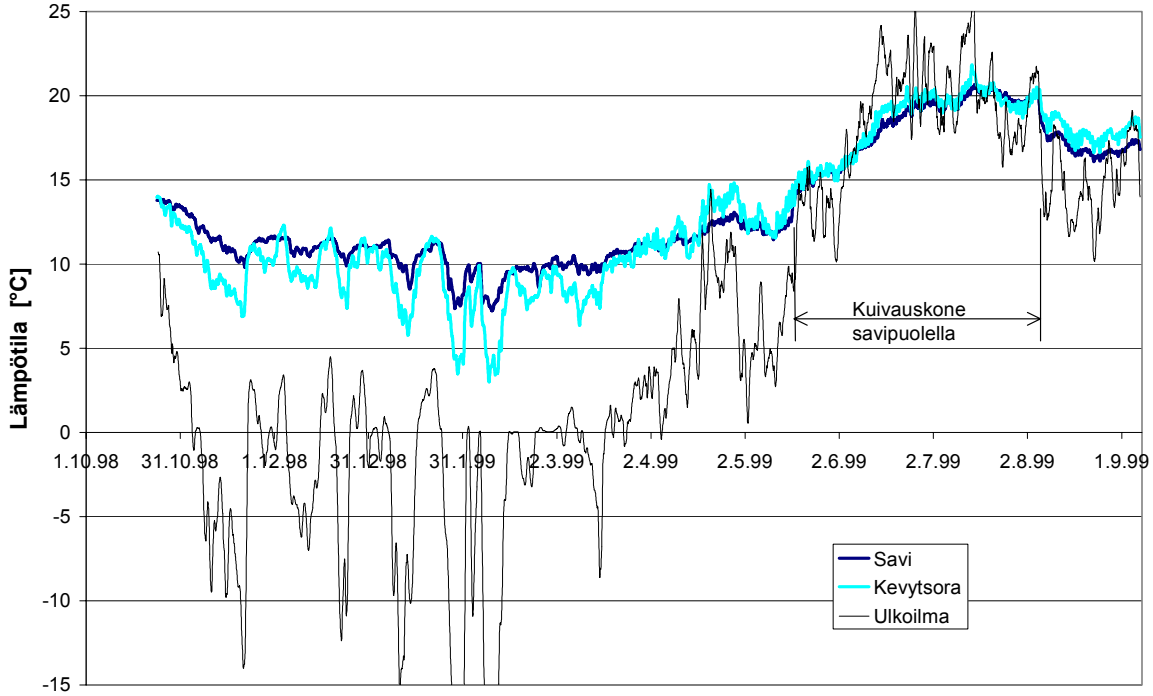


Kuva 3.2. Suhteellinen kosteus peittämättömän maanpinnan ryömintätilassa (12 h k.a.).

Peittämätön maanpinnan ryömintätilassa suhteellinen kosteus on ollut varsin korkea, kuva 3.2. Maanpinta oli jatkuvasti kylläisessä tilassa (97%:n lukema on mittausalueen yläraja ja tarkoittaa käytännössä 100%) ja ilman kosteus kuivauskonejaksoa lukuun ottamatta oli n. 85% keskikorkeudelta mitattuna sekä ja n. 80%. katosta mitattuna. Kesäaikaisen kuivauskonejakson aikana ryömintätila kuivui merkittävästi, jakson lopussa kosteus oli alle

70%. Kuivauskonejakson keskellä (23.6.99) alapohjan alapinnan mittauspiste sijoitettiin ryömintätilaan kauempaan nurkkaan. Kosteus oli lähes sama niin ryömintätilan keskeltä kuin nurkasta mitattuna. Tämä osoittaa, että yksi kuivauskone, jonka kuivausteho oli 0,5…0,8 kg/h ja tilavuusvirta 140 l/s on saanut aikaan 127 m^2 ryömintätilan ilman täydellisen sekoittumisen.

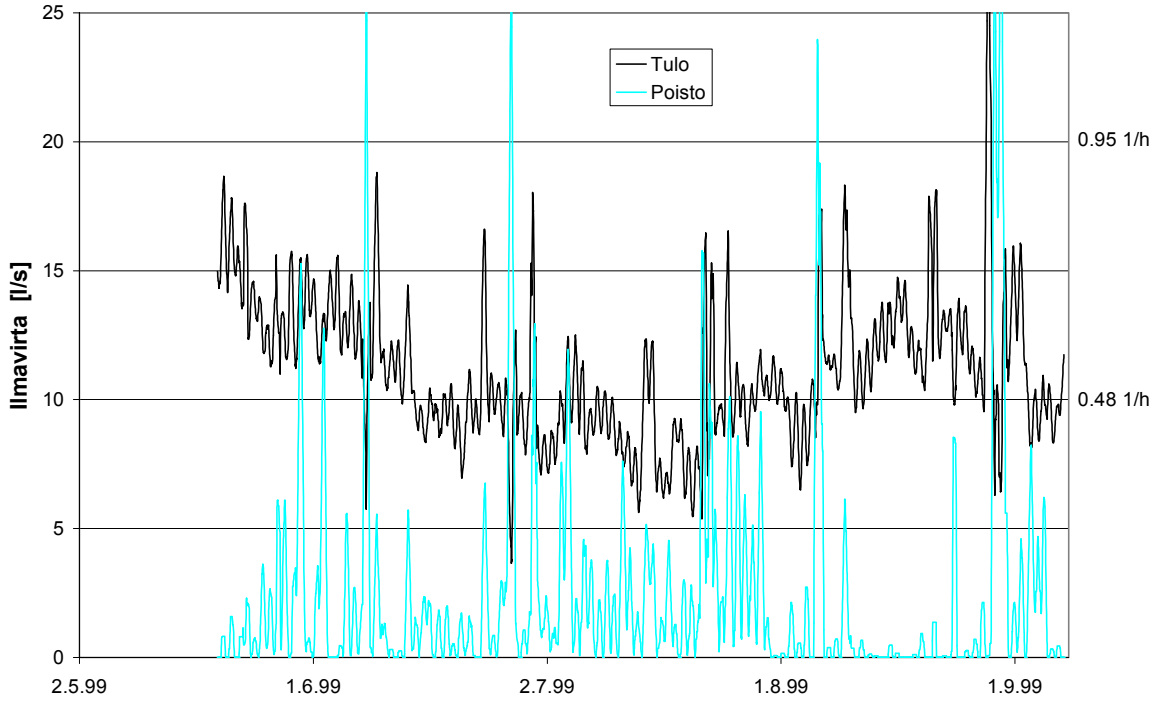
Ryömintätilojen lämpötilat on esitetty kuvassa 3.3. Ennen kevytsorapuhallusta ryömintätiloissa oli lähes sama lämpötila. Kevytsorapuhalluksen jälkeen nähdään lämpökapasiteetin vaikutus: pakkasilla kevytsoraryömintätila on viileämpi, mutta keväällä se lämpene nopeammin ja kevät- ja kesäaikana se on lämpimämpi. Kuivauskonejakson aikana tämä ero ei ole nähtävissä, koska kuivauskone myös lämmittää ryömintätilaa. Ryömintätilojen lämpötilataso on merkittävän korkea, talvella lämpötila on reilusti yli nollan ja kesällä saavutettiin yli 20ºC lämpötila. Korkea lämpötilataso johtuu alapohjan ja kaukolämpöputkien lämpöhäviöistä sekä sokkelin lämmöneristeistä, joiden ansiosta ryömintätila ei jäähdy talvella.



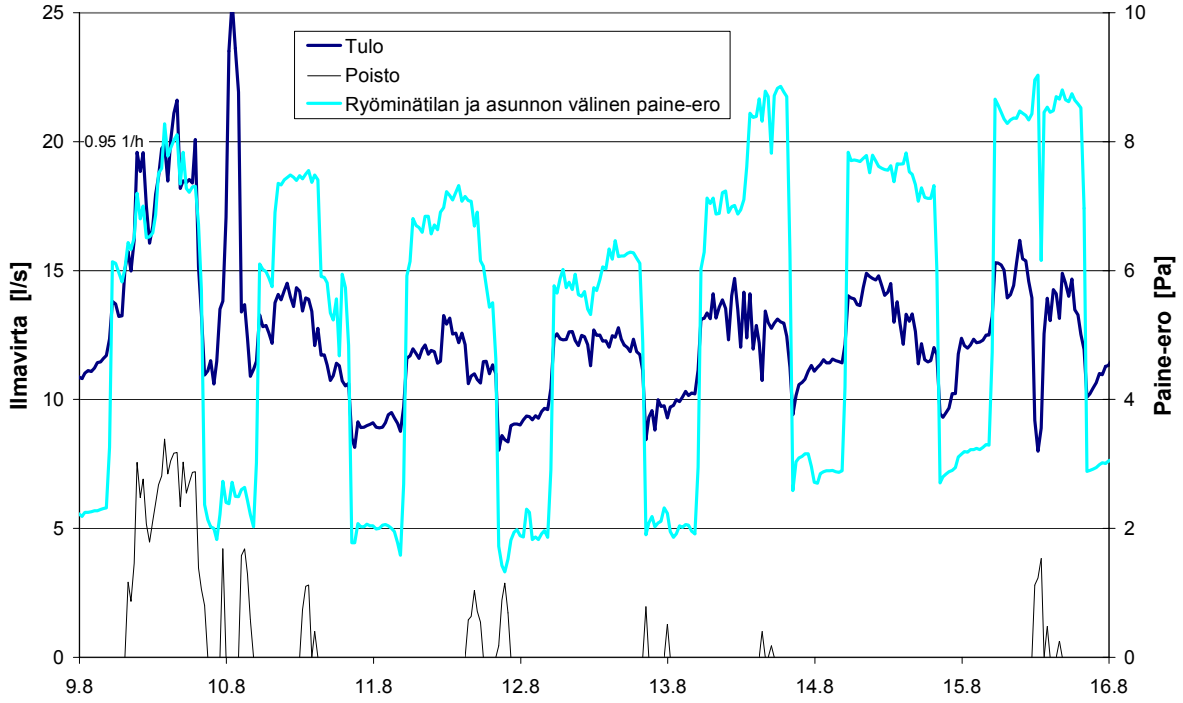
Kuva 3.3. Kerrostalon ryömintätilojen lämpötilat (12 h k.a.) ja ulkolämpötila (24 h k.a.).

Kevytsoraryömintätilasta mitattu ilmanvaihto on esitetty kuvassa 3.4. Tuuletusputkista mitatut tulo- ja poistoilmavirrat eivät ole tasapainossa ja ajoittain poisto puuttuu kokonaan koska osa ilmasta poistuu vuotavan alapohjan läpi asuntojen alipaineen vaikutuksesta. Tästä johtuen ryömintätilan ilmanvaihdon määrä nähdään tuloilmavirrasta, koska tuuletusputkien läpi poistuva ilmavirta on vain osa poistoilmavirrasta. Näin ns. luonnollisen tuuletuksen käyttövoimana on enemmän rakennuksen poistoilmanvaihtojärjestelmä kuin tuulen paine-erot. Ryömintätilan ilmanvaihto on melko stabiili, säännölliset värähtelyt johtuvat rakennuksen poistopuhaltimen käymisestä kahdella nopeudella. Tämä nähdään kuvasta 3.5, missä on tulostettu yhden viikon aikainen ilmanvaihto ja paine-ero ryömintätilan ja valitun ensimmäisen kerroksen asunnon välillä. Puhaltimen käydessä puolella teholla asunnossa on

2…3 Pa alipaine ja täydellä teholla 7…8 Pa alipaine. Puhaltimen tehon vaihto on heijastunut suoraan ryömintätilaan tuloilmavirtaan.

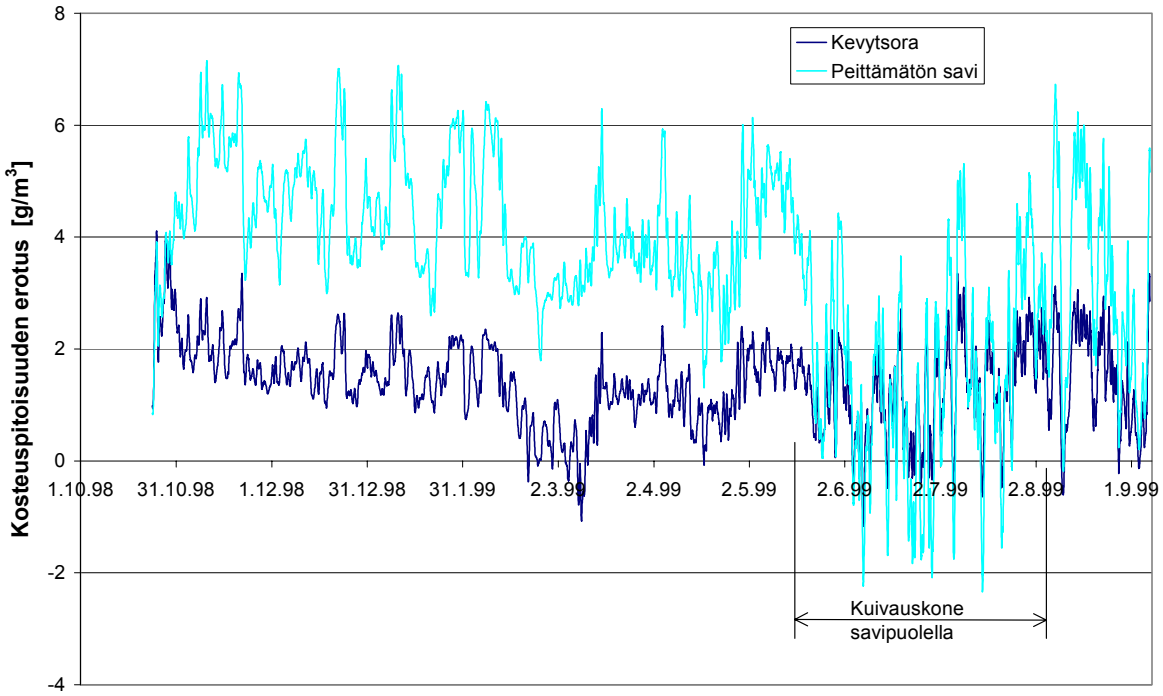


Kuva 3.4. Ryömintätilan tuuletusputkista mitatut ilmavirrat (12 h k.a.). Tuloilmavirta esittää ryömintätilan ilmanvaihdon.



Kuva 3.5. Ryömintätilan ilmanvaihto ja paine-ero ryömintätilan ja 1-kerroksen asunnon välillä (1/2 h k.a.). Asunnossa on alipaine.

Ryömintätilan ilman ja ulkoilman absoluuttista kosteutta on verrattu kuvassa 3.6. Kosteuspitoisuuden erotus kuvaa ulkoilman kosteudenpoistokykyä. Jos ulkoilma on kuivempi, eli ko. erotus on positiivinen, ilmanvaihto poistaa ryömintätilasta kosteutta. Negatiivisten arvojen tapauksessa ulkoilma on kosteampi kuin ryömintätilan ilma ja se kuljettaa ryömintätilaan kosteutta. Kosteuden kuljettamisen lisäksi erilämpöinen ulkoilma kuitenkin joko lämmittää tai jäähdyttää ryömintätilaa, mikä vaikuttaa myös ryömintätilan kosteuteen.



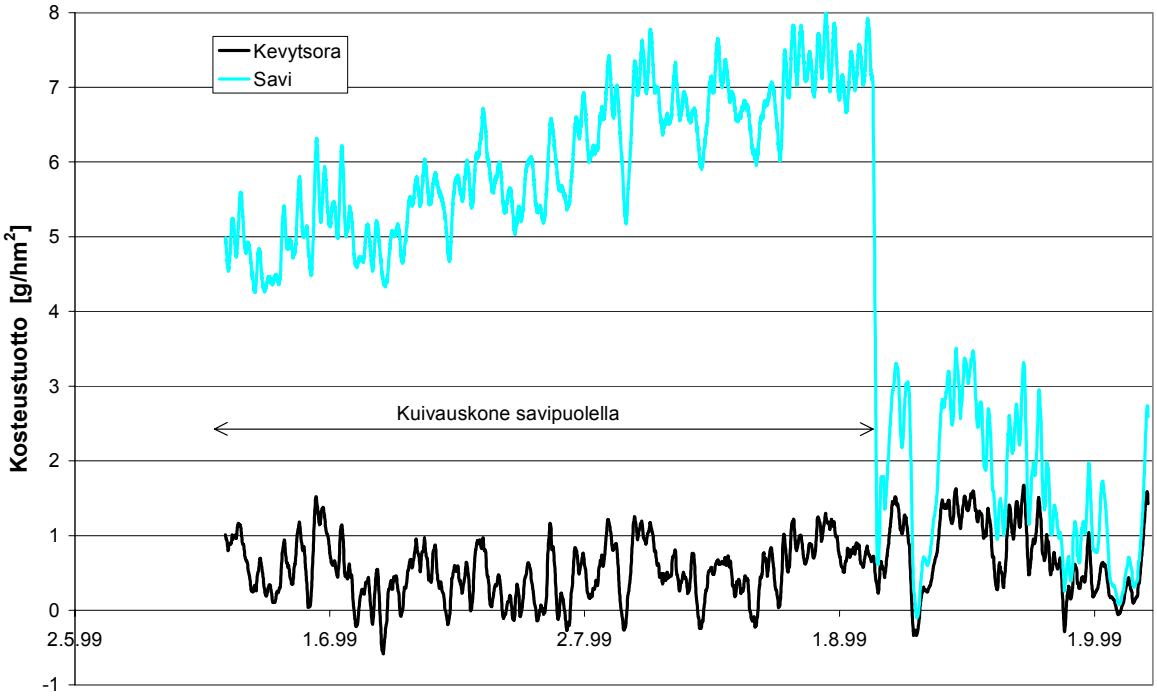
Kuva 3.6. Ryömintätilan ilman ja ulkoilman kosteuspitoisuuden erotus (12 h k.a.).

Maaperän kosteustuotto voidaan arvioida ryömintätilaan kosteustaseesta mikäli ryömintätilan ilma on täysin sekoittunut ja ilmanvaihto tiedetään. Ryömintätilan ilmanvaihto mitattiin kevytsoraryömintätilassa ja saviryömintätilalle on tässä oletettu sama ilmanvaihtomäärä neliötä kohti. Ryömintätilan kosteustase on muotoa (ei kuivauskonetta):

$$q_v v_{out} + g = q_v v_{air} \qquad (1)$$

missä q_v on ryömintätilan ilmanvaihto [m^3/s], g maaperän kosteustuotto [kg/s], v_{out} ulkoilman kosteuspitoisuus [kg/m^3] ja v_{air} ryömintätilan ilman kosteuspitoisuus [kg/m^3]. Yhtälöstä (1) laskettu kosteustuotto on esitetty kuvassa 3.7, missä peittämättömän maanpinnan ryömintätilan kosteustuottoa on kuivauskonejakson aikana korotettu lisäämällä siihen kuivauskoneen poistama kosteusmäärä. Kuivauskoneen poistaman kosteuden määrä eli kuivausteho m [kg/s] on arvioitu laskennallisesti yhtälöillä (2-6). Kuivauskonejaksosta johtuen kuvan 3.7 kosteustuotot eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Kuivauskoneen käytön aikana ryömintätilan ilman kosteus alenee ja samalla ryömintätilan ilma lämpenee. Nämä molemmat tekijät lisäävät haihtumista, koska maanpinta ei kuivunut jakson aikana vaan pysyi kylläisessä tilassa (kuva 3.2). Tämän vuoksi kuvan 3.7 kosteustuotto on kuivauskonejakson

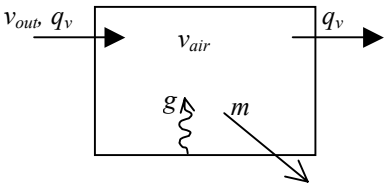
aikana suurempi kuin tavanomaisen luonnollisen tuuletuksen tapauksessa. Kuivauskonejakson jälkeen kosteustuotto on taas tavanomaista pienempi koska ryömintätilan ilma jäähtyy koneen poistamisen jälkeen nopeammin kuin maanpinta, mikä pienentää haihtumiskerrointa. Tutkimuksessa (Kurnitski, ym. 1999) arvioitiin savipuolen ryömintätilaan keskimääräiseksi kosteustuotoksi 5.7 g/hm^2.



Kuva 3.7. Laskennallisesti arvioitu maaperän kosteustuotto (12 h k.a.).

Kuivauskoneen kuivausteho voidaan arvioida laskennallisesti. Ryömintätilan kosteustaseeseen (1) on kuivauskoneen tapauksessa lisättävä kuivausteho m [kg/s]

$$q_v v_{out} + g = q_v v_{air} + m \tag{2}$$



Maaperän kosteustuotto on nyt arvioitava haihtumisyhtälöstä

$$g = \beta\left(v_{ground} - v_{air}\right)A \tag{3}$$

missä β on haihtumiskerroin [m/s], v_{ground} kosteuspitoisuus maanpinnalla [kg/m^3] ja A ryömintätilan pinta-ala [m^2]. Haihtumiskerroin β voidaan laskea konvektiivisesta lämmönsiirtokertoimesta

$$\beta = \frac{\alpha}{\rho c_p} \tag{4}$$

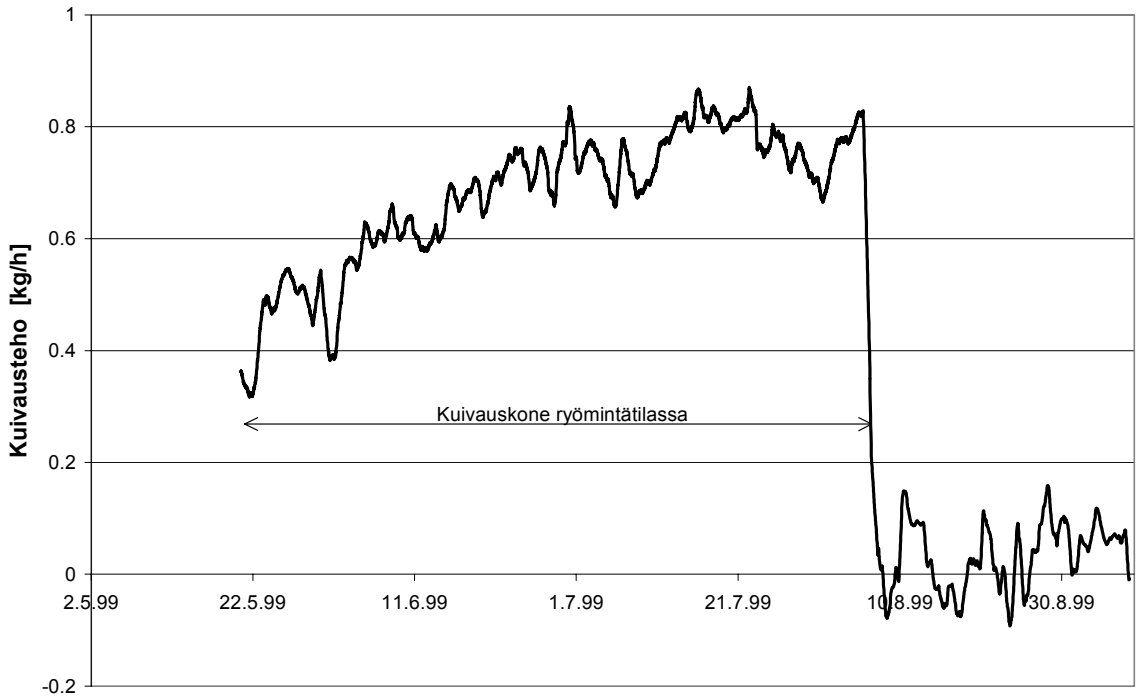
missä α on konvektiivinen lämmönsiirtokerroin [W/m^{2}K], ρ ilman tiheys [kg/m^3] ja c_p ilman ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]. Ratkaisemalla kuivausteho m yhtälöstä (2) ja ottamalla huomioon (3,4) saadaan

$$m = q_v\left(v_{out} - v_{air}\right) + \frac{\alpha}{\rho c_p}\left(v_{ground} - v_{air}\right)A \tag{5}$$

Kuivaustehon laskemiseksi tarvitaan vielä kaava konvektiiviselle lämmönsiirtokertoimelle. Tässä käytettiin yhtälöä, joka soveltuu tapaukselle, missä ilma on maanpintaa lämpimämpää

$$\alpha = 0{,}6\left|T_{air} - T_{ground}\right|^{\frac{1}{3}} \tag{6}$$

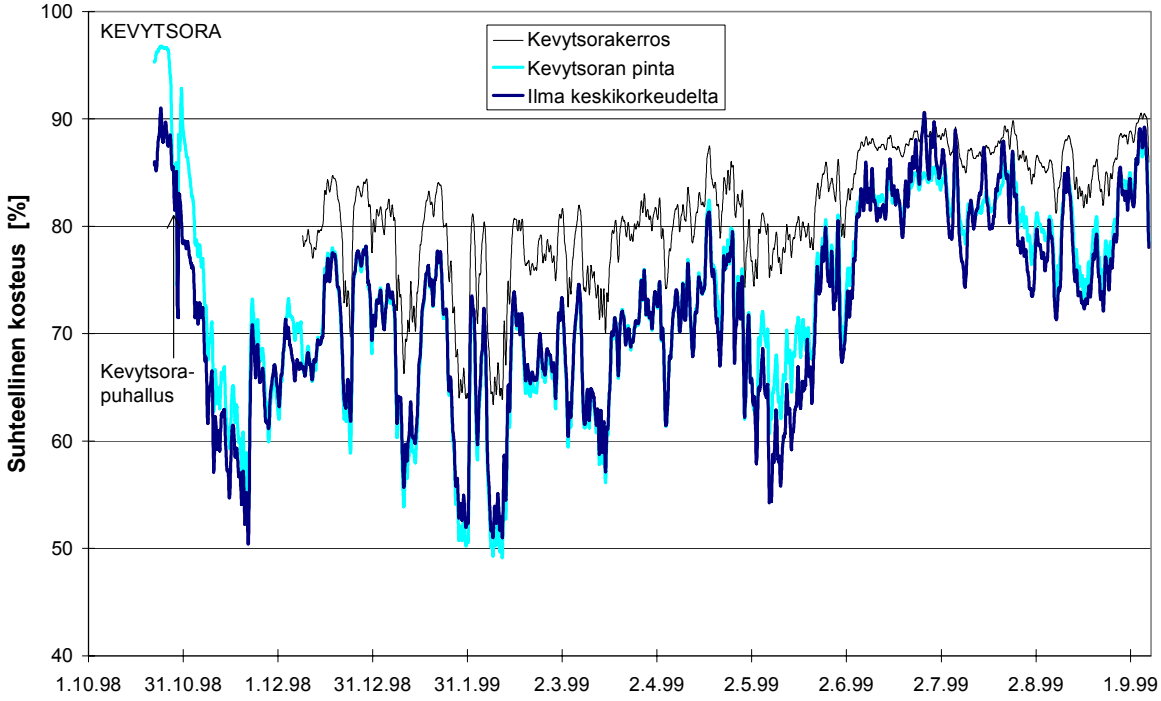
Tässä T_{air} on ilman lämpötila ja T_{ground} maanpinnan lämpötila. Yhtälöllä (5) laskettu kuivauskoneen kuivausteho on esitetty kuvassa 3.8. Tämän laskentatavan tarkkuus nähdään kuivauskoneen poistamisen jälkeisestä tuloksesta – ilman kuivauskonetta kuivaustehon pitäisi olla nolla. Laskettu kuivausteho vastaa hyvin valmistajan ilmoittamaa kuivaustehoa 0,5…0,8 kg/h.



Kuva 3.8. Laskennallisesti arvioitu kuivauskoneen kuivausteho (12 h k.a.).

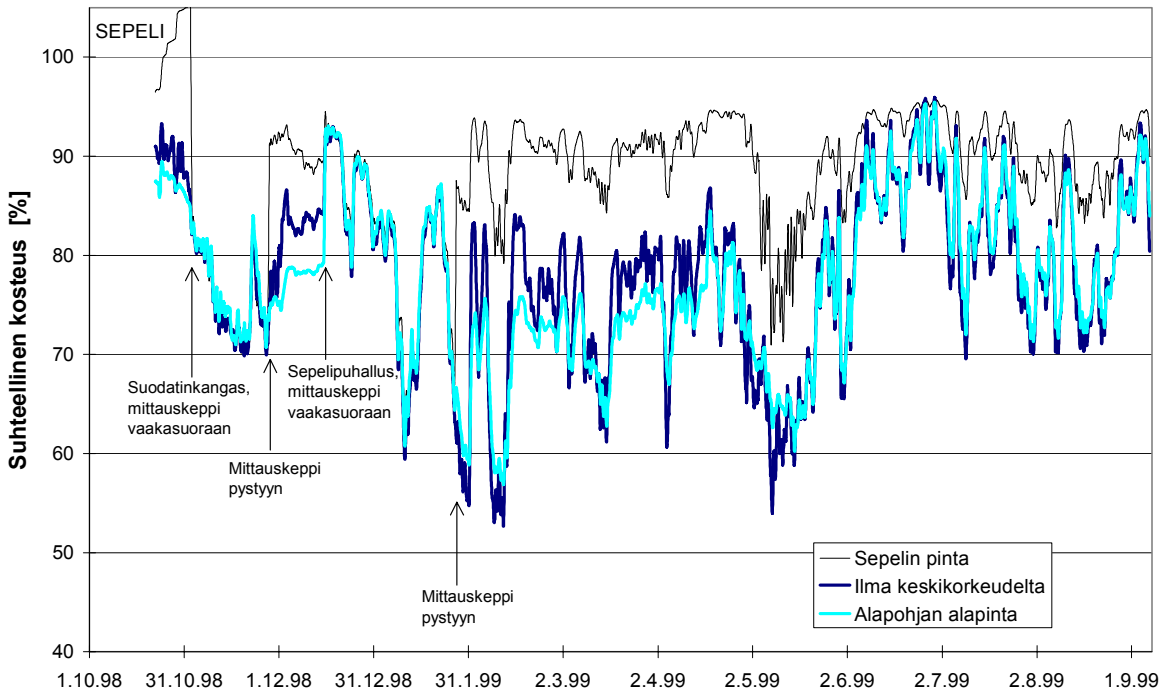
3.2 Puurakenteinen päiväkoti 1

Päiväkodissa rekisteröivät mittaukset aloitettiin 21.10.1998. Suodatinkangas asennettiin kevytsoraryömintätilaan 27-28.10 ja kevytsora puhallettiin 29.10. Kevytsoraryömintätilan suhteellinen kosteus on esitetty kuvassa 3.9. Ennen puhallusta ryömintätila oli erittäin kostea. Kevytsoraryömintätilassa todennäköisesti heti seuraavana päivänä puhalluksen jälkeen kevytsoraa tasoitettiin ja alin mittausanturi jäi n. 5 cm syvyydelle kevytsoran sisään, mikä nähdään piikkinä 30.10. Tämän jälkeen on tapahtunut nopea kuivuminen (puhallusaikana kevytsoran kosteuspitoisuus oli 1,5 paino%).



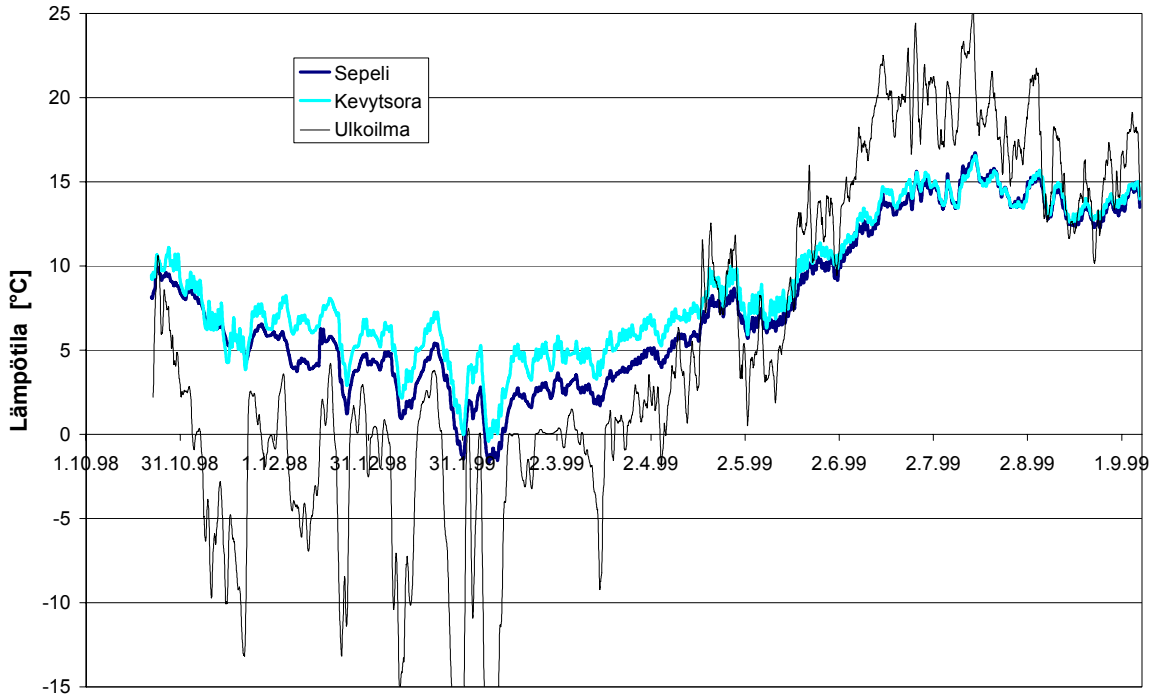
Kuva 3.9. Päiväkodin kevytsoraryömintätilan suhteellinen kosteus (12 h k.a.)

Sepeliryömintätilaan asennettiin suodatinkangas 2.11.1998 ja sepeli puhallettiin 15.12.1998. Ryömintätila oli alussa erittäin kostea, kuva 3.10. Suodatinkankaan asentamisen aikana oli mittauskeppi heitetty viemäriputkien päälle, niin että kaikki anturit olivat noin ryömintätilan keskikorkeudella. Tämän jälkeen kaikki anturit näyttävät samaa kosteutta. Suodatinkankaan asentamisen jälkeen maaperän kosteustuotto ilmeisesti pienentyi, koska suhteellinen kosteus laski. Kosteuden aleneminen johtui osittain kuitenkin ulkolämpötilan alenemisesta, koska ulkolämpötilan noustessa ennen sepelipuhallusta kosteus nousi n. 85% tasolle.



Kuva 3.10. Päiväkodin sepeliryömintätilan suhteellinen kosteus (12 h k.a.)

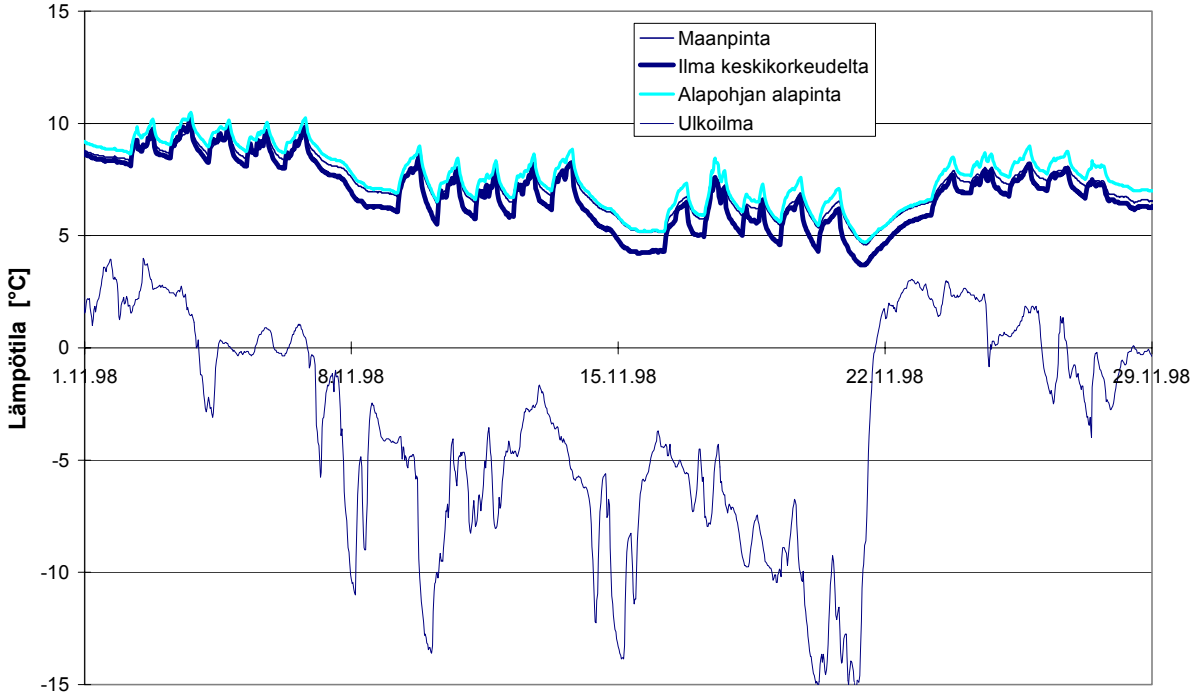
Lämpötilat ryömintätiloissa, kuva 3.11, osoittavat että ryömintätilat eivät toimi lämpöteknisesti täysin samalla tavalla. Kevytsoraryömintätilan lämpötila oli lähtötilanteessa korkeampi kuin sepeliryömintätilan. Kevytsorapuhalluksen jälkeen kevytsorapuolen lämpötila laski odotetusti, mutta marraskuun puolesta välistä lähtien kevytsoraryömintätila on ollut muutaman asteen verran lämpimämpi. Kesäaikana, kun kevytsoraryömintätilan pitäisi olla lämpimämpi on ryömintätilojen lämpötila lähes sama.



Kuva 3.11. Päiväkodin ryömintätilojen lämpötilat (12 h k.a.) ja ulkolämpötila (24 h k.a.).

Lämpötilakäyttäytymistä ei selitä myös ilmanvaihto. Se oli 8.12.1998 asti kevytsorapuolella 1,5 1/h ja sepelipuolella 1,1 1/h (tässä on oletettu, että molempien ryömintätilojen korkeus on 1 m). 8.12 puhaltimien nopeutta säädettiin niin, että ilmanvaihto oli sen jälkeen 0,7 1/h kummassakin ryömintätilassa. Puhaltimet ovat kuitenkin päällä vain päivisin, yöaikana tapahtuu tuuletusputkien kautta luonnollinen tuuletus. Tämä nähdään kuvasta 3.12, missä on esitetty kevytsoraryömintätilan lämpötila neljän viikon aikana. Nähdään, että lämpötilaa vaihtelee voimakkaasti arkipäivinä – silloin päivisin puhaltimet ovat päällä. Viikonloppuina lämpötilaa ei värähtelee – puhaltimet eivät ole päällä.

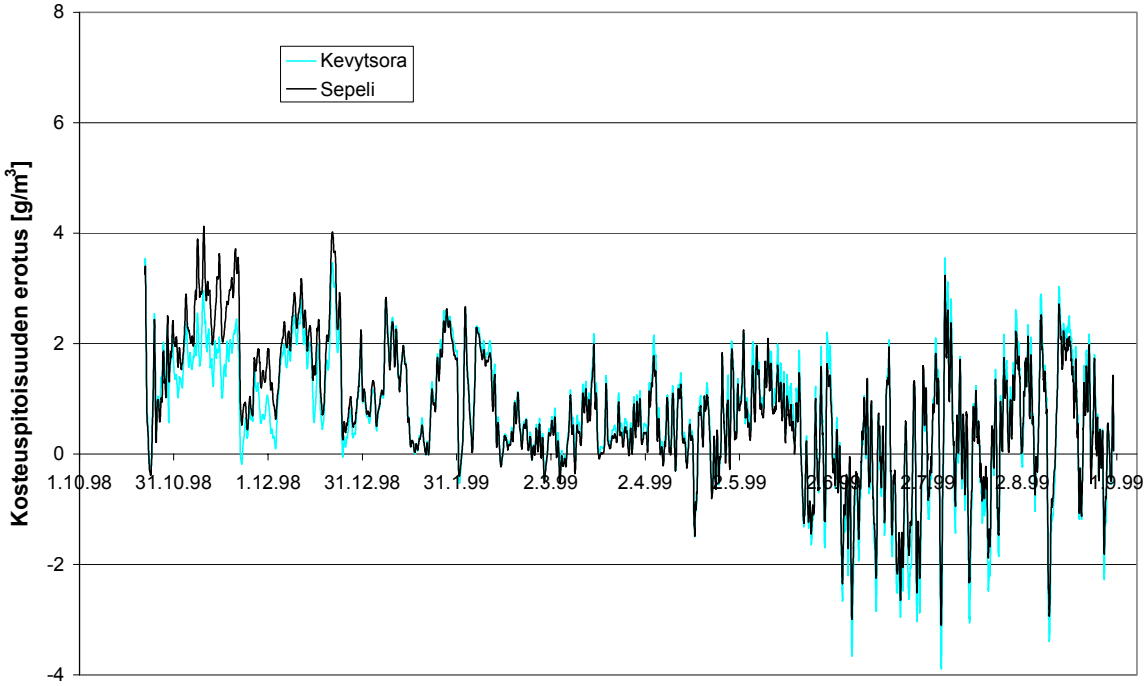
Ryömintätilojen erilainen lämpötilakäyttäytyminen johtuu ilmeisesti erilaisista lämpöhäviöistä ryömintätilaan, tämä havaittiin mm. simulointilaskelmia suorittaessa. Kosteuskäyttäytymisen kannalta lämpötilaeroilla ei ole kuitenkaan suurta merkitystä, varsinkin kun kesäaikana lämpötilat ovat lähes samoja.



Kuva 3.12. Kevytsoraryömintätilan lämpötila neljän viikon (jokainen viikko ma-su) aikana (1/2 h k.a.)

Lämpötilan merkittävän alhainen taso kesäaikana, n. 15ºC, määrä pitkälti ryömintätilojen kosteuskäyttäytymisen. Noin 20ºC ulkoilman kosteussisältö voi olla huomattavasti suurempi ja ulkoilma kuljettaakin ryömintätilaan kesäaikana kosteutta. Tämä nähdään kuvasta 3.13, missä on esitetty ryömintätilan ilman ja ulkoilman kosteussisällön erotus. Kun tämä erotus on negatiivinen, kuten kesäaikana usein on tapahtunut, ulkoilma on kosteampaa kuin ryömintätilan ilma. Tuloksia tulkitessa on kuitenkin otettava huomioon, että vaikka lämmin ulkoilma kuljettaa ryömintätilaan kosteutta samalla se lämmittää ryömintätilaa; elokuussa ryömintätilan lämpötila on saavuttanut ulkoilman lämpötilan. Ryömintätilan ilman ja ulkoilman kosteuspitoisuuden erotuksen perusteella voitaisiin laskea maaperän kosteustuotto

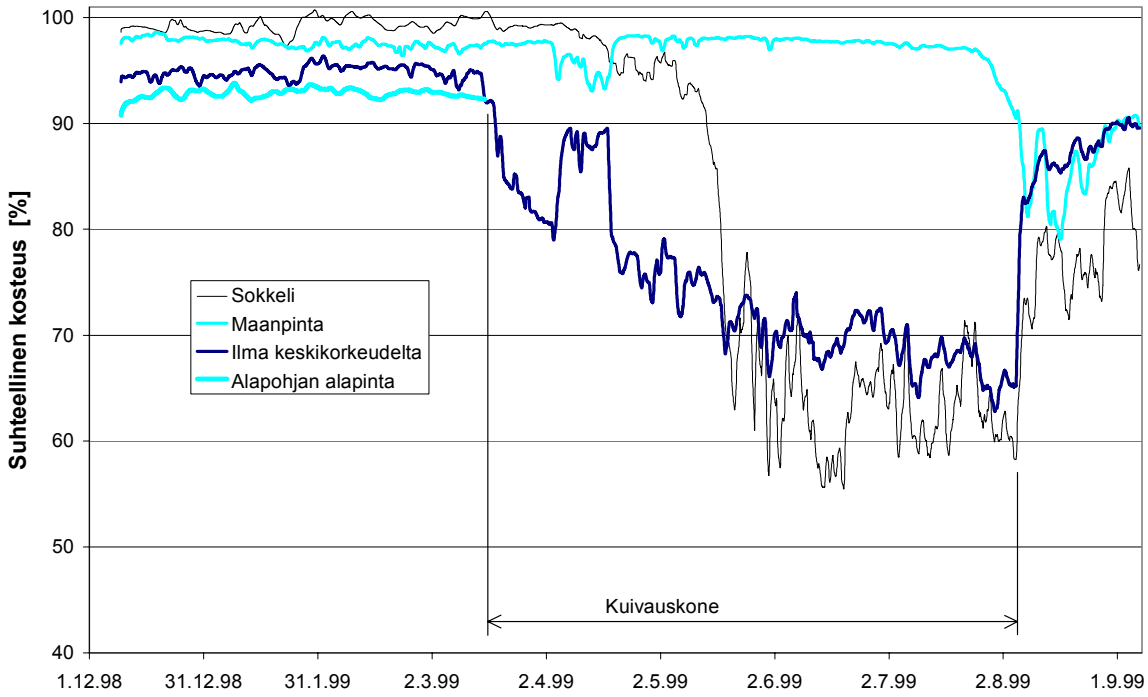
mikäli ilmanvaihto tunnettaisiin. Tässä tapauksessa ilmanvaihtoa ei tunneta riittävällä tarkkuudella ja kosteustuottoa ei ole arvioitu. Ryömintätilan ilman ja ulkoilman kosteuspitoisuuden erotuksen alhainen taso osoittaa kuitenkin, että myös kosteustuotto on alhainen ja varsinkin kevytsoraryömintätilassa maaperä on merkityksetön kosteuslähde ulkoilmaan verrattuna.



Kuva 3.13. Ryömintätilan ilman ja ulkoilman kosteuspitoisuuden erotus (12 h k.a.).

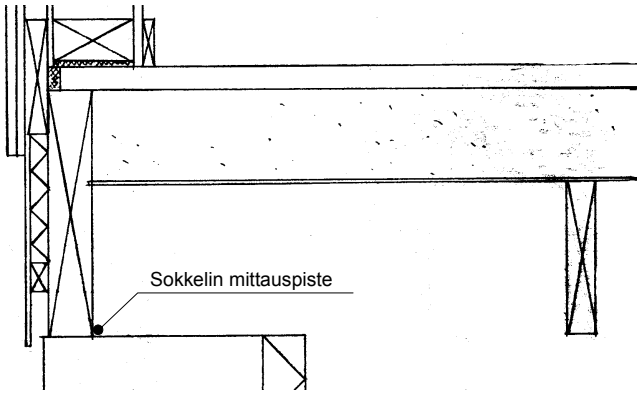
3.3 Puurakenteinen pienkerrostalo

Pienkerrostalossa aloitettiin mittaukset sadevesien poistojärjestelmän ja salaojituksen korjauksen jälkeen. Kun aikaisemmin oli ajoittain valunut katto- ja pintavesiä ryömintätilaan siis korjausten jälkeen sen piti olla estetty ja näin odotettiin ryömintätilan kuivumista. Ryömintätilan pohjalla oli n. 5 cm hiekkakerros, jonka alla muovikalvo, mikä tarkoittaa, että hiekkaa pystyy kuivumaan vain ylöspäin. Mittausjakson alussa hiekka oli märkä, kosteuspitoisuus oli 7,2 paino%. Näin myös ryömintätilan ilman kosteus oli erittäin korkea, kuva 3.14. Ilman kosteus keskikorkeudelta mitattuna oli jatkuvasti n. 95% ja alapohjan alapinnasta mitattuna n. 93%. Maanpinnan kosteuslukema 97…98% on käytettyjen mittausantureiden mittausalueen yläraja ja tarkoittaa siten 100% suhteellista kosteutta. Kolmen kuukauden aikana ilman suhteellisessa kosteudessa ei tapahtunut mitään muutosta, ryömintätilan pohjalla olevan hiekan kosteuspitoisuus pysyi myös vakiona: 27.1.99 mitattiin kosteuspitoisuudeksi 6,2 % ja 19.5.99 6,1 %. Tämä on ymmärrettävä, koska talvella kylmä ryömintätilan ilma ei pysty sitomaan suurta määrää kosteutta ja lisäksi ryömintätilan ilmanvaihto oli hyvin alhainen; tuuletusaukkojen puuttumisen perusteella arvioituna se oli lähempänä 0 1/h kuin 0,5 1/h.



Kuva 3.14. Suhteellinen kosteus pienkerrostalon ryömintätilassa (24 h k.a.). Alapohjan alapinnasta mittaus vain kuivauskonejakson asti.

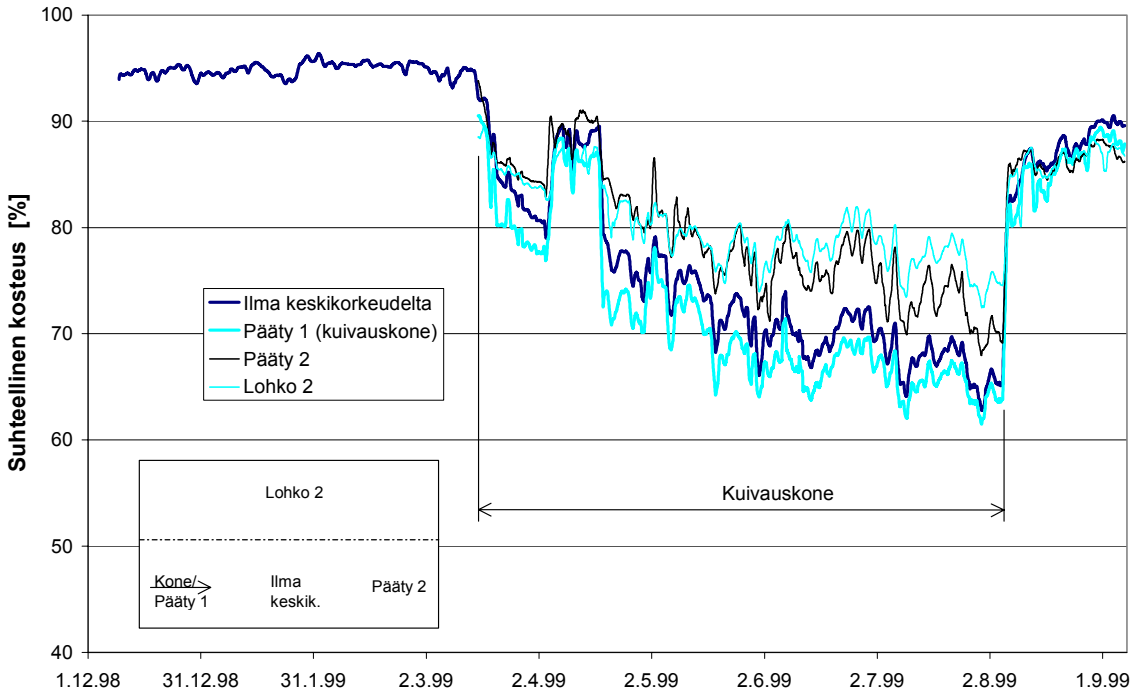
Kuvassa 3.14 näkyvä ”Sokkeli” –mittauspiste, jonka suhteellinen kosteus laskee 100%:n alapuolelle vasta huhtikuun lopussa, on peruspalkin päällä olevan puukannattajan vierestä mitattu kosteus, kuva 3.15. Koska peruspalkki on lämmöneristetty ryömintätilan puolelta muodostu puukannattajan kohdalle selvä kylmäsilta. Mikäli ryömintätilan ilman kosteus on korkea, kuten tässä tapauksessa, tapahtuu lämmityskaudella jäähtynyt pinnalle kondenssia. Talvella puukannattaja olikin täysin märkä. Kuivuminen tapahtui ulkolämpötilan noustessa keväällä.



Kuva 3.15. Sokkelin mittauspisteen sijainti. (Fragmentti kuvasta 2.7.)

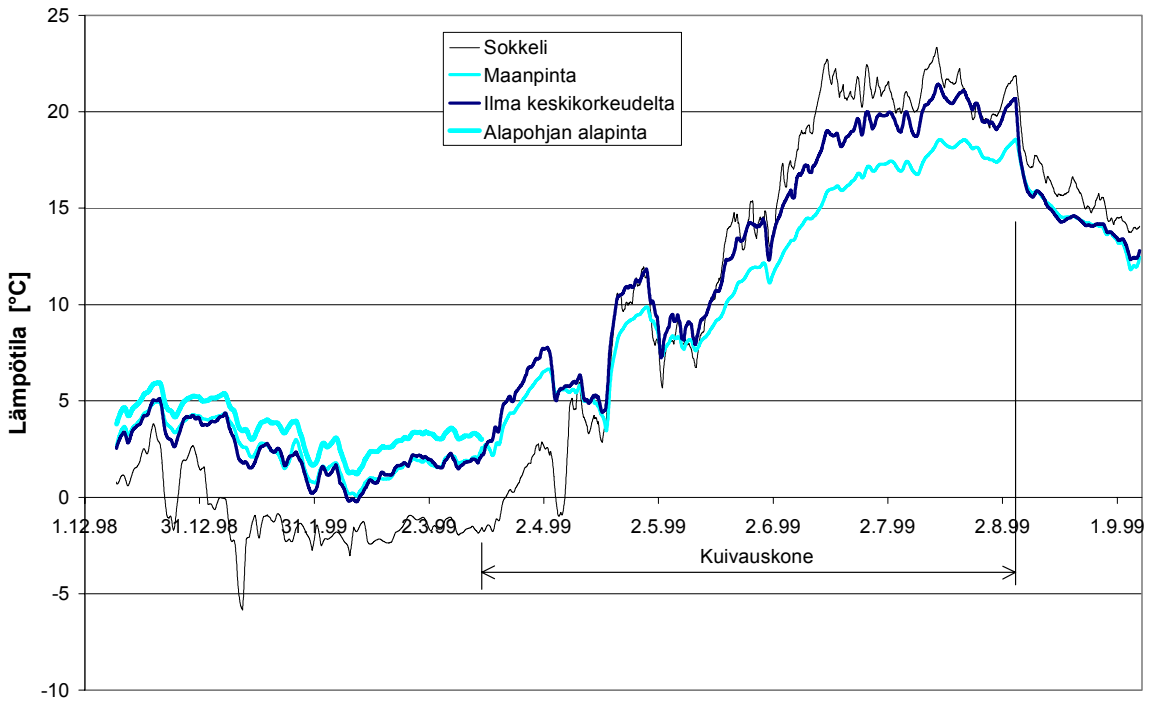
Koska kolmen kuukauden aikana ryömintätilan kuivumista ei ollut tapahtunut aloitettiin kuivauskonejakso 15.3.1999. Kuivauskoneen vaikutus näkyi heti ryömintätilan ilmassa, mutta maanpinta kuivui vasta heinäkuun loppupuolella. Huhtikuun alussa kuivauskone ei ollut

päällä n. kahden viikon aikana, tämä nähdään suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaustuloksista. Ryömintätilan pohjalla olevan hiekan kosteuspitoisuus oli kuivauskoneen poistamisen aikana (5.8.99) 0,8 % ja mittausjakson lopussa (7.9.99) 1,5 %. Kuivauskoneen vaikutus ryömintätilaan eri osissa nähdään kuvasta 3.16. Kuivauskoneen läheisyydessä ilman kosteus aleni kuivauskonejakson lopussa jopa n. 65% tasolle. Ryömintätilan toisessa lohkossa, mikä oli erotettu kuivauskonelohkosta peruspalkilla, minkä alapinnan ja ryömintätilan pohjan väliin jäi vain n. 10 cm ilmaväli, aleni kosteus n. 75% tasolle. Merkittävä kosteuden aleneminen osoittaa, että yhdellä kuivauskoneella voidaan kuivata suuriakin ryömintätiloja. Pienkerrostalon leveys oli 7,3 m ja pituus 30 m, eli ryömintätilan pinta-ala oli n. 200 m^2.

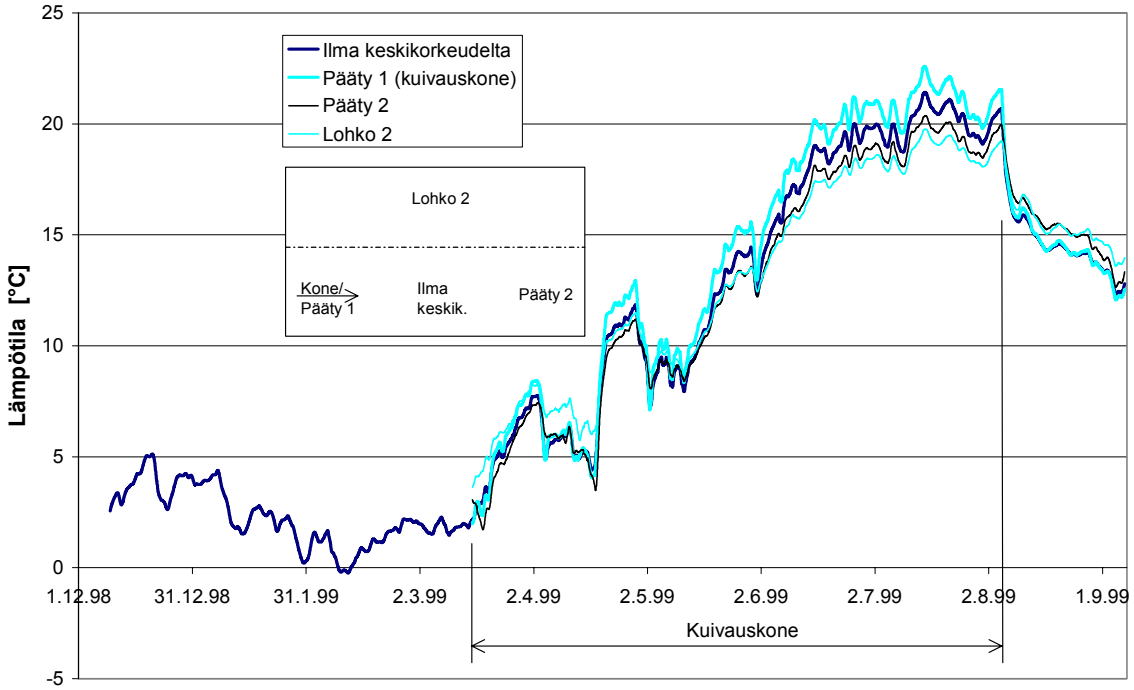


Kuva 3.16. Suhteellinen kosteus eri ryömintätilan osissa. Kaikki mittauspisteet ilmasta keskikorkeudelta. (24 h k.a.)

Lämpötila ryömintätilassa on esitetty kuvassa 3.17. Talvella sokkelin mittauspisteessä lämpötila oli huomattavasti alhaisempi kuin ryömintätilassa. Kuivauskoneen vaikutus nähdään lämpötilan nousuna. Kuivauskoneen ollessa pois päältä huhtikuun alussa n. kahden viikon aikana on lämpötila jyrkästi laskenut. Osa siitä muutoksesta johtuu kuitenkin ulkolämpötilan muutoksesta. Kuivauskoneen lämpötilaa nostava vaikutus nähdään parhaiten ryömintätilan ilman ja maanpinnan välisestä lämpötilaerosta, koska ennen kuivauskonejaksoa nämä lämpötilat olivat lähes samat ja normaalisti ko. lämpötilaero on alle 1ºC. Kesällä ryömintätilan ilma on ollut usean asteen verran lämpimämpi kuin maanpinta, kuivauskoneen vaikutukseksi voidaan arvioida 2…3ºC. Kuivauskoneen vaikutus on näin suuri, koska ryömintätilan ilmanvaihto puuttui lähes kokonaan. Lämpötila ryömintätilan eri paikoissa nähdään kuvasta 3.18. Kuivauskonejakson aikana ryömintätilaan on muodostunut selvä lämpötilajakauma: kuivauskonejakson aikana kuivauskoneen läheisyydessä lämpötila on korkeampi, kun muuten lohko 2 ja pääty 2 ovat hiukan lämpimämpiä.



Kuva 3.17. Lämpötila pienkerrostalon ryömintätilassa (24 h k.a.). Alapohjan alapinnasta mittaus vain kuivauskonejakson asti.



Kuva 3.18. Lämpötila ryömintätilan eri osissa. Kaikki mittauspisteet ilmasta keskikorkeudelta. (24 h k.a.)

4 ILMAN JA MATERIAALIEN MIKROBIPITOISUUDET

Kohteissa määritetyt ilman mikrobipitoisuudet on esitetty taulukoissa 4.1 ja 4.2. Peräkkäisistä määrityksistä on laskettu keskiarvo. Talvi- ja kevätjaksolla päiväkodin 1 sisäilman homesieni-itiöpitoisuus ja -lajisto olivat normaaleja ja lajisto oli sama sekä sisä- ja ulkoilmassa että ryömintätilassa. Kerrostalokohteessa pitoisuus oli normaalilla tasolla. Sen sijaan päiväkodissa 2 ja pienkerrostalossa sisäilman homesienipitoisuus oli talvella kokonaismäärältään hieman korkeampi. Päiväkodin 2 ja kerrostalon sisäilman sienilajisto on hieman poikkeava. Molempien rakennusten ryömintätilan materiaalinäytteissä esiintyi myös tämän sienen itiöitä (Taulukko 4.3). Myös aktinomykeettejä esiintyi sisä- ja ryömintätilan ilmassa. Kevätjaksolla aktinomykeettejä ei havaittu näiden kohteiden sisäilmasta, mutta niitä esiintyi pienkerrostalon sisäilmassa. Kevätjaksolla päiväkodin 2 ja kerrostalon sisäilman mikrobipitoisuudet olivat normaaleja. Kuitenkin kerrostalokohteen ryömintätilassa esiintyi edelleen runsaasti *Acremonium* -sientä. Kevätjaksolla sisäilman pitoisuudet olivat kauttaaltaan talvimittauksissa havaittuja alhaisemmat myös päiväkodissa 2, jossa ryömintätilan sieni-itiöpitoisuus oli moninkertaistunut. Ulkoilmassa pitoisuudet olivat alhaiset eivätkä siten nostaneet merkittävästi pitoisuuksia sisällä tai ryömintätilassa.

Pienkerrostalossa oli talvijaksolla suhteellisen korkea kokonaispitoisuus, joka muodostui pääasiassa *Penicillium* ja *Aspergillus* –lajeista. Valitettavasti tässä kohteessa ei määritetty ryömintätilan ilman mikrobipitoisuutta, eikä ryömintätilan materiaalinäytteissäkään esiintynyt tätä sientä (Taulukko 4.3). Kevätjaksolla em. sientenkin pitoisuudet olivat alhaiset.

Pienkerrostalon ryömintätilasta otetussa lastulevynäytteessä oli *Acremonium* -kontaminaatio, joka ei kuitenkaan tullut ilmi kohonneena pitoisuutena ilmassa (Taulukko 4.4). Päiväkodin 1 alapohjalevyssä ja puussa kasvoi runsaasti aktinomykeettejä tuoden nämä esille myös vähäisessä määrin ilmanäytteeseen kevätjaksolla.

Taulukko 4.1. Ryömintätilaisissa kohteissa 25-27.1. 1999 määritetyt ilman mikrobipitoisuudet.

Mikrobiryhmä, alusta	**Ilman mikrobipitoisuus (CFU/m^3, pesäkkeen muodostavaa yksikkö/m^3)**												
	Päiväkoti 2		**Kerrostalo**				**Pienkerrostalo**			**Päiväkoti 1**			
	sisätila	ryömintä	ulkoilma	Sisätila	ryömintä kevytsora	ryömintä savi	ulkoilma	sisätila	ryömintä	ulkoilma	sisätila	ryömintä sepeli	ryömintä kevytsora	ulkoilma
Sienet, M2 –alusta														
Penicillium	370	570		140	6000	3300		510			430	6400	2400	
Aspergillus								290					20	
Cladosporium	7				10	830		37			7	44	10	
Acremonium	256	2800		140	810	450		5				260	120	
Rhizopus				7										
Hiivat				4	3			4					37	
Steriilit				4		7						6		
Kokonais-pitoisuus	**630**	**3400**		**300**	**6800**	**4600**		**850**			**440**	**6700**	**2600**	
Sienet, DG18 -alusta														
Penicillium	400	2700		160	900	2000		580			640	5000	1500	
Aspergillus								330					45	
Cladosporium	11	21		55	22	100		63				180	50	
Acremonium	320	970		82	1900	1600					4	49	3	
Rhizopus				5										
Hiivat				6	57			6,5						
Steriilit					80									
Kokonais-pitoisuus	**730**	**3700**		**310**	**3000**	**3700**		**980**			**640**	**5200**	**1600**	
Bakteerit, THG alusta														
Aktinomykeetit	8	190		5	26									
Kokonais-pitoisuus	**520**	**1100**		**1200**	**1200**	**590**		**660**			**670**	**630**	**300**	

Taulukko 4.2. Ryömintätilaisissa kohteissa 17-19.5. 1999 määritetyt ilman mikrobipitoisuudet.

Mikrobiryhmä, alusta	**Ilman mikrobipitoisuus (CFU/m^3, pesäkkeen muodostavaa yksikkö/m^3)**													
	Päiväkoti 2			**Kerrostalo**				**Pienkerrostalo**			**Päiväkoti 1**			
	sisätila	ryömintä	ulkoilma	Sisätila	ryömintä kevytsora	ryömintä savi	ulkoilma	sisätila	ryömintä	ulkoilma	sisätila	ryömintä sepeli	ryömintä kevytsora	ulkoilma
Sienet, M2 –alusta														
Penicillium	56	12900	32	12	1200	3500	7	106	2100	29	5	4200	1500	16
Cladosporium	23	47		20	18	21	29	18	300	100	8	91	48	6
Acremonium				2	930	76		26	2	26	16			
Aureobasidium	3	2	3		2				1					
Monilia				5										
Sphaeropsidales				2										
Hiivat	2			23	21	3	3	7	3	19	8			19
Steriilit	55	5	110	44	11		98	12	14	26	12			99
Kokonais-pitoisuus	**140**	**13000**	**150**	**110**	**2200**	**3600**	**140**	**170**	**2400**	**200**	**49**	**4300**	**1600**	**140**
Sienet, DG18 -alusta														
Penicillium	38	14800	430	36	2200	3600	8	90	1400	130	9	1900	1000	18
Cladosporium	17	280	4	53	37	52	30	7	140	32	4	130	140	18
Acremonium	2			4				2	2	15				
Wallemia	4		11	2							2			
Monilia								2						
Eurotium	2	2			2	38	34							
Aureobasidium								2						
Hiivat	2			21				17	9	41				4
Steriilit				4	2			2	2	15		2		15
Kokonais-pitoisuus	**65**	**15000**	**440**	**120**	**2300**	**3700**	**72**	**120**	**1500**	**230**	**15**	**2000**	**1200**	**55**
Bakteerit, THG alusta														
Aktinomykeetit		16			14	14	0	5	830				14	
Kokonais-pitoisuus	**510**	**1700**	**89**	**380**	**660**	**1200**	**1600**	**520**	**2800**	**420**	**140**	**420**	**430**	**340**

Taulukko 4.3. Ryömintätiloista otettujen materiaalien mikrobipitoisuudet talvella (25-27.1. 1999)

	Päiväkoti 2						**Kerrostalo**			**Pienkerrostalo**					**Päiväkoti 1**	
Näytteen kuvaus	Puhdas kuiva lauta	kostea ala-juoksu lauta	kuiva kuitulevy	kostea tuulen-suoja, huokoi-nen kuitulevy	pohja/ hiekka	pohja, sepeli	styrox, perus-teet	styrox, katto, ontelo-laatan alla	pohja, hiekka	lastulevy kuiva	lastulevy kostea	puu, kuiva	puu, kostea	pohja, hiekkaa	puu	kuitulevy
Kosteus-%	18,5	22,6	14,9	18	3,7	1,1			13,5	17,3	16,5	22,1	36,8	9,1	13,3	10,5
Sienet, M2 alusta																
Penicillium	18400	26100	25600	136000	7500	8500	33300	37400	1700		82100	2200	1800	1700	13800	74200
Aspergillus																
Cladosporium		1400				45			45							
Acremonium	810	1300	45	400		680	4500	1800	4900	88100	4700	8600	22800	310	32800	
Rhizopus					90	320								45		
Hiivat							16200		1500			90	1400	270		
Steriilit					220											
Kokonais-pitoisuus	**19200**	**28800**	**25600**	**136400**	**7800**	**9500**	**54000**	**39200**	**8100**	**88100**	**86800**	**10900**	**26000**	**2300**	**46600**	**74200**
Sienet, DG18-alusta																
Penicillium	97700	6000	15500	45200	12200	5200	5400	2200	4200	475000	73700	8300	1500	1800	30500	30400
Aspergillus																
Cladosporium		2500				45			45				90	360	1100	180
Acremonium	950	590		670	500	1200	20700		4400				23300	860	8500	
Hiivat						45	900		180					45		
Aureobasidium														45		
Steriilit																
Kokonais-pitoisuus	**98700**	**9100**	**15500**	**45900**	**12700**	**6500**	**27000**	**2200**	**8800**	**475000**	**73700**	**8300**	**24900**	**3100**	**40100**	**30600**
Bakteerit, THG-alusta																
Aktinomykeetit					45	1100									19200	
Kokonais-pitoisuus	**140**	**143000**	**270**	**3120000**	**17700**	**29100**	**5000000**	**950**	**2350000**	**2600**	**2300**	**4900**	**1,3E+07**	**1290000**	**130000**	**1200**

Taulukko 4.4. Ryömintätiloista otettujen materiaalien mikrobipitoisuudet kevätjaksolla (17-19.5. 1999).

	Päiväkoti 2		**Kerrostalo**		**Pienkerrostalo**				**Päiväkoti 1**	
Näytteen kuvaus	Kuiva tuulensuoja-levy	Kostea tuulensuoja-levy	Kostunut maaperänäyte	Styrox ontelolaatan alta	Kostea lastulevy, alapohja	Kuiva lastulevy, alapohja	Kuiva puu, alapohja	Hiekka, ryömintätila	Alapohjan levy	Alapohjan puu
Kosteus-%	24,2	14,1	23,1	-	11,5	11,7	13,3	4,8	10,9	13,0
Sienet, M2 alusta										
Penicillium	33000	50000	4600		45			670	130000	63000
Cladosporium								45		
Acremonium	45	2100		1200	185000					
Aureobasidium	45			7	18000			1		
Mucor								45		
Hiivat	9700	680	6		45			1	45	180
Steriilit								1	1900	1400
Kokonaispitoisuus	**43000**	**53000**	**4600**	**1200**	**200000**	< määritysrajan	< määritysrajan	**770**	**135000**	**65000**
Sienet, DG18-alusta										
Penicillium	23000	26000	9200	7200	4800	210000	4100	2500	120000	72000
Cladosporium								45		
Acremonium			2500		160000					
Aureobasidium								90		
Mucor			45							
Hiivat		590	630					45		140
Steriilit			90							45
Kokonaispitoisuus	**23000**	**27000**	**13000**	**7200**	**160000**	**210000**	**4100**	**2700**	**120000**	**72000**
Bakteerit, THG-alusta										
Aktinomykeetit									67000	
Kokonaispitoisuus	**320**	**25000**	**12000**	**14000**	**130000**	**19000**	**16000**	**15000**	**67000**	**27000**

5 HAIHTUVIEN HIILIVETYJEN PITOISUUDET

Haihtuvien hiilivetyjen pitoisuudet on esitetty yhdisteryhmittäin taulukossa 5.1 ja 5.2. Talvijaksolla haihtuvien hiilivetyjen kokonaispitoisuudet olivat tavanomaisella tasolla Sosiaali- ja terveysministeriön ohjeeseen verrattuna. Kevätjaksolla taso oli kauttaaltaan korkeampi; kokonaispitoisuudet ulkoilmassa olivat 2-3 kertaisia talvijaksoon verrattuna, mikä osaltaan on vaikuttanut kohottavasti myös sisäilman ja ryömintätilan ilman pitoisuuksiin. Pienkerrostalon sisäilman hiilivetyjen kokonaispitoisuus (420 g/m^3) oli selkeästi korkea. Asukkaan taidemaalausharrastus ja siitä tulevat emissiot osaltaan kohottivat hiilivetyjen kokonaispitoisuutta. Tolueenin osuus tuloksissa on yliarvioitu mahdollisen kontaminaation vuoksi ja siksi se on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Talvijaksolla terpeenit muodostivat yhden huomattavimman yhdisteryhmän sisäilmapitoisuudesta muissa paitsi päiväkodissa 2, mutta näissäkin terpeenien yhteispitoisuus jäi 20-45 µg/m^3 tasolle. Terpeenit olivat tyypillisesti sisälähtöisiä yhdisteitä, koska niiden pitoisuudet ulkoilmassa ja ryömintätiloissa olivat alhaiset. Sisäilman ja ryömintätilan alkyylibentseenien pitoisuudet olivat jokseenkin ulkoilman tasolla tai hieman korkeampia. Päiväkoti 2 -kohdetta (talvella) lukuunottamatta hiilivetypitoisuudet sisäilmassa olivat korkeampia kuin ryömintätilassa ja ulkoilmassa. Mikrobimetaboliatuotteina pidettyjen alkoholien pitoisuudet olivat niinikään korkeampia sisäilmassa verrattuna muihin tiloihin. Näille on muitakin lähteitä, minkä vuoksi yksiselitteisten johtopäätösten teko on vaikea ilman tulosten tarkempaa käsittelyä. Erityisesti pienkerrostalokohteessa korkea MVOC-muut tasoa nostaa näytteestä analysoitu runsas alfapineenimäärä. MVOC -yhdisteiden kokonaispitoisuudessa on mukana alfapineeni, jolle sisätiloissa on myös lukuisia muita lähteitä.

Formaldehydi- ja asetaldehydipitoisuudet kohottivat aldehydien kokonaispitoisuutta. Pienkerrostalossa sisäilman keveiden aldehydien määrä oli korkein. Aldehydien määrät ulkoilmassa ja ryömintätilassa olivat alhaisia.

Hiilivetyjen kokonaispitoisuuden osalta Sisäilman, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokituksen mukaan parhaan S1 luokan tavoitearvo hiilivetyjen kokonaispitoisuudelle on alle 200 µg/m^3 ja luokassa S2 300 µg/m^3. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaan mukaan tavanomaisena pitoisuutena voidaan pitää 200-300 µg/m^3.

Taulukko 5.1. Sisäilman, ryömintätilan ja ulkoilman hiilivetypitoisuudet (µg/m^3) **talvijaksolla** (25-27.1. 1999). Kaasukromatografimäärityksissä kokonaishiilivedyille käytettiin scan-tekniikkaa ja alkoholi- ketoni- ja muille mikrobimetaboliiteille sim-tekniikkaa. Keveiden aldehydien pitoisuudet on määritetty dnph-hplc tekniikalla.

Yhdisteryhmä	Menetelmä	Päiväkoti 2			Kerrostalo				Pienkerrostalo			Päiväkoti 1			
		ryömintä	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, kevytsora	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, savi	ryömintä	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, sepeli	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, kevytsora
terpeenit	scan	0,7	2,1	0,0	1,0	20,2	0,8	0,2	0,5	41,0	0,2	5,7	45,5	0,0	7,1
alifaattiset hiilivedyt	scan	0,0	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,0	0,3	10,3	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0
alkyylibentseenit	scan	4,2	9,8	14,4	15,9	40,9	16,4	5,8	21,2	19,1	19,7	13,5	14,0	10,4	13,2
tolueeni	scan	81,1	31,0	24,7	64,1	72,0	125,7	6,2	171,7	48,7	167,7	55,6	55,8	14,6	28,3
aldehydit	scan	11,6	20,2	26,7	27,9	50,6	28,8	19,1	25,7	70,0	31,9	25,8	32,4	30,5	23,1
Muut	scan	9,1	14,5	13,5	9,6	22,9	3,2	7,2	16,6	55,4	14,6	29,8	25,6	11,4	15,0
***kokonaispitoisuus**	**scan**	**25,5**	**46,9**	**54,8**	**54,6**	**135,0**	**49,7**	**32,4**	**64,3**	**195,8**	**66,9**	**74,8**	**117,9**	**52,3**	**58,4**
MVOC-alkoholit	sim	0,2	2,4	0,2	0,2	20,5	0,5	0,3	0,3	12,3	0,2	15,0	1,4	0,5	2,2
MVOC-ketonit	sim	0,0	0,1	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0
MVOC-muut	sim	0,4	1,7	0,5	1,4	17,4	0,6	0,2	1,4	45,8	1,2	6,7	43,0	2,5	8,0
Kokonaispitoisuus	**sim**	**0,6**	**4,1**	**0,7**	**1,6**	**38,7**	**1,0**	**0,5**	**1,6**	**59,3**	**1,4**	**22,3**	**44,7**	**3,0**	**10,2**
C1-3-aldehydit	dnph-hplc	2,0	7,1	1,9	0,8	28,0	1,8	1,8	13,4	44,9	0,8	3,9	9,3	1,5	8,1
muut aldehydit	dnph-hplc	0,0	3,2	0,0	0,0	15,9	1,2	0,0	1,7	0,0	2,4	1,1	7,0	2,2	3,0
Asetoni	dnph-hplc	3,3	6,8	7,3	3,5	28,1	3,1	4,5	4,3	31,5	3,8	9,0	12,6	3,9	18,3
muut ketonit	dnph-hplc	0,0	3,6	0,0	1,0	0,5	1,0	0,0	1,8	1,3	1,3	3,8	4,9	2,3	4,8
Kokonaispitoisuus	**dnph-hplc**	**5,3**	**20,6**	**9,2**	**5,4**	**72,6**	**7,1**	**6,4**	**21,3**	**77,7**	**8,3**	**17,8**	**33,8**	**9,9**	**34,1**

*hiilivetyjen kokonaispitoisuuteen ei ole huomioitu tolueenia.

Taulukko 5.2. Sisäilman, ryömintätilan ja ulkoilman hiilivetypitoisuudet (µg/m^3) **kevätjaksolla** (17-19.5. 1999). Kaasukromatografimäärityksissä kokonaishiilivedyille käytettiin scan-tekniikkaa ja alkoholi- ketoni- ja muille mikrobimetaboliiteille sim-tekniikkaa. Keveiden aldehydien pitoisuudet on määritetty dnph-hplc tekniikalla.

Yhdisteryhmä	Menetelmä	Päiväkoti 2			Kerrostalo				Pienkerrostalo			Päiväkoti 2			
		ryömintä	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, kevytsora	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, savi	ryömintä	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, sepeli	sisäilma	ulkoilma	ryömintä, kevytsora
terpeenit	scan	4,5	43	0,1	0,8			0,3	1,4	72	0,6	11	2,4	0,3	21
alifaattiset hiilivedyt	scan	1,8	4,7	2,1	3,0		4,1	3,2	1,5	87	0,7	0,6	3,2	1,8	1,9
alkyylibentseenit	scan	11	11	11	15		13	12	8,2	18	5,6	10	7,9	8,0	9,7
tolueeni	scan	130	110	110	120		50	130	110	120	83	130	110	110	100
aldehydit	scan	7,4	21	24	19		35	21	9,6	100	22	19,5	32	22	38
muut	scan	140	120	120	140		49	130	110	140	97	140	140	11	110
***kokonaispitoisuus**	**scan**	**160**	**200**	**160**	**180**	**--**	**100**	**160**	**130**	**420**	**130**	**180**	**180**	**140**	**180**
MVOC-alkoholit	sim	1,6	2,8	0,9	1,1	8,4	1,3	1,1	0,9	32	1,9	4,4	2,9	7,9	8,6
MVOC-ketonit	sim	0,2	0,3	0,1	0,1	0,6	0,2	0,1	0,1	3,8	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5
MVOC-muut	sim	4,2	33	0,6	8,7	12	0,5	4,1	1,9	100	0,8	21	3,0	8,3	9,6
kokonaispitoisuus	**sim**	**6,0**	**35**	**1,5**	**10**	**21**	**2,0**	**5,4**	**2,8**	**140**	**3,1**	**25**	**6,3**	**17**	**19**
C1-3-aldehydit	dnph-hplc	0,3	8,5	1,1	0,9	17	1,5	5,9	6,6	100	2,6	6,2	5,1	1,2	8,8
muut aldehydit	dnph-hplc	2,8	7,4	2,9	5,6	22	3,0	8,4	5,6	51	4,2	4,0	6,5	2,2	5,2
asetoni	dnph-hplc		9,1	2,9	0,5	15	2,2	6,2	5,8	62	4,0	9,2	5,5	1,5	12
muut ketonit	dnph-hplc	0,6	0,4	1,3	1,1	2,7	1,4	1,3	1,1	10	1,3	0,0	1,2	1,3	2,9
kokonaispitoisuus	**dnph-hplc**	**3,7**	**25**	**8,2**	**8,1**	**56**	**8,1**	**22**	**19**	**220**	**12**	**19**	**18**	**6,2**	**29**

*hiilivetyjen kokonaispitoisuuteen ei ole huomioitu tolueenia.

6 LASKENNALLISEN MALLINTAMISEN TULOKSET

Ryömintätilan ajasta riippuvan lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen tarkastelemiseksi mallinnettiin kahden tutkimuskohteen ryömintätilaa IDA-simulointiympäristössä (Sahlin, Sowell 1996 ja Sahlin 1996). Puurakenteisen päiväkodin ja betonirakenteisen kerrostalon ryömintätiloja simuloitiin ryömintätilamallin kahdella eri versiolla. Ensimmäinen versio ottaa huomioon lämmönsiirron (johtuminen, konvektio ja säteily) sekä kosteuden haihtumisen maanpinnalta. Haihtuminen lasketaan konvektiivisesta lämmönsiirtokertoimesta. Ensimmäisessä versiossa kosteus ei varastoidu rakenteisiin eikä se virtaa rakenteiden läpi. (Mallin kuvaus Kurnitski, Kettunen, Matilainen, ym. 1999)

Toisessa versiossa ryömintätilan pohjalle levitetty kevytsora ja alapohja mallinnettiin uudella HamWall-komponentilla (Kurnitski, Vuolle 1999), joka ottaa huomioon kosteuden siirtymisen materiaalikerroksen läpi. Näin pystyttiin myös rakenteiden kosteuskapasiteetti ottamaan huomioon ja laskentatuloksen tarkkuus verrattuna mitattuihin tuloksiin saatiin paremmaksi.

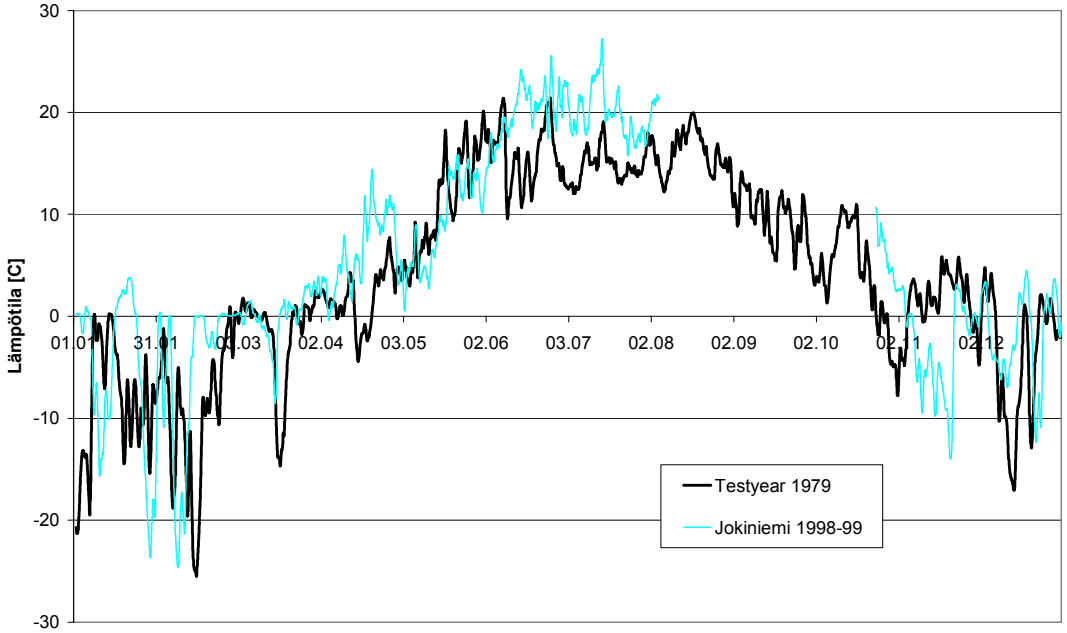
Laskennassa ryömintätilan pohjaa peittävän kevytsoran sorptiokäyrä mallinnettiin kahdella suoralla, joidenka pisteet kulkevat taulukossa 1 olevien arvojen kautta. Kevytsorakerroksen kosteuspermeabiliteettina käytettiin 8×10^{-6} m^2/s. Laskennassa kevytsorakerros oli kosteutta siirtävä, mutta sen maaperää vasten oleva puoli pidettiin vakiokosteusreunaehdolla maaperän lämpötilavaihtelujen mukaan suhteellisessa kosteudessa RH=98…100%.

Taulukko 6.1. Laskennassa käytettyjä arvoja

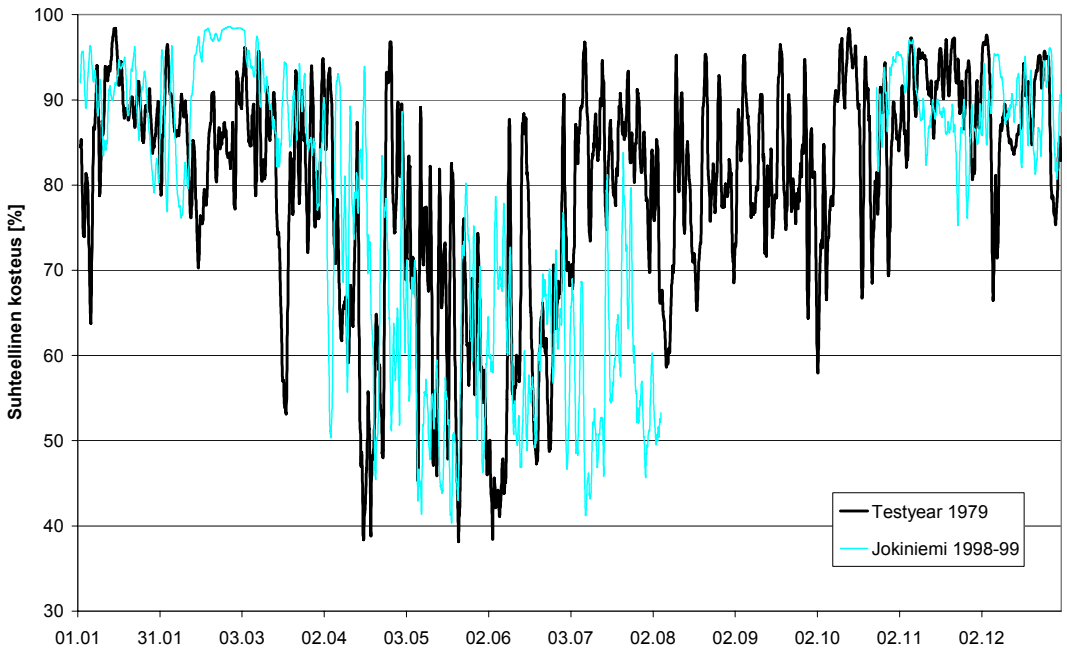
Kevytsoran sorptiokäyrä	
RH=0%	w=0 kg/m^3
RH=94%	w=1,2 kg/m^3
RH=100%	w=2,4 kg/m^3
Alapohjan lämmönläpäisy	
Puurakenteinen päiväkoti	U=0,2 W/m^2K
Betonirakenteinen kerrostalo	U=0,38 W/m^2K

Rakennuspaikalla mitattuja säätietoja käytettiin mallin reunaehtoina. Tietokonesimulointi oli ympärivuotinen ja siinä tarkasteltiin ilmanvaihdon, ryömintätilan pohjaratkaisujen ja kosteustuoton rajoittamisen vaikutuksia ryömintätilan kosteuteen.

Mittausvuosi poikkesi sekä lämpötilan (kuva 6.1) että suhteellisen kosteuden (kuva 6.2) osalta selvästi ns. testivuodesta 1979. Tämän vuoksi laskettaessa ilmanvaihdon ja eri pohjaratkaisujen vaikutusta on säätiedostona käytetty mittausvuotta eikä testivuotta 1979. Koska mittausaika ei ollut täyttä vuotta, on puuttuva jakso, 6.8-21.10, korvattu testivuoden säätiedostolla.



Kuva 6.1. Mittausvuoden ja normaalivuoden (1979) lämpötilat. (24h k.a.)

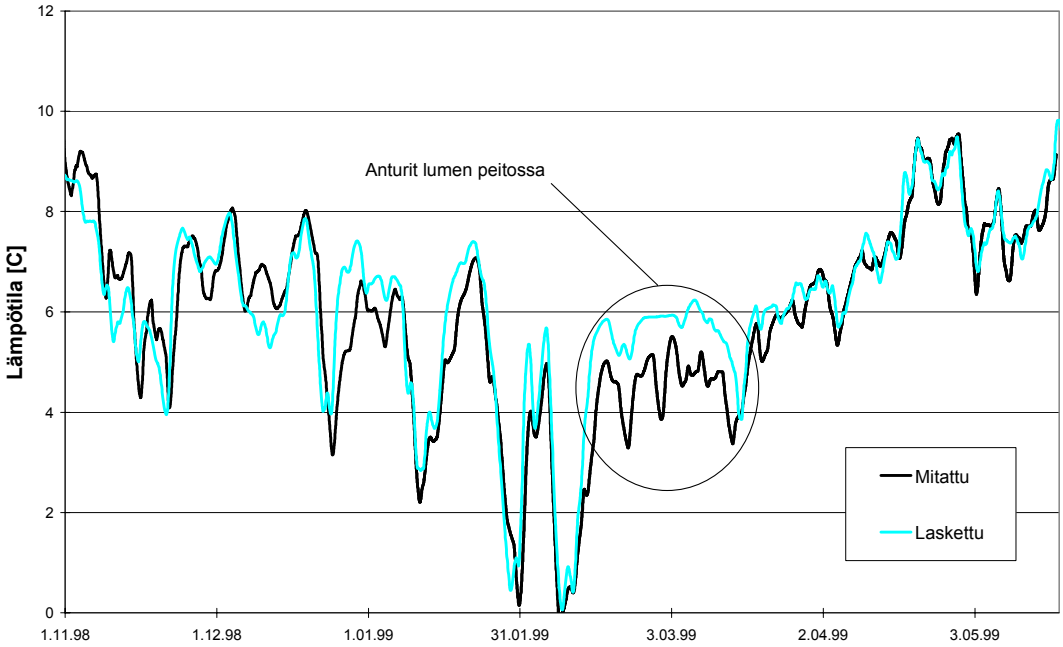


Kuva 6.2. Mittausvuoden ja normaalivuoden (1979) suhteelliset kosteudet. (24h k.a.)

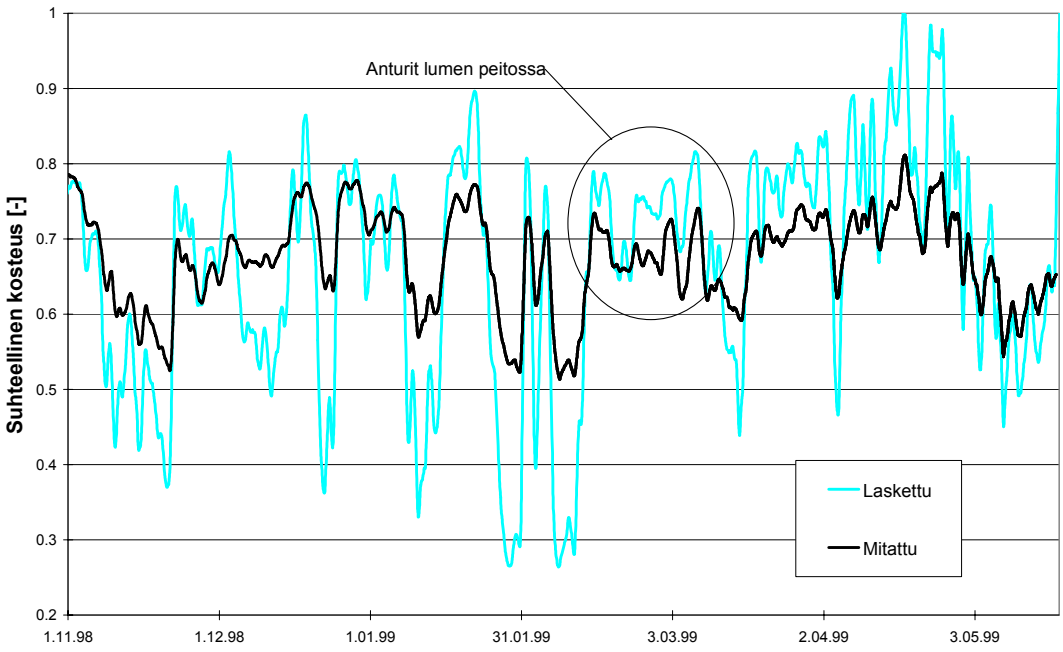
6.1 Puurakenteinen päiväkoti

Puurakenteisen päiväkodin mallintaminen aloitettiin dynaamisella mallilla, jossa ryömintätilan rakenteet ja pohjalla oleva kevytsora sekä maaperä mallinnettiin lämpökapasiteettien avulla, eikä niiden kosteuskapasiteettia otettu huomioon. Ryömintätilan laskettu ja mitattu ilman lämpötila saatiin hyvin vastaamaan toisiaan, kuva 6.3. Poikkeuksellisen luminen talvi aiheutti ulkolämpötila-anturin peittymisen lumikinokseen. Tämän vuoksi kuvaan 6.3 merkityllä jaksolla mitattiin ulkoa korkeampi suhteellinen kosteus, mikä johti myös suurempaan laskettuun kosteuteen ryömintätilassa, kuva 6.4.

Vaikkakin malli laski ilman lämpötilat lähelle mitattuja tuloksia, oli suhteellisissa kosteuksissa huomattavia eroja laskettujen ja mitattujen tulosten välillä. Malli laskee suhteelliselle kosteudelle huomattavasti suuremmat vaihtelut (sekä ylös, että alaspäin) kuin mitä mitattu tulos on, kuva 6.4. Tämä johtuu juuri siitä, että malli ei huomioi alapohjan eikä kevytsoran kosteuskapasiteettia, jolla on selvästi merkittävä vaikutus ryömintätilan kosteuskäyttäytymiseen.

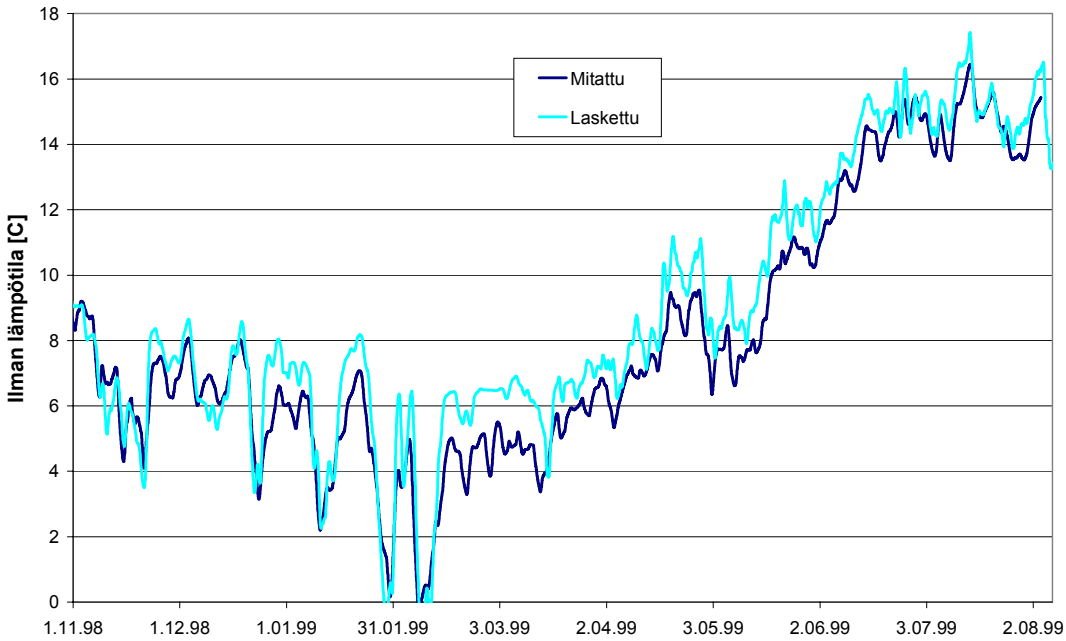


Kuva 6.3. Puurakenteisen päiväkodin mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman lämpötilat, kun laskentamallissa ei oteta huomioon rakenteiden kosteuskapasiteettia. Ilmanvaihto n=1 1/h. (24h k.a.)



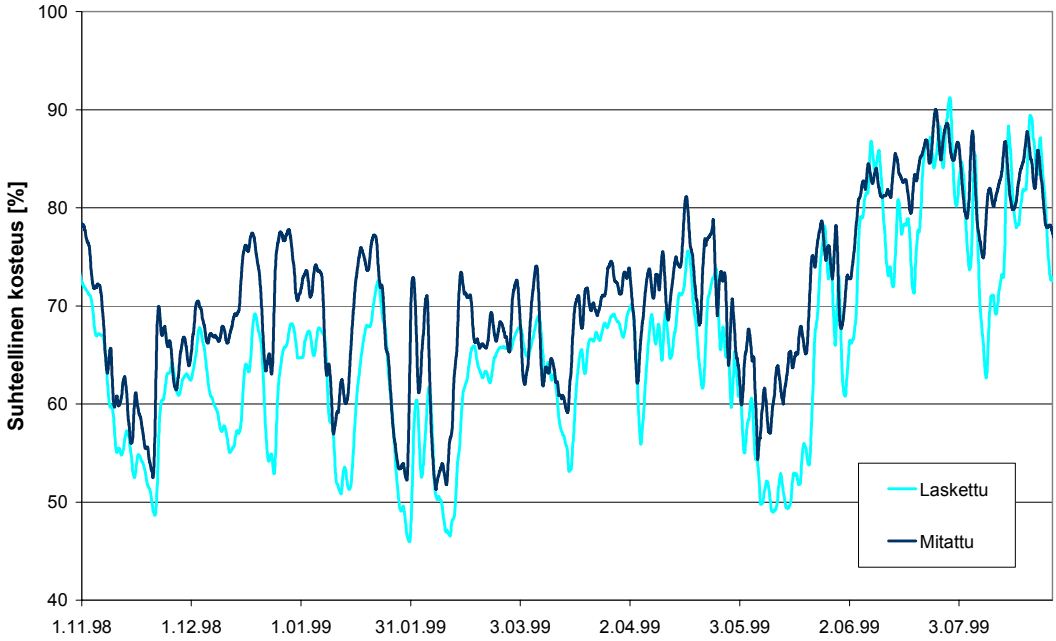
Kuva 6.4. Puurakenteisen päiväkodin mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman suhteelliset kosteudet, kun laskenta malli ei ota huomioon kosteuskapasiteettia. Ilmanvaihto n=1,0 1/h. (24h k.a.)

Mallintamistapaa kehitettiin ottamalla ryömintätilan pohjalle asetettavan kevytsoran ja alapohjan kosteuskapasiteetti huomioon. Mitattuja ja laskettuja tuloksia verrattaessa, havaittiin, että lämpötilojen laskennassa tarkkuus oli likimain saman kuin aikaisemmalla tavalla mallinnettaessakin, kuva 6.5.



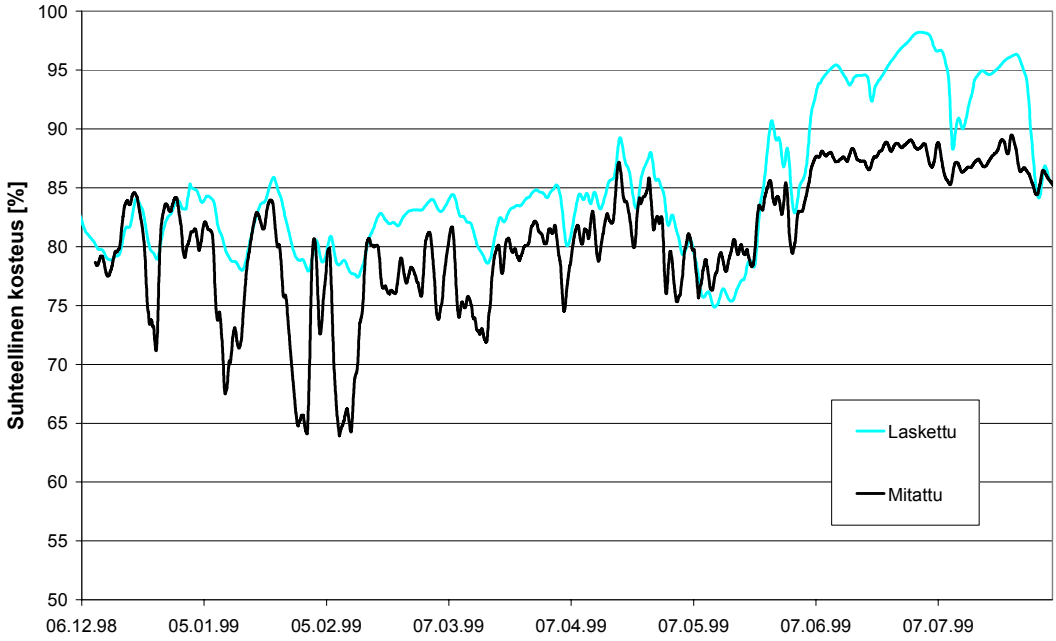
Kuva 6.5. Puurakenteisen päiväkodin mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman lämpötilat, kun laskenta malli huomioi kosteuskapasiteetin vaikutuksen. Ilmanvaihto n=1 1/h. (24h k.a.)

Kosteuskapasiteetin huomioon ottavalla mallilla laskettaessa saatiin ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen selvästi paremmin noudattamaan mitattuja arvoja kuin edellisellä mallilla laskettaessa, kuva 6.6. Laskettu suhteellinen kosteus on nyt riittävällä tarkkuudella sama kuin mitattu kosteus.



Kuva 6.6. Puurakenteisen päiväkodin mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman suhteelliset kosteudet, kun alapohjan ja kevytsoran kosteuskapasiteetti on otettu huomioon. Ilmanvaihto n=1 1/h. (24h k.a.)

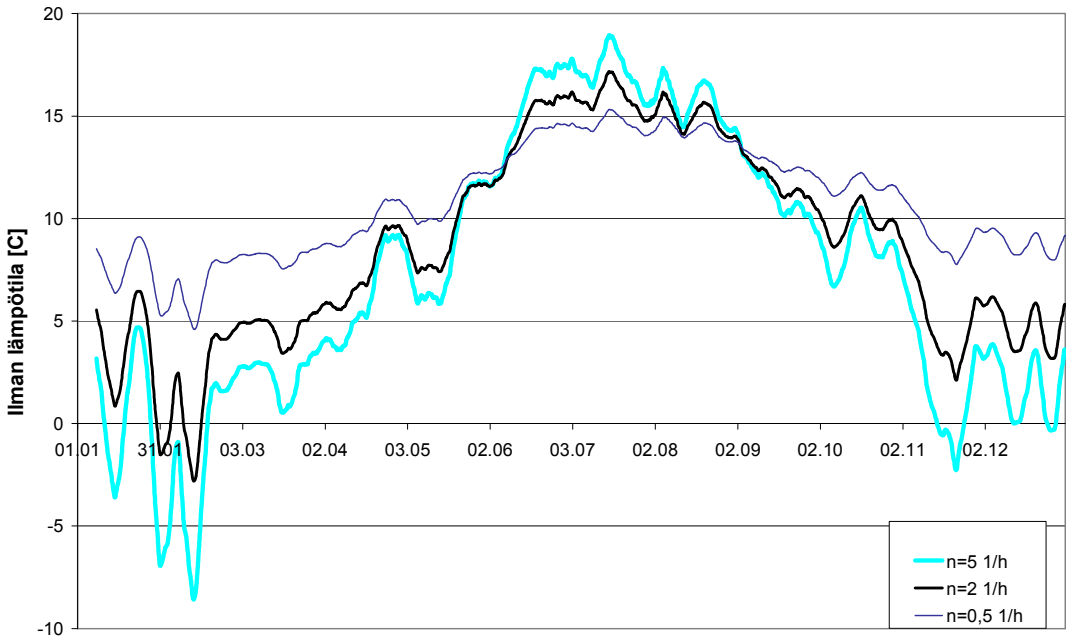
Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan lisäksi uuden mallin avulla voidaan tarkastella kevytsoran sisällä kosteusjakaumaa. Osassa mittausjaksoa yksi anturi oli kevytsoran sisällä noin 10 cm syvyydessä. Tarkasteltaessa tämä mittauspisteen suhteellista kosteutta ja laskettua suhteellista kosteutta, voidaan sanoa, että malli pystyy kohtuullisen hyvin laskemaan myös kosteuden materiaalin sisällä, kuva 6.7.



Kuva 6.7. Puurakenteisen päiväkodin pohjalle puhalletun kevytsoran mitatut ja lasketut suhteelliset kosteudet 10cm syvyydessä. Ilmanvaihto n=1 1/h. (24h k.a.)

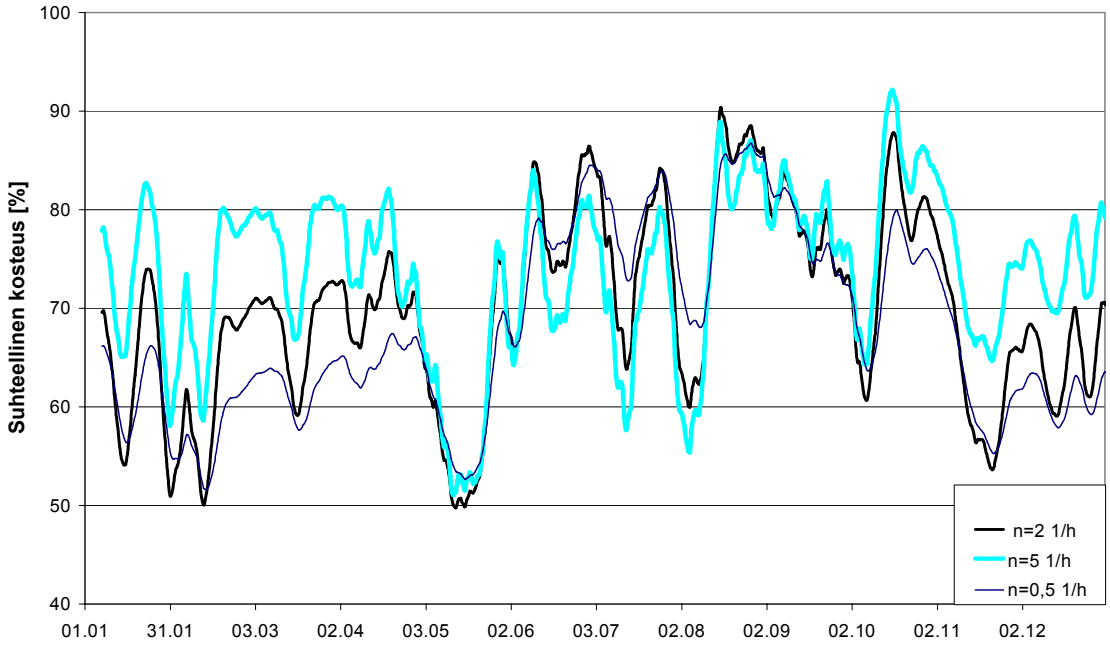
6.1.1 Ilmanvaihdon merkitys lämpö- ja kosteusolosuhteisiin

Mitä suurempi ilmanvaihto ryömintätilassa on sitä enemmän ryömintätilan ilman lämpötila alkaa lähestyä ulkoilman lämpötilaa. Liian suuri ilmanvaihto lämmityskaudella viilentää ryömintätilaa, ja ilman lämpötila ryömintätilassa voi olla jopa pakkasen puolella, kuva 6.8. Tutkittavan puurakenteisen päiväkodin ryömintätilan ilma on muutamia viikkoja pakkasella jo ilmanvaihdolla n=2 1/h. Kesällä suuri ilmanvaihto lämmittää ryömintätilaa. Erot ryömintätilan lämpötiloissa eivät kuitenkaan kesäaikana ole niin suuria kuin talvella eri ilmanvaihtoja käytettäessä. Ilmanvaihtuvuudella n=0,5 1/h saavutetaan koko vuotta ajatellen lämpimin ryömintätila.



Kuva 6.8. Puurakenteisen päiväkodin ryömintätilan lämpötila eri ilmanvaihdoilla. Maaperä on peitetty 15cm kevytsora kerroksella. Laskenta suoritettu mittausvuoden ulkoilman arvoilla. (viikkokeskiarvot)

Tutkitussa ryömintätilassa pienin ilmanvaihto (n=0,5 1/h) antoi alhaisimman suhteellisen kosteuden ryömintätilassa koko vuoden keskiarvoa ajateltaessa, kuva 6.9. Lämmityskaudella suuri ilmanvaihtuvuus kylmentää ryömintätilaa, ja suhteellinen kosteus kasvaa. Kesällä taas ilmanvaihdon kasvaessa ulkoilma lämmittää ryömintätilaa, ja ryömintätilan suhteellinen kosteus pienenee lämpötilan vaikutuksesta.

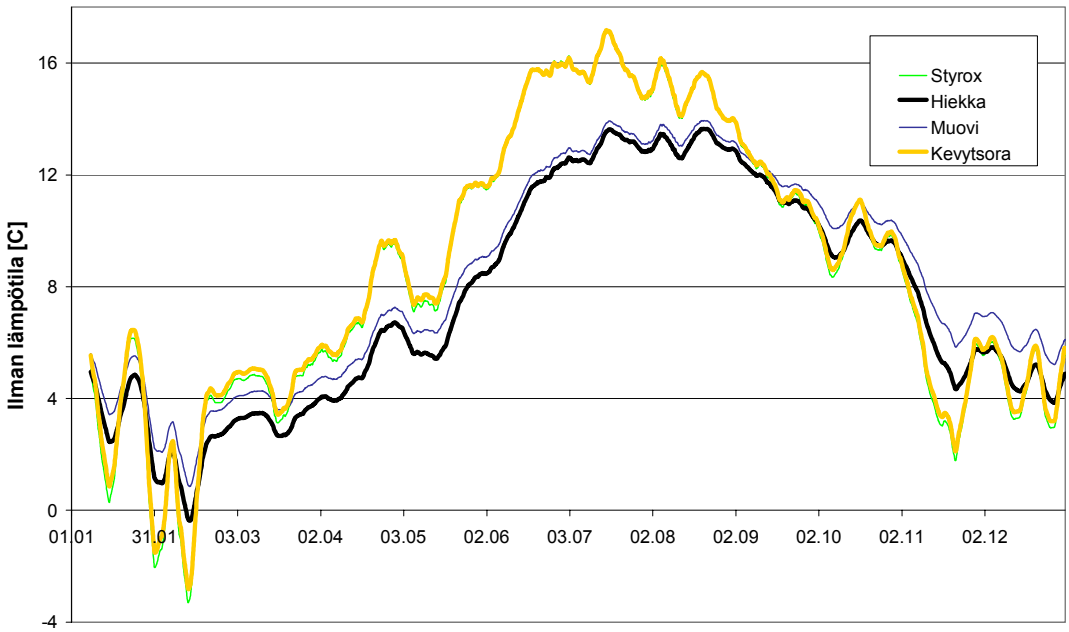


Kuva 6.9. Puurakenteisen päiväkodin ryömintätilan suhteellinen kosteus eri ilmanvaihdoilla. Laskenta suoritettu mittausvuoden ulkoilman arvoilla. (viikkokeskiarvot)

6.1.2 Eri pohjaratkaisujen vaikutus lämpö- ja kosteusolosuhteisiin

Erilaisia pohjaratkaisuja ryömintätilassa tarkasteltiin ilmanvaihtuvuudella n=2 1/h. Muovikalvolla peitetty ryömintätila ja peittämätön hiekkapohjainen ryömintätila ovat lähes saman lämpöisiä. Pieni ero lämpötiloissa johtuu veden ottamasta haihtumislämmöstä peittämättömässä maanpinnassa, eli sen lämpötila on hieman alhaisempi. Kesällä, jolloin haihtuminen maanpinnalta ei ole niin suurta lämpötilaerokin häviää, kuva 6.10.

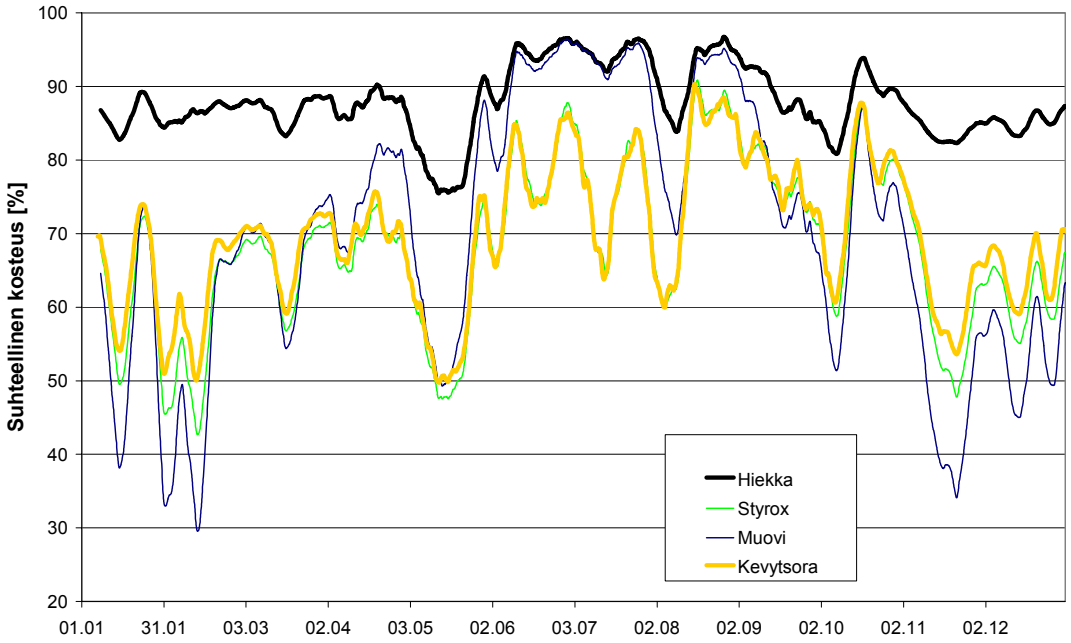
Käytettäessä 5 cm paksuista polystyreenieristettä tai 15 cm kerrosta kevytsoraa ryömintätilan pohjalla nousee ryömintätilan lämpötila selvästi. Tosin pakkaskuukausina ilma myös kylmenee helpommin nollan alapuolelle pienemmästä lämpökapasiteetista johtuen. Kevytsoralla ja polystyreenillä peitettyjen ryömintätilojen lämpökäyttäytyminen johtuu pääasiassa kerrosten lähes saman suuruisista lämmönvastuksista. Kevytsora kerroksen (15 cm) lämmönvastus on 1,5 m^2K/W ja polystyreeni (5 cm) kerroksen 1,25 m^2K/W.



Kuva 6.10. Ryömintätilan ilman lämpötilat eri pohjaratkaisuilla, kun ilmanvaihtuvuus n=2 1/h. Laskenta mittausvuoden ulkoilman arvoilla. (viikkokeskiarvot)

Ryömintätilan pohjan ollessa peittämätön hiekka, on suhteellinen kosteus korkea ympäri vuoden, kuva 6.11. Muovikalvon levittäminen ryömintätilan pohjalle ei kesällä auta, koska ulkoilma on kosteuden lähde. Kesällä ryömintätilan on kaikkein kuivin, jos sen pohja on peitetty kevytsoralla tai polystyreenillä. Myös lämmityskaudella ryömintätilan on kaikkein kuivin, jos käytetään kevytsorakerrosta tai polystyreeniä. Kevytsoran ja polystyreenin käyttäytyminen on melko samanlaista. Kevytsoran etuna on saumattomuuden lisäksi, että se kesällä pystyy sitomaan kosteuskapasiteettinsa ansiosta kosteutta, toisaalta talvella sen

suuremman kosteuspermeabiliteetin vaikutuksesta ryömintätila on hieman kosteampi kuin polystyreenin tapauksessa. Erot ovat kuitenkin pieniä.

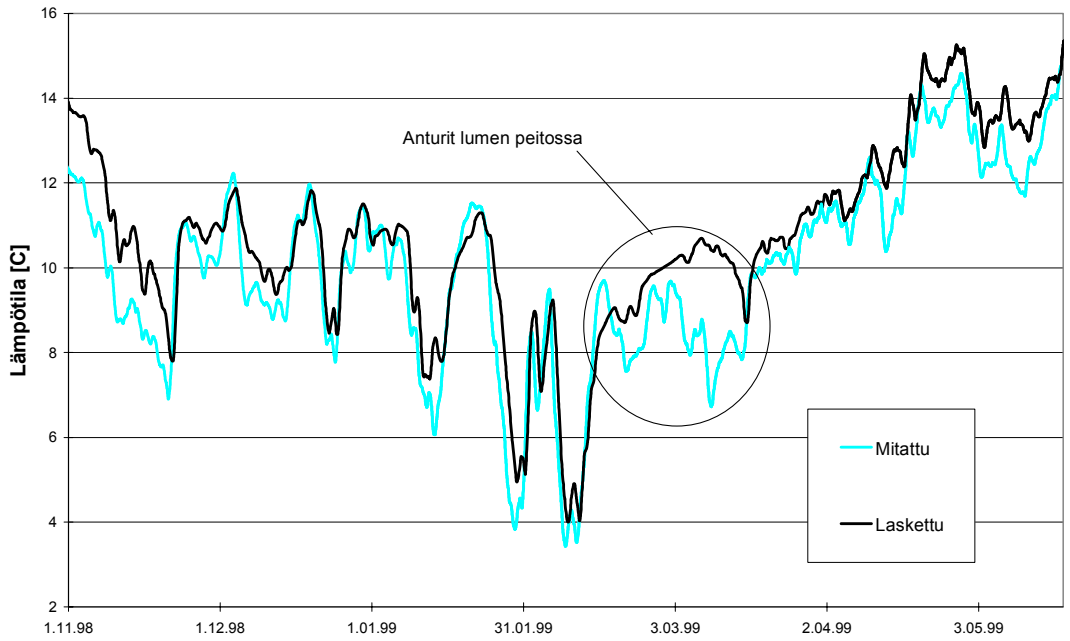


Kuva 6.11. Ryömintätilan ilman suhteelliset kosteudet eri pohjaratkaisuilla, kun ilmanvaihtuvuus n=2 1/h. Laskenta mittausvuoden ulkoilman arvoilla. (viikkokeskiarvot)

6.2 Betonirakenteinen kerrostalo

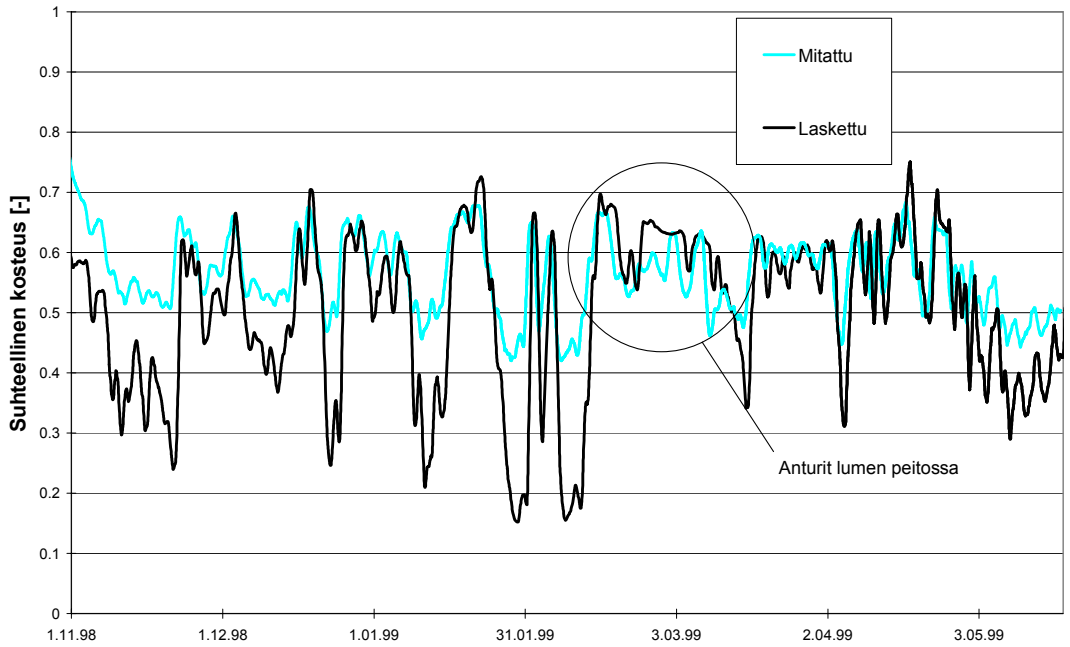
Toisin kuten puurakenteinen päiväkoti, betonirakenteisen kerrostalon ryömintätila oli tuuletettu luonnollisesti. Seuraavat tulokset on laskettu keskimääräisellä ilmanvaihdolla ryömintätilassa, ja näin ollen ei laskentaan ole saatu vastaavaa tarkkuutta, kuten puurakenteisessa päiväkodissa. Lisäksi harvinaisen luminen talvi sotki mittauksia, jolloin anturit olivat lyhytaikaisella jaksolla lumenpeitossa. Mittaustulokset tältä ajanjaksolta eivät ole todellisuutta kuvaavia.

Kun kosteuskapasiteettia betonirakenteista kerrostaloa mallinnettaessa ei otettu huomioon, saatiin lasketut ja mitatut lämpötilat vastaamaan toisiaan riittävällä tarkkuudella, kuva 6.12.



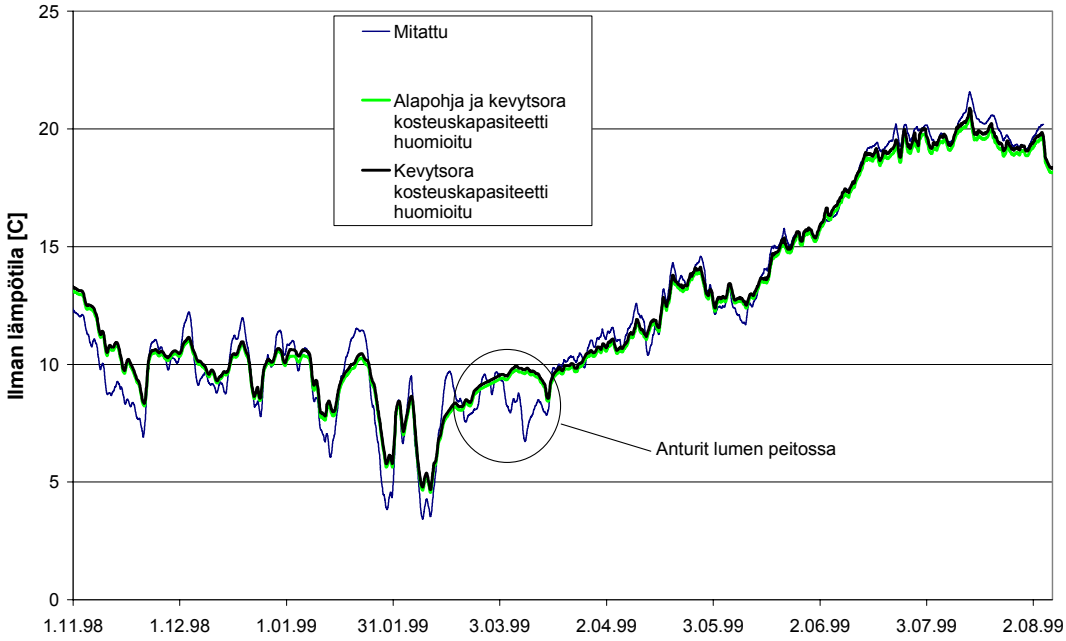
Kuva 6.12. Betonirakenteisen kerrostalon mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman lämpötilan, kun mallintamisessa ei ole otettu huomioon kosteuskapasiteettia. Ilmanvaihto n=1 1/h. (24 h k.a.)

Betonirakenteisen kerrostalon ryömintätilan suhteellista kosteutta mallinnettaessa eivät mitattu ja laskettu tulos vastanneet toisiaan niin hyvin kuin lämpötilat. Aivan kuten puurakenteisen päiväkodinkin tapauksessa suhteellinen kosteus vaihtelee lasketuissa tuloksissa huomattavasti enemmän kuin mitatuissa, kuva 6.13.

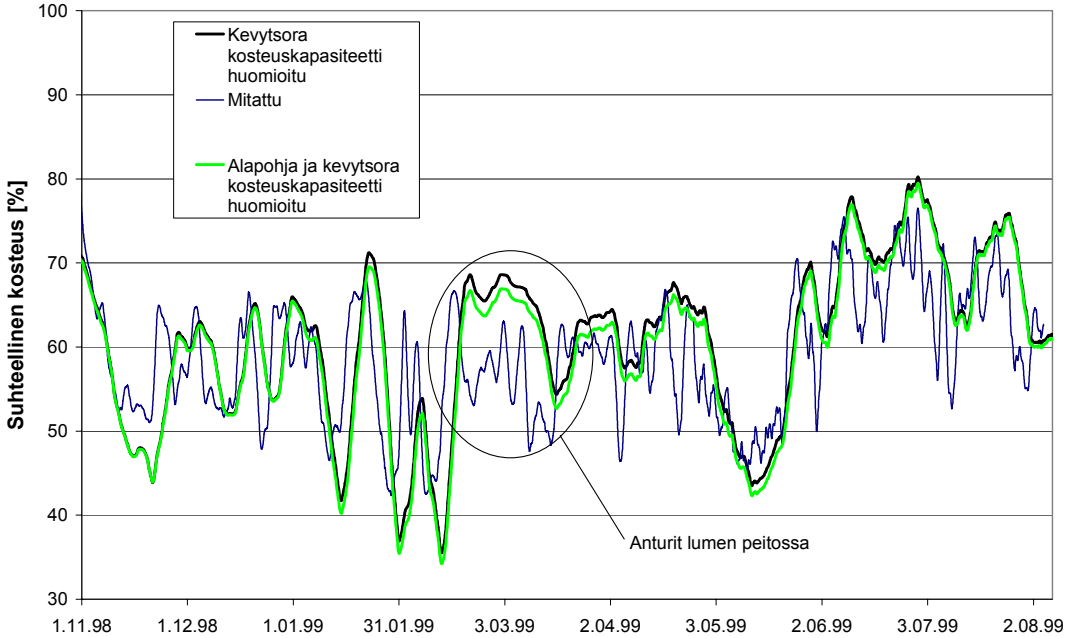


Kuva 6.13. Betonirakenteisen kerrostalon mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman suhteelliset kosteudet, kun mallintamisessa ei ole otettu huomioon kosteuskapasiteettia. Ilmanvaihto n=1 1/h. (24 h k.a.)

Alustavissa laskentatuloksissa mallista, joissa kevytsoran ja/tai alapohjan kosteuskapasiteetti on otettu huomioon, saatiin mitattu ja laskettu tulos vastamaan paremmin toisiaan erityisesti suhteellisen kosteuden osalta. Kuten alustavista tuloksista huomataan (kuvat 6.14 ja 6.15), ei alapohjan mallintamistavalla tässä tapauksessa ole suurta merkitystä, koska alapohja on betoninen (ontelolaatta) ja se on eristetty solupolystyreenillä, joka ei sido paljon kosteutta. Tulokset ovat kuitenkin vielä alustavia, ja niitä tarkennetaan tutkimuksen toisessa osassa.



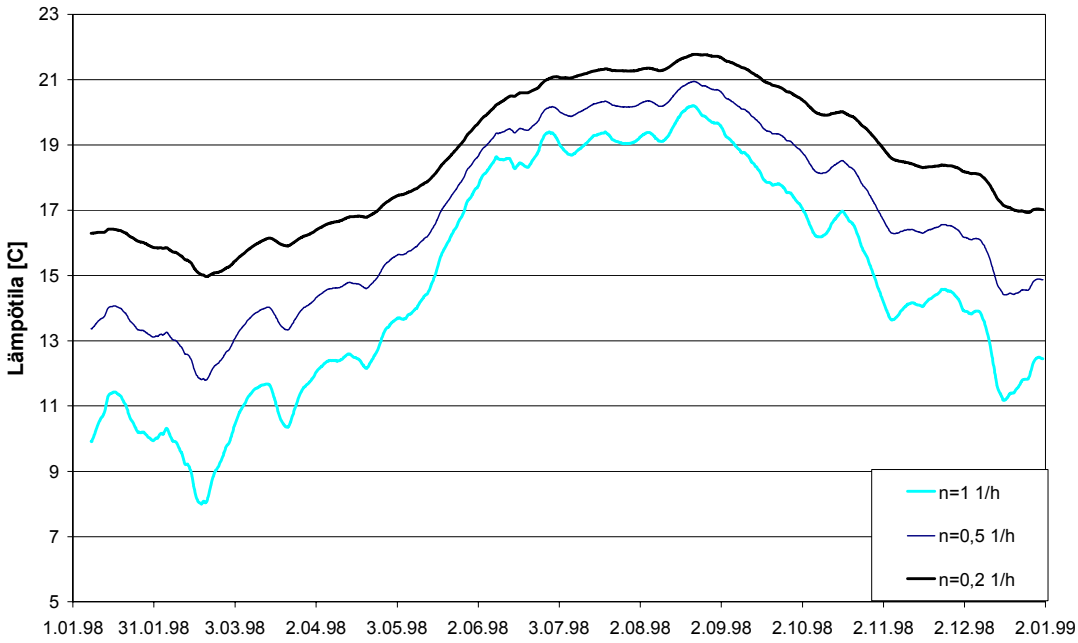
Kuva 6.14. Betonirakenteisen kerrostalon mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman lämpötilat, kun mallintamisessa on kosteuskapasiteetti otettu huomioon ainoastaan kevytsorassa ja kevytsorassa sekä alapohjassa. Ilmanvaihto n=1,1 1/h. (24h k.a.)



Kuva 6.15. Betonirakenteisen kerrostalon mitatut ja lasketut ryömintätilan ilman suhteelliset kosteudet, kun mallintamisessa on kosteuskapasiteetti otettu huomioon ainoastaan kevytsorassa ja kevytsorassa sekä alapohjassa. Ilmanvaihto n=1,1 1/h. (24h k.a.)

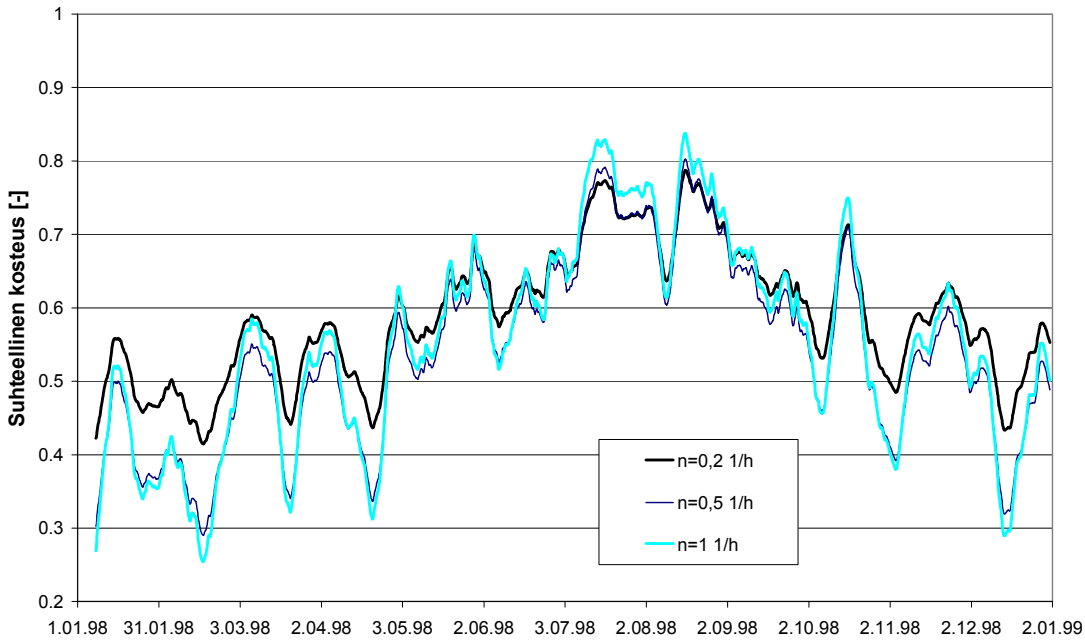
6.2.1 Ilmanvaihdon merkitys lämpö- ja kosteusolosuhteisiin

Betonirakenteisen ryömintätilan havaittiin pysyvän kaikkein lämpimimpänä ympäri vuoden ilmanvaihtuvuudella 0,2 1/h, joka oli pienin tarkasteltava ilmanvaihto. Myös ilmanvaihtuvuuksilla n=0,5 1/h ja n=1,0 1/h ryömintätila pysyi suhteellisen lämpimänä ympäri vuoden, kuva 6.16.



Kuva 6.16. Ryömintätilan ilman lämpötila eri ilmanvaihtuvuuksilla. Laskennat on tehty mittausvuoden säätiedostolla ja mallilla, jossa ei rakenteiden kosteuskapasiteettia ole huomioitu. (vuorokausikeskiarvot)

Ryömintätilan suhteellisia kosteuksia tarkasteltaessa koko vuoden ajalta pysyy ryömintätila keskimäärin kuivimpana pienimmällä ilmanvaihdolla, n=0,2 1/h, koska myös tällä ilmanvaihdolla ryömintätila oli kaikkein lämpimin, kuva 6.17. Talvella kaikilla lasketuilla ilmanvaihdoilla saavutetaan alhainen suhteellinen kosteus ryömintätilassa. Ilmanvaihdoilla n=0,5 1/h ja n=1 1/h ei suhteellisissa kosteuksissa juurikaan tullut eroa.

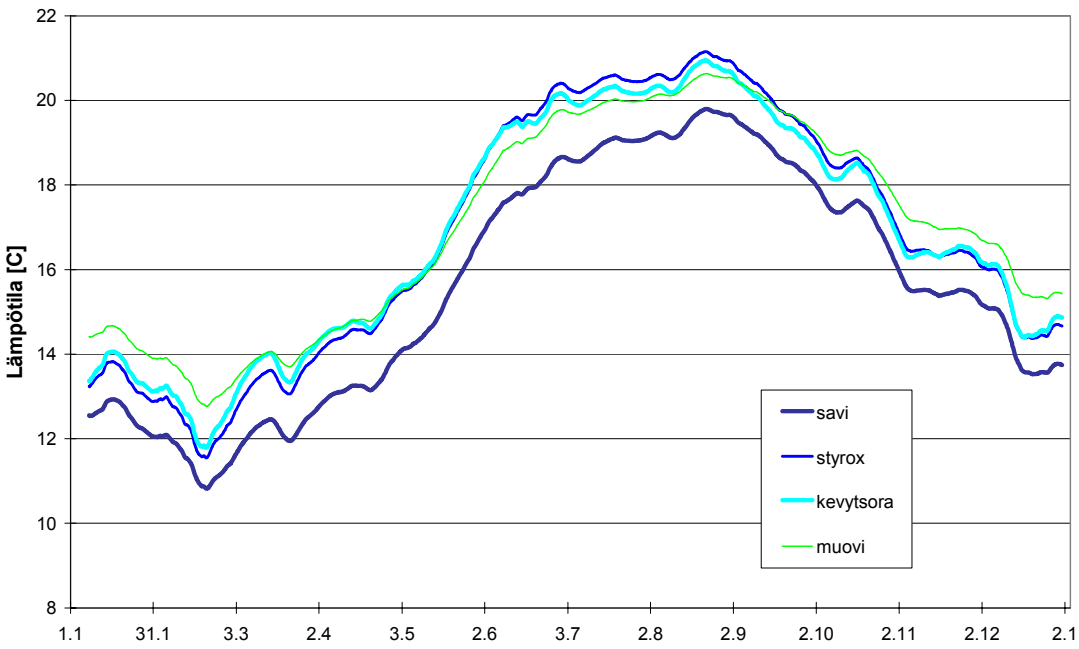


Kuva 6.17. Ryömintätilan suhteellinen kosteus eri ilmanvaihtuvuuksilla. Laskennat on tehty mittausvuoden säätiedostolla ja mallilla, jossa ei rakenteiden kosteuskapasiteettia ole huomioitu. (vuorokausikeskiarvot)

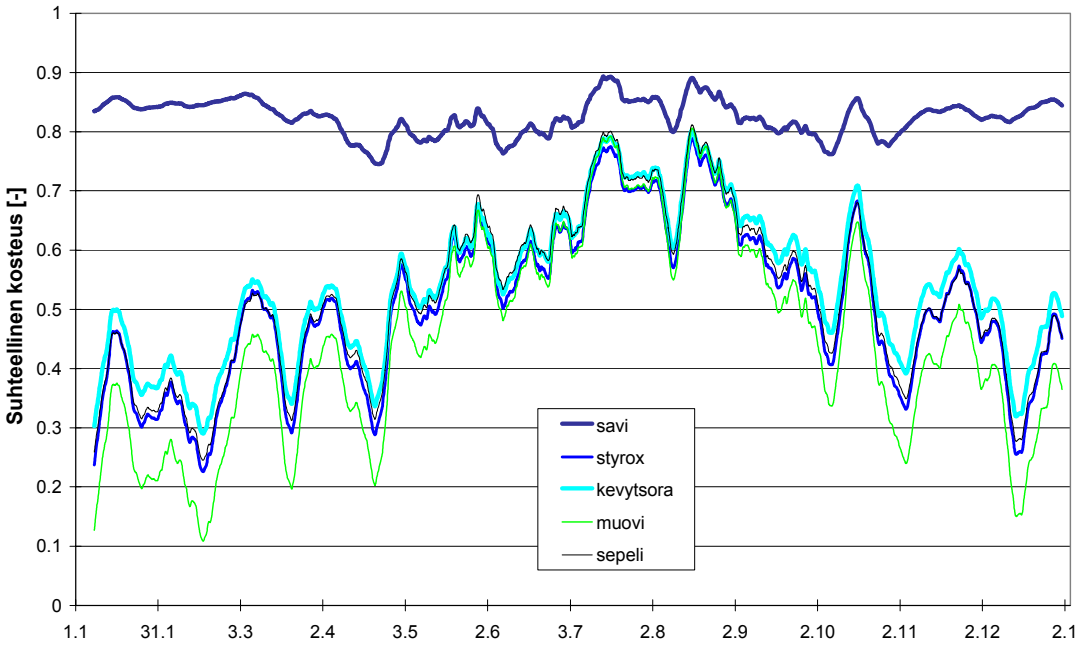
6.2.2 Eri pohjaratkaisujen vaikutus lämpö- ja kosteusolosuhteisiin

Eripohjaratkaisujen merkitystä tarkasteltaessa havaittiin, että ilmanvaihtuvuudella n=0,5 1/h kaikkein kylmin vaihtoehto on peittämätön savimaa. Muut tarkasteltavat tapaukset, kevytsorakerros, solupolystyreenieriste ja muovikalvo pitivät ryömintätilan melko samanlaisessa lämpötilassa eikä merkittäviä lämpötilaeroja syntynyt näin pienellä ilmanvaihtuvuudella, kuva 6.18.

Ryömintätilan suhteellinen kosteus oli selkeästi korkein peittämättömällä savimaanpinnalla. Kaikkein kuivin ryömintätila saatiin muovilla peitetyllä ryömintätilalla. Styrox ja kevytsora peitteisen ryömintätilan kosteuksissa ei ollut suuria eroja, kuva 6.19.



Kuva 6.18. Ryömintätilan ilman lämpötila erilaisilla pohjaratkaisuilla. Ilmanvaihtuvuus on 0,5 1/h. Laskenta suoritettu mittausvuoden säätiedostolla ja mallilla, joka ei ota huomioon rakenteiden kosteuskapasiteettia. (viikkokeskiarvot)



Kuva 6.19. Ryömintätilan ilman suhteellinen kosteus erilaisilla pohjaratkaisuilla. Ilmanvaihtuvuus on 0,5 1/h. Laskenta suoritettu mittausvuoden säätiedostolla ja mallilla, joka ei ota huomioon rakenteiden kosteuskapasiteettia. (viikkokeskiarvot)

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Ryömintätilan lämpö- ja kosteusolot

7.1.1 Kesäaikaiset kuukausikeskiarvot

Tutkimuskohteiden erityyppisten ryömintätilojen ja niissä käytettyjen ratkaisujen vertailemiseksi on laskettu taulukkoon 7.1 ja 7.2 suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuukausikeskiarvot ryömintätilan toiminnan kannalta kriittisimmän aikajakson, kesäkuukausien ajalta.

Taulukko 7.1. Suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvot tutkimuskohteiden ryömintätiloissa.

	Kerrostalo		Päiväkoti 1		Pienkerrostalo
	Kevytsora	Savi/kuivaus.*	Kevytsora	Sepeli	Hiekka/kuiv.**
Kesäkuu	68,6	69,3	82,6	87,4	70,2
Heinäkuu	64,1	67,7	81,6	81,6	67,4
Elokuu	66,3	81,1	77,6	78,5	83,6
Kesän k.a.	*66,3*		*80,6*	*82,5*	

* Kuivauskone kerrostalon peittämättömän maanpinnan ryömintätilassa 17.5 - 5.8.1999
** Kuivauskone pienkerrostalon ryömintätilassa 15.3 - 5.8.1999

Taulukko 7.2. Lämpötilan kuukausikeskiarvot tutkimuskohteiden ryömintätiloissa.

	Kerrostalo		Päiväkoti 1		Pienkerrostalo
	Kevytsora	Savi/kuivaus.*	Kevytsora	Sepeli	Hiekka/kuiv.**
Kesäkuu	18,3	17,9	13,4	12,9	17,7
Heinäkuu	20,0	19,9	14,6	14,7	20,0
Elokuu	18,2	17,4	13,8	13,5	15,6
Kesän k.a.	*18,8*		*13,9*	*13,7*	

* Kuivauskone kerrostalon peittämättömän maanpinnan ryömintätilassa 17.5 - 5.8.1999
** Kuivauskone pienkerrostalon ryömintätilassa 15.3 - 5.8.1999

7.1.2 Ratkaisujen toimivuus

Kevytsoraratkaisun tulokset osoittavat, että sama, tehokkaasti kosteuden haihtumisen katkaiseva pohjaratkaisu voi johtaa erityyppisissä ryömintätiloissa erilaiseen lopputulokseen. Kevytsoraratkaisu on toiminut erittäin tehokkaasti kerrostalon ryömintätilassa, missä kosteus on jopa alhaisempi kuin kuivauskoneella varustetun saviryömintätilan kosteus. Myös päiväkodissa 1 kevytsora on rajoittanut kosteuden haihtumista tehokkaasti, mutta alhaisen

ryömintätilan lämpötilan vaikutuksesta on suhteellinen kosteus kohonnut lähelle homekasvuston kannalta kriittistä raja-arvoa 80…85%.

Merkittävä kevytsoran kosteusteknistä toimintaa kuvaava tulos on kevytsorakerroksen puolesta välistä mitattu n. 85% kosteus. Kosteus kevytsorakerroksen pinnalla oli lähes sama kuin ryömintätilan ilmassa. Tämä osoittaa, että käytetyt kevytsorakerrokset (10-20 cm) toimivat kapillaarikatkona. Lisäksi kevytsoran lämmöneristävyys ja pieni terminen massa ovat kohottaneet ryömintätilan lämpötilaa kevät- ja kesäaikana, mikä alentaa ryömintätilan suhteellista kosteutta.

Sepeliratkaisu on toiminut huonommin kuin kevytsoraratkaisu. Vaikka sepelikerroksen pitäisi toimia kapillaarikatkona ei ole se päiväkoti 1:ssä toteutunut. Kosteus nousi sepelikerroksesta läpi, sepelikerroksen pinnalla oli lähes jatkuvasti yli 90% suhteellinen kosteus. Sepeliratkaisun huono ominaisuus on sen merkittävä terminen massa. Tämä lisää ryömintätilan termistä hitautta aiheuttaen suuremman viiveen ulkolämpötilan ja ryömintätilan lämpötilan välille, eli kevät- ja kesäaikana ryömintätilan lämpötila on alhainen.

Kuivauskoneratkaisu on alentanut tehokkaasti molemman tutkimuskohteen ryömintätilan kosteutta. Yksi kuivauskone oli täysin riittävä kerrostalon 127 m^2 ryömintätilassa, missä ilma oli lähes täydellisesti sekoittunut, eli ryömintätilan keskeltä ja nurkasta mitattu kosteus oli sama, alle 70 %. Pienkerrostalon pitkässä (30 m) ja peruspalkilla kahden lohkoon jaetussa ryömintätilassa ulottui yhden kuivauskoneen vaikutus myös toiseen ryömintätilaan lohkoon. Toisessa ryömintätilan lohkossa, missä ei ollut kuivauskonetta ja mihin ilmanvirtaus pääsi tapahtuman vain n. 10 cm peruspalkin ja ryömintätilan pohjan välisen raon kautta oli ryömintätilan kosteus n. 10% korkeampi, kuitenkin alle 80%. Tulokset osoittavat, että kuivauskoneella voidaan alentaa ryömintätilan kosteutta luotettavasti ja tehokkaasti. Lisäksi kuivauskone nostaa ryömintätilan lämpötilaa, pienkerrostalon ryömintätilassa, missä oli erittäin alhainen tuuletus, lämpötilan nousu oli arviolta 2…3 astetta.

Tutkimuksessa vertailukohteina käytetyn peittämättömän maanpinnan ryömintätilojen kosteus oli erittäin korkea. Kerrostalon saviryömintätilassa kosteus oli jatkuvasti n. 80…90% sekä pienkerrostalon ryömintätilassa, mihin oli ajoittain valunut vettä ja hiekka oli kosteata, kosteus oli 95% tasolla. Nämä tulokset osoittavat, kuten aikaisemmatkin tutkimukset, että ryömintätilassa ei saa olla peittämätöntä, kosteata maanpinta vaan maaperän kosteustuottoa on rajoitettava pohjaratkaisulla.

7.1.3 Lämpötekninen toiminta

Tutkimustulokset osoittavat, että pelkkä maaperän kosteustuoton rajoittaminen ei ole riittävä toimenpide mikäli ryömintätila on kesällä hyvin kylmä (13…15ºC). Kylmä ryömintätilaa on seurausta hyvin lämmöneristetystä alapohjasta ja ryömintätilan termisestä massasta: ryömintätilan lämpötilaan vaikuttavat ryömintätilan lämpökapasiteetti ja alapohjan sekä sokkelin lämmöneristys. Kylmän ryömintätilan tapauksessa ulkoilmasta tulee kosteuslähde, eli

lämmin ja kostea ulkoilmaa kuljettaa ryömintätilaan kosteutta ja ryömintätilan suhteellinen kosteus voi lähestyä 100%. Tämän välttämiseksi hyvin lämmöneristetyn alapohjan tapauksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota ryömintätilaan lämpötilaan hallintaan. Alapohjan lämmöneristykseen ei voida kuitenkaan vaikutta, koska sen taso määräytyy energiankulutustason mukaisesti.

Ryömintätilan jäähtymistä talvella voidaan vähentää eristämällä sokkelin/perustusten kylmäsillat. Lisäksi ryömintätilan lämpökapasiteetilla voidaan vaikuttaa viiveeseen ulkoilman ja ryömintätilan ilman välillä. Jos ryömintätilan terminen massa on suuri (maaperä tai sepeli ja massiiviset rakenteet kosketuksessa suoraan ryömintätilaan ilmaan) seuraa ryömintätilan ilma ulkoilmaa pitkällä viiveellä. Vähentämällä lämpökapasiteettia esim. kevyiden solumuovilämmöneristeiden ja kevytsoran avulla ja lisäämällä ryömintätilan tuuletusta voidaan ko. viivettä vähentää. Tällä hetkellä ei ole kuitenkaan tutkimustietoja voidaanko em. toimenpiteillä nostaa ryömintätilan lämpötilaa riittävästi vai onko hankalissa tapauksissa käytettävä esim. kuivauskonetta.

7.1.4 Ilmanvaihdon ja pohjaratkaisun vaikutus kosteuteen

Ilmanvaihdon ja pohjaratkaisujen vaikutusta ryömintätilan kosteuteen tutkittiin kahdella dynaamisella mallilla IDA-simulointiympäristössä. Ensimmäinen malli otti huomioon lämmönsiirtymisen ja haihtumisen maanpinnalta; toinen malli otti huomioon edellisen lisäksi myös kosteuden siirtymisen kevytsorakerroksessa ja alapohjassa. Malli, joka otti myös kosteudensiirron rakenteissa huomioon, laski suhteellisen kosteuden huomattavasti tarkemmin. Erityisesti puualapohjaisessa päiväkodissa oli alapohjan kosteuskapasiteetillä suuri ryömintätilan kosteushuippuja tasaava vaikutus. Betonirakenteisessa kerrostalossa, missä alapohjan kosteuskapasiteetti oli pieni (styrox ontelolaatan alapuolella) oli myös sen merkitys laskentatuloksiin lähes olematon. Kevytsoran kosteuskapasiteetilla oli merkitystä molemmissa tapauksissa.

Pohjaratkaisujen vaikutus perustuu maanpinnalta haihtuvan kosteuden estämiseen ja massiivisen maan lämpökapasiteetin eristämiseen. Ryömintätila lämpenee kesällä nopeammin, kun sen pohja on eristetty ja lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus ryömintätilassa laskee. Samalla ryömintätila myös jäähtyy talvella nopeammin. Näin ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen on voimakkaasti riippuvainen lämpökäyttäytymisestä.

Ilmanvaihdon lisääminen muuttaa ryömintätilan lämpötilan periaatteessa yhdenmukaisemmaksi ulkolämpötilan kanssa. Kriittisin tilanne oli puurakenteisessa päiväkodissa, missä oli hyvin lämmöneristetty alapohja ja siitä johtuen alhainen ryömintätilan lämpötila. Päiväkodissa ilmanvaihdon lisääminen kesällä lämmitti selvästi ryömintätilaa ja sen suhteellinen kosteus laski, taulukko 7.3. On merkittävää, että ilmanvaihdon lisääminen arvosta 0,5 1/h arvoon 2 1/h antaa vain pienen parannuksen. Merkittävä kosteuden aleneminen saavutettiin vasta ilmanvaihdolla 5 1/h. Kun päiväkodin laskettuja tuloksia verrataan mittaustuloksiin nähdään, että laskettu lämpötila on ollut jatkuvasti hieman korkeampi kuin

mitattu ja kosteus vastaavasti hiukan alhaisempi. Tämä voi johtua osittain laskennassa käytetyistä lähtöarvoista, joita tarkentamalla tulosten vastaavuutta voitaisiin ehkä parantaa. Toisaalta tutkimuksen aikana huomattiin mittaustuloksissa tiettyä epäloogisuutta, mikä voi johtua päiväkodin eri ryömintätilan lohkojen välillä tapahtuvista virtauksista.

Betonirakenteisen kerrostalon ryömintätilan lämpötekninen käyttäytyminen oli päinvastainen päiväkotiin verrattuna. Siinä ilmanvaihdon lisääminen jäähdytti kesällä ryömintätilaa ja lisäsi suhteellista kosteutta hieman, taulukko 7.3. Tämä johtui alapohjan läpi tapahtuvista merkittävistä lämpöhäviöitä ryömintätilaan ja lisäksi ryömintätilaa lämmittivät siinä kulkevat kaukolämpöputket. Näin ollen ryömintätila oli varsin lämmin ja ulkoilma jäähdytti ryömintätilaa myös kesäaikana. Alhaisin kosteus tässä ryömintätilassa saavutettiin ilmanvaihdolla 0,5 1/h.

Taulukko 7.3. Ryömintätilan suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvot ja kesän k.a.

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

Tulokset osoittavat, että ilmanvaihdosta saadaan paras hyöty, jos sitä käytetään kaksiportaisena niin, että kesällä ilmanvaihto on suurempi kuin lämmityskaudella. Lämmityskaudella tarkoituksenmukainen ilmanvaihto on 0,5 1/h. Lämmityskaudella ilmanvaihto voi vaihdella alueella 0,5…2 1/h, 0,5 1/h voidaan pitää minimi-ilmanvaihtona. Betonirakenteiden tapauksessa 0,5 1/h on täysin riittävä ympärivuotuisestikin, mikäli kosteuden haihtumista on rajoitettu asianmukaisesti pohjaratkaisulla. Hyvin lämmöneristetyn puualapohjan tapauksessa, kesäaikaisen lämpötilan nostamiseksi, ilmanvaihtoa tulee lisätä arvoon 3…5 1/h toukokuun alusta syyskuun loppuun asti.

7.1.5 Tutkimuskohteiden korjaustoimenpiteiden riittävyys

Kerrostalon kevytsoraratkaisu alensi ryömintätilan kosteutta erittäin tehokkaasti ja korjausratkaisu, 15…20 cm kevytsorakerroksen puhallus suoraan saven päälle, oli siten onnistunut. Kevytsoraryömintätilan suhteellinen kosteus oli lämmityskaudella alle 60% ja kesällä alle 70%, kun viereisen savipintaisen ryömintätilan kosteus oli jatkuvasti n. 85%. Kuitenkin tämä voidaan tässä rakennuksessa hyväksyä, koska alapohja on betonirakenteinen

ja ryömintätila oli puhdistettu orgaanisesta jätteestä sekä salaojitus ja sadevesien poisto olivat kunnossa.

Puurakenteisen pienkerrostalon ryömintätilassa oli erittäin korkea kosteus, jatkuvasti n. 95%. Sadevesien poistojärjestelmän ja salaojituksen korjaustöiden jälkeen kuivumista ei tapahtunut. Toinen ongelmakohta oli sokkelin kylmäsilta, jonka takia lämmityskaudella ulkoseinää kantavan peruspalkin päällä oleva puukannattaja oli jatkuvasti märkää (RH 100% + kondenssivettä). Kuivauskoneella pystyttiin kosteus alentamaan n. 70 % tasolle, mutta kuivauskoneen poistamisen jälkeen kosteus kohosi 90% tasolle. Näin puurakenteinen pienkerrostalo tarvitsee selvästi korjauksia: joko on käytettävä kuivauskonetta tai maaperän kosteustuottoa on rajoitettava kevytsorapuhalluksella. Kevytsoraratkaisun tapauksessa rakennusten päätyihin tarvitaan lisäksi tuuletusaukot, koska nykyinen tuuletus on riittämätön. (Kuivauskoneratkaisun tapauksessa tuuletuksen lisäystä ei tarvita.) Kevytsorapuhallus edellyttää myös ryömintätilojen siivousta jätteistä ja tarvittaessa pohjan tasaamista sekä suodatinkankaan asentamista ennen n. 10 cm kevytsorakerroksen puhaltamista.

Päiväkodin 1 ryömintätiloissa oli ongelmana kesäaikainen alhainen lämpötila. Käytetyt korjausratkaisut, kevytsora- ja sepelipuhallus suodatinkankaan päälle, rajoittivat kosteuden haihtumista yleisesti ottaen riittävästi vaikka sepeliratkaisu oli osittain epäonnistunut. Jatkotoimenpiteenä voidaan suositella ryömintätilan tuuletuksen lisäämistä niin, että jo olemassa olevia huippuimureita käytetään ympärivuorokautisesti. Tällä hetkellä imureiden ohjaus on yhdistetty ilmanvaihtokoneeseen ja ne toimivat vain päivän aikana arkisin. Lämmityskaudella tarvittaisiin 0,5 1/h ilmanvaihto ja toukokuun alusta syyskuun loppuun imureita olisi jatkuvasti käytettävä täydellä teholla, jolloin saavutettaisiin n. 1,5 1/h ilmanvaihto. Lisääntyneen ilmanvaihdon vaikutuksesta ryömintätilan lämpötilan pitäisi nousta kesäaikana ja vastaavasti suhteellisen kosteuden laskea. Koska tällä hetkellä ryömintätilan suhteellinen kosteus on kesäaikana homekasvuston muodostumisen raja-arvojen tasolla on ryömintätilan rakenteiden tilaa ja mahdollisia homeen hajuja seurattava silmämääräisiin tarkistuksiin.

7.2 Ryömintätilan mikrobiologiset olot

Ryömintätilan ilman sieni-itiöpitoisuudet olivat muutamia tuhansia cfu/m^3 ylittäen yli kymmenkertaisesti asunnoissa normaalisti tavattavat pitoisuudet. Ryömintätilojen mikrobipitoisuudelle ei kuitenkaan ole olemassa hyvää vertailuaineistoa ja siksi tässä esitetyille tuloksille ei löydy hyvää vertailukohtaa. Talvimittauksessa kerrostalokohteessa ryömintätilan maapohjan peitteellä (kevytsora tai savi) ei näyttänyt olevan vaikutusta ilman sieni-itiöpitoisuuteen. Päiväkoti 1 -kohteessa kevytsorapeitteisen lohkon pitoisuudet jäivät noin kolmasosaan sepelipeitteeseen lohkoon verrattuna. Kevätmittausjaksolla sieni-itiöpitoisuudet olivat kevytsorapeitteisissä ryömintätiloissa noin puolet savi- ja sepelipeitteisiin lohkoihin verrattuna. Näiden mittausten perusteella kevytsorapinnoite ryömintätilassa näyttäisi alentavan sieni-itiöpitoisuutta ryömintätilassa. Sienilajistoon pinnoitteella ei ollut vaikutusta. Sen sijaan talvi- ja kevätmittausten välillä lajistossa oli

muutoksia erityisesti *Acremonium*- sienen esiintymisessä. Kyseinen sieni viihtyy hyvin kosteassa ja märässä puumateriaalissa ja siksi on oletettavaa, että puurakenteiden pintojen kosteusolosuhteet ovat olleet talvijaksolla edullisemmat sienen kasvulle (erityisesti kerrostalon ryömintätilassa) ja itiöiden irtoamiselle kuin kevätjaksolla. Materiaalinäytteiden mikrobitulokset tukevat tätä havaintoa. Pienkerrostalon suhteellisen korkea elinkykyisten sieni-itiöden kokonaispitoisuus viittaa epätavalliseen *Aspergillus* sienen lähteeseen. *Penicillium* oli toinen valtalaji. Valitettavasti tässä kohteessa ei määritetty ryömintätilan ilman mikrobipitoisuutta, eikä ryömintätilan materiaalinäytteissäkään esiintynyt tätä sientä.

Talvijaksolla sisäilman mikrobipitoisuudet olivat varsin korkeita ylittäen jopa STM:n ohjeessa määritellyn sisäilman sieni-itiöpitoisuuden normaalitason. Talvijakson mittausaineistossa ryömintätilan lajisto heijastuu sisäilman lajistoon. Erityisesti *Acremonium* -sienen esiintyminen sisällä viittaa ryömintätilan ja sisätilan väliseen yhteyteen. Aktinomykeettejä esiintyi päiväkoti 2 ja kerrostalon ryömintätilan ilmassa samoin myös näiden kohteiden sisäilmassa. Tämä tukee edelleen rakovirtausten mahdollisuutta. Kevätjaksolla aktinomykeettipitoisuus oli kohonnut pienkerrostalon ryömintätilassa ja niitä esiintyi vähäisessä määrin myös sisäilmassa viitaten vuotoreittien olemassa oloon. Yleensäottaen kevätjaksolla sisätilan mikrobipitoisuus oli normalisoitunut ollen suuruusluokaltaan ulkoilman tasoa.. Myöskään yhtä voimakasta lajistoriippuvuutta sisätilan ja ryömintätilan välillä ei keväällä ollut havaittavissa samojen lajien esiintyessä myös ulkoilmassa.

Ryömintätilojen materiaalien mikrobipitoisuudet olivat korkeita etenkin, jos niitä verrataan sisätiloissa oleviin materiaalien mikrobitasoihin. Tämä vertaaminen ei kuitenkaan ole oikeutettua, koska ryömintätila ei ole ihmisten oleskelutila eikä siten suoranaista altistumista tapahdu. Korkea pintojen mikrobien pitoisuus ryömintätilassa saattaa altistaa asukkaita mikrobeille epäsuorasti, mikäli ryömintätilan ja asuintilan välinen vaippa ei ole tiivis. Itiöiden siirtyminen rakovirtausten kautta tunnetaan heikosti. Toisaalta virtauksen vaikutusta mikrobin kasvuun ei tiedetä ja siten mikrobikasvu vuotoreitissä voi poiketa tyynellä pinnalla tapahtuvasta kasvusta.

7.3 Ryömintätilan hiilivetypitoisuudet

Haihtuvien hiilivetyjen kokonaispitoisuudet olivat talvijaksolla tavanomaisella tasolla STM:n ohjeeseen verrattuna. Ryömintätilan tasot ja yhdistekoostumus seurasi hyvin ulkoilman tasoa osoittaen sen, että ryömintätilassa ei ole merkittäviä hiilivetylähteitä. Kaikissa kohteissa sisäilman hiilivetypitoisuudet olivat ryömintätilan tasoa korkeammat osoittaen tyypillisiä sisälähteitä. Talvijaksolla terpeenit muodostivat yhden huomattavimman yhdisteryhmän sisäilmapitoisuudesta muissa paitsi päiväkodissa 2, mutta näissäkin terpeenien yhteispitoisuus jäi 20-45 $\mu g/m^3$ tasolle. Terpeenit olivat tyypillisesti sisälähtöisiä yhdisteitä, koska niiden pitoisuudet ulkoilmassa ja ryömintätiloissa olivat alhaiset. Erityisesti aldehydien (pääasiassa formaldehydiä ja asetaldehydiä) pitoisuudet sisäilmassa olivat suuremmat kuin ryömintätilan ilmassa. Näidenkin pitoisuudet olivat alhaisella tasolla ja aldehydien kokonaispitoisuuskin jäi selkeästi alle STM:n ohjeissa esitetyn normaaliarvon

Kevätjaksolla kokonaishiilivetyjen pitoisuustaso oli kauttaaltaan korkeampi: ulkoilmassa pitoisuudet olivat 2-3 kertaisia talvijaksoon verrattuna, mikä osaltaan on vaikuttanut kohottavasti myös sisäilman ja ryömintätilan ilman pitoisuuksiin. Pientalon sisäilman korkea hiilivetyjen kokonaispitoisuus johtui osin asukkaan harrastuksesta tulevasta sisälähteestä.

Mikrobimetaboliatuotteina pidettyjen alkoholien pitoisuudet olivat niinikään korkeampia sisäilmassa verrattuna muihin tiloihin. Koska näille on muitakin lähteitä, yksiselitteisten johtopäätösten teko mikrobikasvuston esiintymisestä sisällä on mahdotonta. Erityisesti pienkerrostalokohteessa korkea MVOC-muut tasoa nostaa näytteestä analysoitu runsas alfapineenimäärä, jolle sisätiloissa on runsaasti myös muita lähteitä.

Yhteenvetona hiilivetypitoisuuksista voidaan todeta, että hiilivetypitoisuudet ovat ryömintätilan materiaalien alhaisen emission johdosta alhaisia. Näissä kohteissa vallinnut ryömintätilojen ilmanvaihto riitti pitoisuuden pitämiseksi huomattavasti alle sisäilman tason. Siten mahdolliset vuotovirtaukset eivät nosta tyypillisiä rakennusmateriaaleista vapautuvien yhdisteiden pitoisuutta sisätiloissa.

8 YHTEENVETO

Kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisun toimintaa tutkittiin n. 10 kk lämpö- ja kosteusolojen kenttämittauksilla ja tietokonesimuloinnein yhteensä kuudessa puu- ja betonirakenteisissa ryömintätilassa. Talvi- ja kesäaikaisilla mikrobi- ja VOC-määrityksin tutkittiin ryömintätilojen mikrobiologisia oloja sekä epäpuhtauksien kulkeutumista ryömintätilasta asuintiloihin.

Tutkimustulosten perusteella tehdyt johtopäätökset ovat seuraavia:

1. Kevytsora rajoittaa tehokkaasti kosteuden haihtumista maanpinnalta. Käytetyt 10…20 cm kevytsorakerrokset toimivat täydellisenä kapillaarikatkona, kevytsorakerroksen puolessa välissä suhteellinen kosteus oli n. 85% ja kevytsoran pinnalla lähes sama kuin ryömintätilan ilmassa. Kevytsoraratkaisun etuja ovat saumattomuus ja hengittävyys – sillä voidaan tasata ryömintätilan pohja ja mm. vesilammikot. Lisäksi kevytsora toimi lämmöneristeenä nostaen ryömintätilan kesäaikaista lämpötilaa.
2. Kevytsoraratkaisun vertailukohtana käytetty sepeliratkaisu (suodatinkangas + 10…15 cm sepelikerros) ei toiminut kapillaarikatkona vaan kosteus nousi sepelikerroksen pintaan, missä oli lähes jatkuvasti yli 90% suhteellinen kosteus. Näin on erittäin tärkeätä, että ryömintätiloissa käytettäisiin oikeanlaatuista sepeliä, pestyä salaojasepeliä, missä ei ole kosteuden nousua aiheuttava hienoainesta.
3. Kuivauskoneella voidaan tehokkaasti ja luotettavasti alentaa ryömintätilan kosteutta. Käytetyn kuivauskoneen teho (0,5…0,8 kg/h) oli riittävä 200 m^2 ryömintätilassa. Kuivauskone pitää asentaa ryömintätilaan niin, että ilman kierto on taattu koko ryömintätilassa.
4. Puurakenteisen alapohjan tapauksessa pelkkä maaperän kosteustuoton rajoittaminen ei ole riittävä toimenpide mikäli ryömintätila on kesällä hyvin kylmä (13…15ºC). Tällöin ulkoilmasta tulee kosteuslähde ja ryömintätilan suhteellinen kosteus voi lähestyä 100%. Hyvin lämmöneristetyn alapohjan tapauksessa ryömintätilan kesäaikaista lämpötilaa voidaan nostaa eristämällä ryömintätilan pohja ja betonirakenteet esim. kevytsoraa ja solumuovilämmöneristeitä käyttämällä sekä lisäämällä kesäaikana ryömintätilan tuuletusta. Em. toimenpiteiden riittävyyttä selvitetään tutkimuksen 2-vaiheessa.
5. Pohjaratkaisujen vaikutus perustuu haihtumisen rajoittamiseen ja massiivisen maan lämpökapasiteetin eristämiseen. Ryömintätila lämpenee kesällä nopeammin, kun sen pohja on lämpöeristetty ja lämpötilan noustessa ryömintätilan suhteellinen kosteus laskee. Samalla ryömintätila myös jäähtyy talvella nopeammin.
6. Ilmanvaihto 0,5 1/h on lämmityskaudella ja betonirakenteiden tapauksessa ympärivuotuisestikin täysin riittävä, mikäli kosteuden haihtumista on rajoitettu asianmukaisella pohjaratkaisulla. Lämmityskaudella ilmanvaihto ei saisi olla suurempi kuin 2 1/h. Hyvin lämmöneristetyn puualapohjan tapauksessa, kesäaikaisen lämpötilan nostamiseksi, ilmanvaihtoa tulee lisätä arvoon 3…5 1/h toukokuun alusta syyskuun

loppuun asti. Hyvin lämmöneristetyn alapohjan tapauksessa kesäaikana ilmanvaihdolla ei ole ylärajaa; mitä suurempi ilmanvaihto sitä lämpimämpi ryömintätila.

7. Sieni-itiöpitoisuudet ryömintätilan ilmassa ovat muutamia tuhansia cfu/kuutiometrissä ilmaa, taso on yli kymmenkertainen asunnoissa sallitusta tasosta. Hiilivetypitoisuudet ryömintätilassa ovat alhaisia ja pitoisuustaso on ulkoilmapitoisuuden tasolla.
8. Ryömintätilassa olevat materiaalit (materiaalilajista riippumatta) sisältävät runsaasti homesieni-itiöitä. Pintojen pitoisuudet saattavat olla korkeita vaikka mikrobikasvua ei esiintyisikään materiaalissa, jos kontaminaatio on tullut maaperästä. Ryömintätilan mikrobipitoisuudelle ei ole vertailuarvoja, mikä vaikeuttaa näiden kohteiden pitoisuuden suuruuden arviointia
9. Mitatuissa asunnoissa ja yhdessä päiväkodissa ryömintätilan korkeat mikrobipitoisuudet heijastuivat sisätilan ilman kohonneina pitoisuuksina etenkin talvijaksolla. Koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetut asunnot olivat alipaineisia ryömintätilan verrattuna ja kohonneen mikrobipitoisuuden ilmeisenä syynä oli ryömintätilasta alapohjan vuotojen läpi imettävä korvausilma.

Tutkimus osoitti useita jatkotutkimustarpeita, joita käsitellään tutkimuksen 2-vaiheessa. Ryömintätilojen osalta ei ole olemassa käyttökelpoisia ja yksiselitteisiä ohjearvoja ryömintätilan suhteelliselle kosteudelle, lämpötilalle ja mikrobipitoisuuksille. Ohjearvojen tarkentamisen tarve on ilmeinen. Ryömintätilat, missä on puurakenteinen hyvin lämmöneristetty alapohja ja alhainen kesänaikainen lämpötila ovat pahimpia ongelmakohteita. Kesäaikaisen ryömintätilan lämpötilan kohotusmahdollisuudet lämmöneristeillä, lämpökapasiteetin vähentämisellä ja ilmanvaihdon lisäyksellä vaativat vielä jatkotutkimuksia. Korjausrakentamisessa kustannustehokkaan ja terveyshaittalähtöisen korjausasteen määrittämiseksi tarvitaan uutta tietoa mm. epäpuhtauksien kulkeutumisesta ryömintätilasta asuintilaan sekä kuivauskoneiden sieni ja bakteeripitoisuuksia alentavasta vaikutuksesta.

LÄHDELUETTELO

Kurnitski J, Kettunen A-V, Matilainen M, Sääksvuori P, Smolander J, Ryömintätilan tuuletus ja kosteuskäyttäytyminen, Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio, Raportti B 59, 213 s., Espoo 1999.

Sahlin P, Sowell E F, The Neutral Model Format for Building Simulation, Stockholm 1996.

Sahlin P, NMF Handbook An Introduction to the Neutral Model Format, NMF version 3.02, Stockholm 1996.

Kurnitski J, Vuolle M, Simultaneous calculation of heat, moisture and air transport in a modular simulation environment, To be published in Engineering, Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Tallinn.

Andersen, A.A.: New sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particules. Jour. Bact. 76:471-484, 1958.

Dillon, H., K., ym. (toim.): Field guide for the determination of biological contaminants in environmental samples. AIHA Publications, Fairfax, Virginia, 1996.

Grimaldi, F., Bouthiba, F., Gouezo, F., Viala, A.: 4.8. Determination of volatile aldehydic compounds in various indoor and outdoor air samples. Kirjassa: Volatile organic compounds in the environments, G. Leslie , R. Perry (toim.), Indoor Air International, Lontoo 1993, s. 311-319.

Kuwata, K., Uebori, M., Yamasaki, Y.: Determination of aliphatic and aromatic aldehydes in polluted air as their 2,4-dinitrophenylhydrazones by high performance liquid chromatograpy. J. Chromatogr. Sci. 17: 264-268, 1979.

Kuwata, K., Uebori, M., Yamasaki, Y., Kuge, Y.: Determination of aliphatic aldehydes in air by liquid chromatography. Anal. Chem. 55:2013, 1983.

Pasanen, A.-L., Juutinen, T., Jantunen, M.J., Kalliokoski, P.: Occurrence and moisture requirements of microbial growth in building materials. International Biodeterioration & Biodegradation 30:273-283, 1992.

Pasanen, A.-L., Lappalainen, S., Pasanen, P.: Volatile organic metabolites associated with some toxic fungi and their mycotoxins. Analyst 121:1949-1953, 1996.

Sunesson, A.-L., Nilsson, C.-A., Andersson, B.: Evaluation of adsorbents for sampling and quantitative analysis of microbial volatiles using thermal desorption-gas chromatography. J. Chromatogr. A 699:203-214, 1995.

Sunesson, A.-L., Nilsson, C.-A., Andersson, B., Carlson, R.: Thermal desorption cold trap-injection in high-resolution gas chromatography: multivariate optimization of experimental conditions. J. Chromatogr. A 623: 93-103, 1992.

STM 1997"Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät".