

Asko Karvonen & Jani Schroderus

KOSTEUSVAURIOIDEN VAIKUTUS SISÄILMAN LAATUUN JA
ERI TUTKIMUSMENETELMIEN KÄYTTÖKELPOISUUS
ASUINKERROSTALON KOSTEUSVAURIOIDEN YHTEY-
DESSÄ

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Kiinteistötalouden koulutusohjelma
Kevät 2002



Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Kiinteistöalous
Tekijät Asko Karvonen Jani Schroderus	
Työn nimi Kosteusvaurioiden vaikutus sisäilman laatuun ja eri tutkimusmenetelmien käyttökelpoisuus asuinkerrostalon kosteusvaurioiden yhteydessä	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaajat Martti Hekkanen Jari Kurtelius Heikki Mustonen
Aika 19.4.2002	Sivumäärä 72 + 27 liitesivua
Tiivistelmä <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kartoittaa tyypillisen asuinkerrostalon kosteusvaurioriskit, selvittää ne keinot, joilla riskeihin voidaan varautua etukäteen sekä selvittää vaihtoehtoiset korjausmenetelmät.</p> <p>Työhön liittyi myös kenttätutkimusvaihe, jossa kerrostalossa olevaan huoneistoon aiheutettiin kosteusvaurio ja monitoroitiin vaurion vaikutusta sisäilman laatuun. Kosteusvaurion paikallistamisessa käytettiin erilaisia, tällä hetkellä käytössä olevia menetelmiä.</p> <p>Käytetyillä menetelmillä pystyttiin seuraamaan kosteusvaurion kehittymistä rakenteissa. Analysoimalla materiaalien ja sisäilman mikrobinäytteet saadaan varmuus siitä, onko rakennuksessa homevaurio.</p>	
Luottamuksellinen Kyllä X 22.4.2004 asti Ei	
Hakusanat Home, korjausrakentaminen, kosteusvaurio, kuivatus, mikrobi, rakennus, sisäilma	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto	



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

**ABSTRACT
FINAL YEAR PROJECT**

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Facilities Management
Authors Asko Karvonen Jani Schroderus	
Title Various Research Methods to Find out the Moisture Damages in a Block of Flats	
Optional professional studies	Instructors / Supervisors Martti Hekkanen Jari Kurtelius Heikki Mustonen
Date 19 April 2002	Total number of pages 72 + 27 appendices
Abstract <p>This final year project dealt with the typical moisture damages that occur in blocks of flats. The purpose of the project was to map out the most typical reasons for moisture damages in blocks of flats. Another purpose was to find out the ways to protect against those reasons and to find out alternative ways to repair different kinds of moisture damages.</p> <p>The project included field examination, in which moisture damage was caused and the effects of the damage on the indoor air quality were examined. For locating the moisture damages different kinds of methods were used.</p> <p>With the methods used in this project one could measure the progress of the moisture damages in the structures. By analysing the microbe samples of the materials and the indoor air the mould problems can be confirmed.</p>	
Confidential Yes X Until 22 April 2004 No	
Keywords Building, fungi, drying, indoor air, microbe, moisture damage, mould, renovation	
Deposited at Library of the Kajaani Polytechnic	

ALKUSANAT

Tässä insinööriyössä tutkittiin erilaisia menetelmiä, joita voidaan käyttää kosteusvaurioiden tutkimiseen. Työn tilaajana oli VTT Rakennus- ja Yhdyskuntatekniikka.

Haluamme kiittää erikoistutkija Martti Hekkasta sekä työtekniikko Erkki Vähsöyrinkiä Oulun VTT:ltä, joilta saimme viisaita neuvoja niin teoria- kuin kenttätutkimusvaiheessa. Kiitämme myös valvojiamme tekniikan lisensiaatti Jari Kurteliusta ja lehtori Heikki Mustosta, jotka pitivät työn oikeilla raiteilla.

Erikoiskiitos Kajaanin ammattikorkeakoululle nykyaikaisista tutkimusvälineistä sekä Suomussalmen Talonhoito Oy:n toimitusjohtaja Pertti Rönkölle asuinkerrostalon tutkimuskäyttöön antamisesta.

Tietysti suurkiitokset kuuluvat myös Marille ja Taijalle!

Kajaanissa 19.4.2002

Asko Karvonen

Jani Schroderus

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 KOSTEUSVAURIORISKIT RAKENNUKSESSA.....	10
2.1 Sisäilmasto	10
2.2 Home- ym. mikrobivauriot.....	14
2.3 Mikrobivaurion tunnistaminen	18
2.4 Mistä kosteus- ja homevauriot johtuvat	21
2.4.1 Sisäpuolisia rasitteita	22
2.4.2 Ulkopuolisia rasitteita	28
2.4.3 Kosteusvaurioille alttiita rakenteita.....	29
2.5 Kosteusvaurioriskeihin varautuminen	34
3 KOSTEUSVAURION HAVAITSEMINEN JA KUIVATUS	38
3.1 Mittausmenetelmät	38
3.3 Kuivatusmenetelmät	42
3.4 Kuivaimet.....	44
4 KENTTÄKOKEET KOY JÄNIKSENPOLULLA	47
4.1 Kohteen perustiedot	47
4.2 Koejärjestelyt.....	48
4.3 Tutkiminen käytännössä.....	48
4.4 Homeiden kasvu ilmanvaihdon ollessa minimissä.....	54
4.5 Homepitoisuus ilmassa.....	55
4.6 Homeet rakenteissa.....	57
4.7 Kosteuden kehittyminen rakenteissa	59
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	60
5.1 Mittausmenetelmien käyttökelpoisuus.....	60
5.2 Korjaustavat	61
6 YHTEENVETO.....	66
LÄHDELUETTELO	68
LIITTEET	

KÄSITTEITÄ

Absoluuttinen kosteus (g/m^3); ilman tietyssä tilanteessa sisältämä vesimäärä. [3, s.55]

Absorptio; kostuminen

Betonin kosteus; betonin ja sen päällä mahdollisesti olevan tasoitekerroksen kosteus (tasapainokosteus ja rakennekosteus). [4, s.1]

Betonin suhteellinen kosteus; betonin huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus, betoniin poratun reiän ilman suhteellinen kosteus tasaantumisaajan jälkeen. [4, s.1]

Betonin vesipitoisuus; betonissa oleva fysikaalisesti sitoutunut vesi. [4, s.1]

Desorptio; kuivuminen

Diffuusio; Diffuusiolla tarkoitetaan kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi. [3, s.56]

Kastepiste ($^{\circ}\text{C}$); lämpötila, jossa ilmassa oleva vesihöyry muuttuu vedeksi eli kondensoituu. [3, s.55]

Kiinteistönpito; tarkoittaa juridiseen oikeuteen tai velvollisuuteen perustuvaa vastaamista kiinteistöstä ja sen ominaisuuksista. Kiinteistönpitoon kuuluu muun muassa teknisten järjestelmien hoito ja ylläpito, asiakaspalvelua sekä talous- ja henkilöstöhallintoa. Kiinteistönpitoon voi kuulua myös rakentamista ja rakennusten purkamista. [5, s.1]

Konvektio; Konvektiolla tarkoitetaan ilmavirtausten mukana tapahtuvaa vesihöyryn siirtymistä. [3, s.56]

Kosteudeneristys; ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen kosteuden siirtyminen rakenteeseen ja rakenteessa. [6, s.8]

Kyllästyskosteus (g/m³); Ilman sisältämä maksimivesihöyrymäärä, kun suhteellinen kosteus on 100 %. [3, s.55]

Käyttöikä; aika, jona rakenteen tai rakennusosan kaikki toimivuusvaatimukset täyttyvät, kun kohdetta hoidetaan, huolletaan ja kunnossapidetään suunnitelmallisesti ja ohjeiden mukaan. [7, s.7]

Rakennekosteus; se vesimäärä, joka poistuu rakenteesta ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristön kanssa. [8, s.51]

Rakennuskosteus; Rakennusaineisiin ja -tarvikkeisiin valmistuksen, varastoinnin tai rakentamisen aikana joutunut ylimääräinen kosteus. [3, s.61]

Sisäilma; ilmaa, jota rakennuksissa hengitämme. [9, s.15]

Sisäilmasto; muodostuu rakennuksen sisälle sisäilmasta ja siihen vaikuttavista ympäristön fysikaalisista ilmanvirtaus-, lämpötila-, kosteus-, valaistus-, ääni ja muista tekijöistä. [9, s.15]

Sisäilman kosteus; tähän vaikuttavat pääasiassa ulkoilman kosteuspitoisuus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä ja ilmanvaihto.

Suhteellinen kosteus RH (%); ilmassa olevan absoluuttisen (todellisen) kosteuden (vesihöyrynpaineen) ja kyllästyskosteuden (kyllästyspaineen) välinen suhde. [3, s.55]

Vedeneristys; ainekerros, joka kestää jatkuvaa kastumista ja jonka tehtävä on estää veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen. [6, s.8]

Vedenpaineeneristys; ainekerros, joka kestää jatkuvaa vedenpainetta ja jonka tehtävänä on estää veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen.
[6, s.8]

1 JOHDANTO

Sisäilman ongelmat tulivat yleiseen tietoisuuteen 1970-luvun energiakriisin jälkeen. Rakennuksia tiivistettiin ja ilmanvaihtoa vähennettiin tavoitteena energian säästäminen. Uusia rakennusmateriaaleja otettiin käyttöön, samoin rakennustekniikka muuttui nopeasti. Taloja rakennettiin paljon ja lyhyessä ajassa. [1]

Rakennusten mikrobiongelmia on syntynyt hyvin erilaisista syistä. Useimmiten syynä on selvä kosteusvaurio, putki- tai kattovuoto tai kosteuden tiivistyminen. Monissa tapauksissa myös asentamatta jäänyt kosteuseristys pesutiloissa on aiheuttanut mikrobiongelmia. Joissakin tapauksissa homevaurion syynä on myös puutteellinen ilmanvaihto yhdessä edellä mainittujen tekijöiden kanssa. [1]

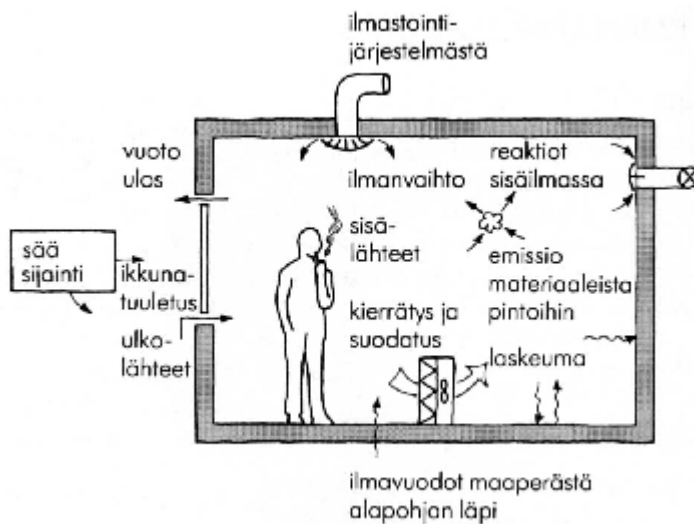
Kosteusvaurioiden ennaltaehkäisyssä on taloyhtiöiden huoltotoimenpiteillä sekä asukkailla merkittävä vaikuttamismahdollisuus. Rakennusta ja sen riskialttiita rakennusosia tulee tarkastaa ja huoltaa säännöllisesti. Havaittuihin pieniinkin ongelma- ja vauriokohtiin on puututtava välittömästi ja niiden syyt on selvitettävä ja korjattava. Ilmanvaihdon toimivuudesta on huolehdittava erityisesti märkätiloissa. Asuntojen ja yhteistilojen kosteusvaurioista jopa 50 % on ehkäistävissä oikeanlaisilla toimenpiteillä. [2]

Tämä insinööriyö tehtiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikalle. Työn alussa käsitellään yleisesti rakennusten kosteusvaurioriskejä, kosteusvaurioiden paikallistamista sekä vaurioiden korjaamista. Työhön liittyi lisäksi kenttätutkimusvaihe, jossa aiheutettiin kosteusvaurio asuinkerrostalossa olevaan huoneistoon. Kosteusvaurion kehittymistä seurattiin lattialaattaan sijoitetuilla kosteudenmittausantureilla. Materiaaleista ja sisäilmasta otettiin mikrobinäytteitä, sisäilma desinfioitiin otsonoimalla sekä tutkittiin otsonoinnin vaikutusta sisäilman laatuun. Kosteusvaurion kuivatuksessa käytettiin infrapunakuivainta.

2 KOSTEUSVAURIORISKIT RAKENNUKSESSA

2.1 Sisäilmasto

Rakentamisessa ja kiinteistönpidossa yksi tärkeimmistä tavoitteista hyvinvointimme kannalta on terveellinen sisäilma, koska vietämme jopa 90 % elämästämme sisätiloissa [9, s.15]. Terveellinen sisäilma ei aiheuta tilassa oleskeleville minkäänlaisia oireita. Jotta voisimme asua ja olla hyvässä sisäilmastossa, tulisi kiinnittää huomiota rakennuksen suunnitteluun, rakentamiseen, huoltoon ja omiin käyttötottumuksiin (ks. kuva 1) [10, s.2].



Kuva 1. Ilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. [10, s.8]

Tärkeimmät sisäilmastotekijät: [11, s.49]

- **Ilmanvaihto:** riittävä ja jatkuva ilmanvaihto. Ilman on vaihduttava asunnossa vähintään kerran kahdessa tunnissa.
- **Lämpötila:** huonelämpötilan optimiarvo on 21 °C; korkeammat lämpötilat lisäävät oireilua ja tunkkaisuuden ja kuivuuden tunnetta sekä myös rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauspäästöjä.
- **Kosteus:** ilmankosteuden optimiarvo on 25...45 %.
- **Ilman liike:** ilmannopeuden tulee olla alle 0,15 m/s; liian suuri ilman liike yhdessä alhaisen lämpötilan kanssa aiheuttaa vedon tunnetta.
- **Melu:** häiritsevää ääntä ei saa tulla asunnon ulkopuolelta eikä rakennuksen omista laitteista.
- **Hajut:** voimakkaat hajut ovat yleensä varoittava merkki terveyshaitasta.
- **Kosteusvauriot:** kosteusvauriosta seuraa usein homekasvu ja mahdolliset terveyshaitat.

Sisäilmasto on tyydyttävä silloin, kun ei ole terveydellistä vaaraa ja enemmistö pitää olosuhteita viihtyisinä. Taulukossa 1 olevat tavoitearvot on tarkoitettu saavutettavaksi huoneen oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhyke ulottuu 60 sentin päähän seinistä ja 1,8 metrin korkeudelle lattiasta. [12, s.13]

Taulukko 1. Lämpöolojen tavoitearvot [13, s.5]. Luokka S1 on paras. Luokka S3 vastaa lähinnä viranomaisvaatimusten mukaista vähimmäistasoja.

Suure	Yksikkö	S1	S2	S3
Huonelämpötila,*				
talvi	°C	(21 - 22)*	20 - 22	20 - 23
kesä	°C	(23 - 24)*	23 - 26	22 - 27**
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama asetusarvosta	°C	±0,5	±1	±2
Lämpötilaero pystysuunnassa***	°C	2	3	4
Lattian lämpötila	°C	19 - 29	19 - 29	17 - 31
Ilman nopeus,				
talvi 20 °C	m/s	0,13	0,16	0,19
talvi 21 °C	m/s	0,14	0,17	0,20
kesä 24 °C	m/s	0,20	0,25	0,30
Ilman suhteellinen kosteus,****	%	25 - 45	-	-
talvi				

* S1 -luokassa huonelämpötilan on oltava tila/huonekohtaisesti aseteltavissa välille 20–24 °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään huonelämpötilan perustasona talvella 21–22 °C ja kesällä 23–24 °C.

** Huonelämpötila ei saa olla missään ulkoilmaolosuhteissa yli +35 °C; kun ulkolämpötila on alle +15 °C, huonelämpötila ei saa olla yli +27 °C.

*** Lämpötilaerolla pystysuunnassa tarkoitetaan lämpötilaeroa nilkkojen ja niskan välillä, mittauskorkeudet 0,1 m ja 1,1 m.

**** Ilman suhteellinen kosteus voi laskea lyhytaikaisesti pakkashuippujen aikana alle tavoitearvon. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 %.

Kiinteistöhoitosopimuksia tehtäessä ja muutamissa urakkamuodoissa voidaan kilpailla pitkän aikavälin toimivuusvaatimukset täyttävillä ratkaisuilla. Näitä suureita voivat olla esimerkiksi huonelämpötila, lattian pinta-

lämpötila, lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänentaso, radon ja hiilidioksidi.
[13, s.7]

Ilmanvaihdon avulla pyritään poistamaan tiloista, joissa oleskelemme sisäilman epäpuhtauksia sekä tuomaan puhdasta korvausilmaa tilalle. Epäpuhtaudet (ks. taulukko 2) ovat yleensä peräisin ihmisen aineenvaihdunnasta, asumisesta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ulkoilmasta ja maaperästä. [14, s.16]

Taulukko 2. Ilman laadun tavoitearvot (epäpuhtauksien enimmäisarvot)
[13, s.6]

Suure	Yksikkö	S1	S2	S3
Radon (Rn) *	Bq/m ³	100	100	200
Hiilidioksidi (CO ₂)	ppm	700	900	1200
Hiilidioksidi (CO ₂)	mg/m ³	1300	1650	2200
Ammoniakki ja amiinit (NH ₃)	µg/m ³	30	30	40
Formaldehydi (H ₂ CO)	µg/m ³	30	50	100
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)	µg/m ³	200	300	600
Hiilimonoksidi (CO)	mg/m ³	2	3	8
Otsoni (O ₃)	µg/m ³	20	50	80
Hajuvoimakkuus	-	3	4	5,5
Mikrobit **		Ei enimmäisarvoa		
Tupakan savu tupakoimattomien tiloissa		Ei aistittavissa		
Hiukkaspitoisuus (PM ₁₀)	µg/m ³	20	40	50

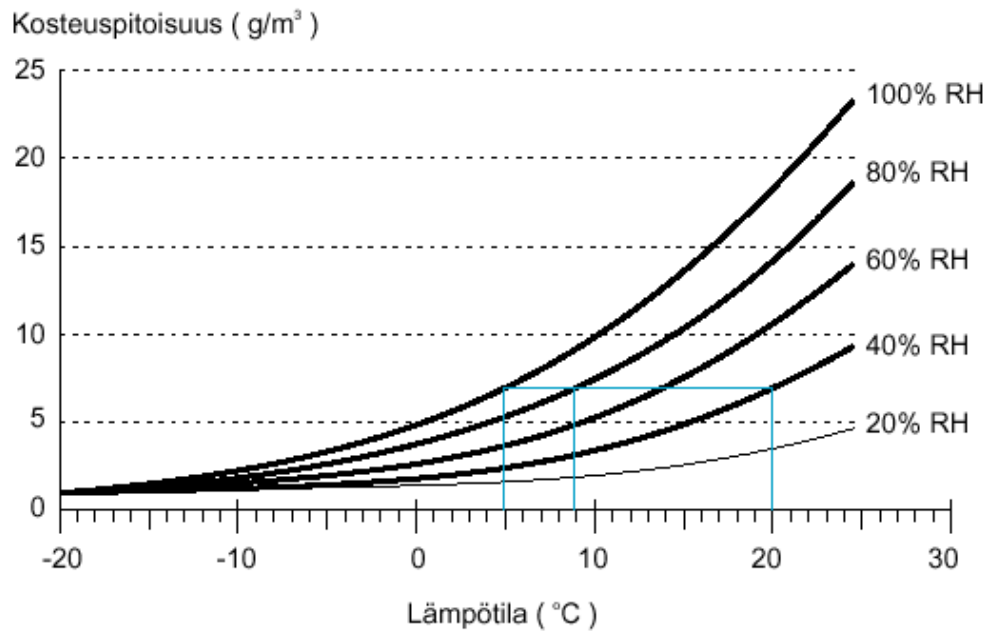
* Sosiaali- ja terveysministeriön sisäilman radonpitoisuuden tavoitearvot asunnoille on alle 200 Bq/m³. Asunnon radonpitoisuuden vuosikeskiarvon tulee olla alle 400 Bq/m³. Työpaikan työnaikaisen radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ei saa ylittää 400 Bq/m³.

** Mikrobipitoisuuden enimmäisarvoja ei ole annettu, koska rakennuksessa voi olla home- tai lahovaurio, vaikka sisäilmassa ei olisikaan korkeita mikrobipitoisuuksia. Lisäksi ilman mikrobipitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti paikan, olosuhteiden ja mikrobilajin mukaan. Ulkoilman pitoisuutta korkeampi mikrobipitoisuus ja ulkoilmasta poikkeava lajisto saattaa merkitä homevauriota.

2.2 Home- ym. mikrobivauriot

Home on aina kosteusvaurion seuraus. Homevaurion edellytys on, että rakenteen tai ilman kosteus on tavanomaista korkeampi. On yleisesti esitetty, että home vaatii kasvaakseen yli 70 % ilman suhteellisen kosteuden ja noin 0 – 55 °C:n lämpötilan. Homeet aloittavat kasvunsa muutaman viikon sisällä ja puurakenteissa laho voi käynnistyä muutamassa kuukaudessa. Lämpötilan tai kosteuden ollessa alhainen, homeet eivät tuhoudu, vaan ovat lepotilassa. [15, s.10]

Kuvasta 2 nähdään rakennusosan likimääräinen lämpötila, jossa vesihöyry kondensoituu. Esimerkiksi, kun ilman lämpötila on + 20 °C ja suhteellinen kosteus 40 %. Vesihöyry kondensoituu aineen pinnalle tai sisään, kun sen lämpötila on noin + 5 °C. Kun aineen suhteellinen kosteus on 80 % ja lämpötila noin + 9 °C, siinä voi kasvaa mikrobeja. [16, s.2]



Kuva 2. Ilmassa olevan vesihöyryn määrä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan. [16, s.2]

Pitkään kosteina pysyvissä rakennusosissa voi alkaa kasvamaan home- ja lahosieniä, hiivoja ja bakteereita, joita yhteisesti nimitetään mikrobeiksi [16, s.1]. Mikrobikasvuston edellytyksenä on riittävä kosteus, lämpö ja ravinto. Home- ja mikrobivaurioitumatonta materiaalia ei ole, jopa betonin pinnalla olevassa pölyssä on tarpeeksi ravinteita homesienten kasvun käynnistymiseksi. Reimanin mukaan [17, s. 1] mikrobit ovat sopeutuneet monenlaisiin oloihin, joten käytännössä, ainoa niiden kasvua rajoittava tekijä on kosteus. Pitkään jatkunut kosteusrasitus johtaa siten monien bakteerien ja sienien kasvuun (ks. taulukko 3).

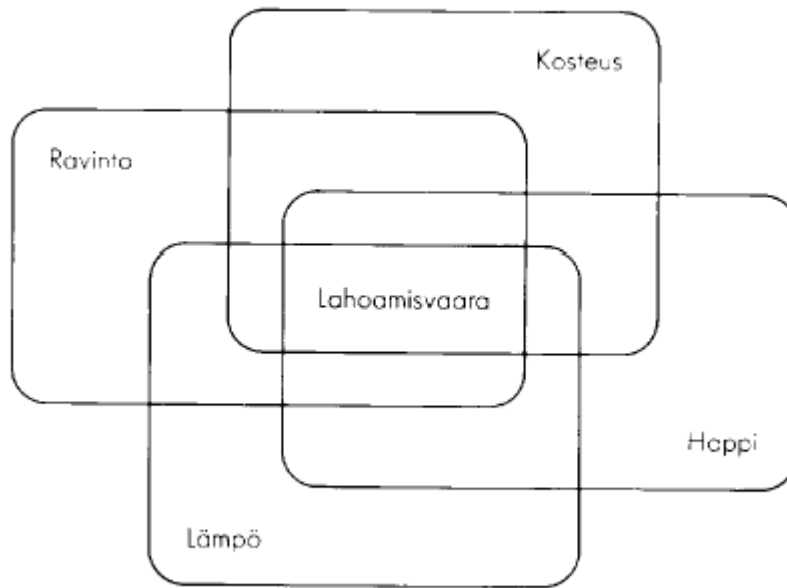
Taulukko 3. Eri mikrobiryhmien kasvun vähimmäiskosteusvaatimukset materiaalissa lämpötila-alueella 10...40 °C. [18, s.65]

Mikrobiryhmä	Hygrooskooppista tasapainokosteutta vastaava ilman suhteellinen kosteus %
Homesienten ja hiivojen kasvu	65...85
Bakteerien, mm. sädesienten kasvu	95
Sinistäjä- ja lahottajasienten kasvu	>95 ¹⁾
sinistäjä- ja lahottajasienirihmaston leviäminen	>85...95 ²⁾

1) vastaa puun kosteutta 20...30 % kuivapainosta

2) vastaa puun kosteutta 18...25 % kuivapainosta

Kailan mukaan [19, s.346] homeet kasvavat kosteissa oloissa monien eri rakennusmateriaalien pinnalla. Näin ollen home ei vaurioita rakenteita, vaan sen sijaan homehtuminen on ulkonäköhaitta ja ilman homeitiöpitoisuus on terveysriski. Lahottajasienet puolestaan käyttävät puun eri ainesosia ravinnokseen ja näin ollen tuhoavat puun. Sienet tarvitsevat elääkseen ravintoa, vettä ja happea sekä lämpötilan on oltava tietyissä rajoissa (ks. kuva 3).



Kuva 3. Lahottajasienivaara on ainoastaan silloin, kun kaikki kuvan tekijät ovat vaikuttamassa. Jos yhden osatekijän vaikutus muuttuu riittävästi, esimerkiksi kosteus alenee, vaara häviää. [20, s.1]

Kosteusvauriorakennuksissa kasvavat homeet päästävät ilmaan ainakin itiöitä, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, mykotoksiineja eli homemyrkkyjä, allergeeneja ja rihmaston kappaleita. Näin ollen mahdollisia terveyshaittojen aiheuttajia on siis useita, eikä niistä moniakaan osata eikä voida mitata. Päätelmiä tehdään kolmen selvityksen perusteella – rakennustekninen selvitys, mikrobiologinen selvitys sekä oireiden ja sairauksien selvittäminen. Selvitysten on muodostettava toisiaan tukeva kokonaisuus. [21, s.49]

2.3 Mikrobivaurion tunnistaminen

Tunnusmerkkejä, joista voidaan epäillä mikrobivaurion esiintymistä:

- sisätiloissa maakellarimainen, tunkkainen haju.
- seinissä, katossa ja lattiassa on kosteusläikkiä tai homekasvustoa, joka näkyy esimerkiksi värimuutoksina, hilseilynä ja härmimisenä.
- sisäilman sisältämä kosteus tiivistyy ulkoseinän, ikkunoiden, ulko-ovien ja yläpohjan kylmiin pintoihin kylmäsiltojen kohdalle.
- vesimittarin pyöräminen, vaikka kaikki hanat ovat suljettuina.
- rakennuksessa oleskelevien ihmisten oireilu.

Näytteiden ottaminen

Näytteiden ottamisella varmistetaan rakennuksen kosteusvaurioiden mahdollisuus. Näytteitä voidaan ottaa rakennuksen sisäilmasta, erilaisilta pinoilta ja rakennusmateriaaleista (ks. taulukko 4). Jos lähtökohtana on kosteusvaurion korjaaminen, näytteenotto on kohdistettava pinta- ja materiaalinäytteiden tutkimiseen. Näytteiden ottaminen ja analysointi on syytä jättää alan ammattilaiselle. Mikrobimittaukset antavat yleiskuvan, mutta eivät yksin toimi rakennuksen käyttöä tai korjausta koskevien päätösten perusteena. [22, s.87]

Taulukko 4. Näytteenottotavan käyttökelpoisuus ja eri analyysimenetelmien käyttömahdollisuus eri näytteenottotavoilla sekä analyysitulosten luotettavuus [24, s.32]

Näytteenottotapa	Analyysimenetelmät			
	Näytteenottotavan käyttökelpoisuus	Viljely	Valo-mikroskopia	Elektronimikroskopia
Materiaalinäyte	++++			
- suora analyysimen.		-	+	++++
- preparoinnin kautta		+++	+++	++
Pintanäyte	++	++	-	+++
- teippi	++	++	++	++
- sively	++	++	+	-
Pölynäyte	*1)	+	+	+
Ilmanäyte	*1)	+	+	+
Laskeumanäyte	*1)	+	+	-

*1) = näytteenoton edustavuus huono.

++++ = erittäin sopiva ja luotettava analysointimenetelmä.

+++ = sopiva ja luotettava.

++ = kohtalaisen sopiva ja luotettava.

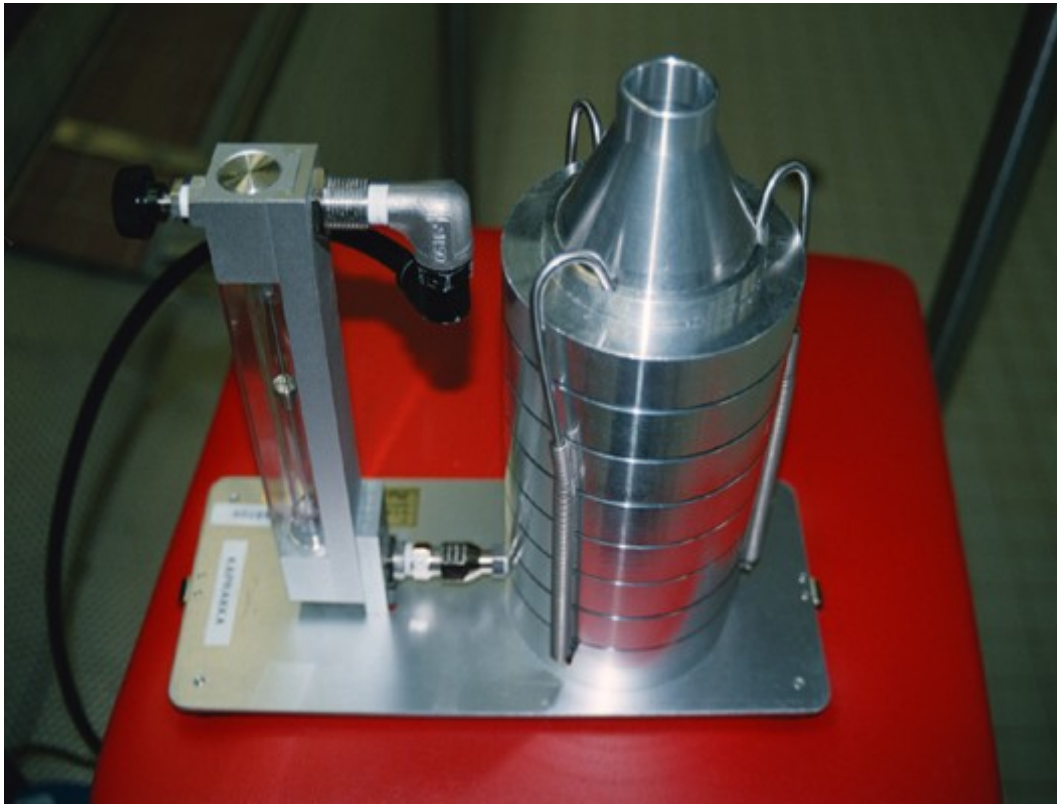
+

= mahdollista analysoida, mutta ei luotettava.

- = ei mahdollista analysoida tai ei suositeltava näytteenottotapa.

Ilmanäytteen tutkiminen on ainoa tapa osoittaa, mille mikrobeille kosteusvauriorakennuksessa olevat ihmiset altistuvat. Ongelmana ilmanäytteen osalta on, että tulosten tulkitseminen vaatii asiantuntemusta. Ilmanäytteen ottamisella pyritään arvioimaan tutkittavan rakennuksen ilmassa esiintyviä mikrobeja, vertaamalla saatua tulosta ulkoilmassa tai rakennuksen vau-

riottomissa osissa samanaikaisesti mitattuihin arvoihin [23]. Kuvassa 4 Andersenin-keräin.



Kuva 4. Ilmanäyte otetaan sähköisellä Andersenin 6-vaiheisella impaktiokeräällä, joka jaottelee hiukkaset kokoluokkiin ihmisen hengityselimistön tapaan. [23]

Kosteusvauriorakennuksien mikrobiologisella tutkimuksella ei pyritä löytämään kaikkia rakennuksessa ja sen sisäilmassa olevia mikrobeja. Tutkimuksella varmistetaan siitä, onko rakennuksessa homevaurio. Tämän takia etsitään sellaisia mikrobeja, joiden tiedetään esiintyvän vain kosteusvauriorakennuksissa. Näitä mikrobeja kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi (ks. taulukko 5). [25, s.29]

Taulukko 5. Kosteusvaurioindikaattorit eli mikrobit, jotka rakennuksessa esiintyessään viittaavat kosteusvaurioon [25, s.30]

Märässä viihtyvät mikrobit	Aspergillus fumigatus Trichoderma Exophiala Stachybotrys Phialophora Fusarium Ulocladium Hiivat, kuten Rhodotorula Sädesienet eli aktinomykeetit Useita gram -negatiivisia bakteereita (esim. Pseudomonas)
Kohtuullisessa kosteudessa viihtyvät mikrobit	Aspergillus versicolor
Suhteellisen kuivassa viihtyvät mikrobit	Aspergillus versicolor Eurotium Wallemia Penicillium -lajeja

2.4 Mistä kosteus- ja homevauriot johtuvat

Hekkasen mukaan [26, s. 46] kosteusvaurioita esiintyy jokaisessa asunnossa. Jotkut kosteusvauriot aiheuttavat vain ulkonäöllistä haittaa. Osa vaurioista johtaa rakennusten turmeltumiseen ja voivat näin ollen olla myös terveydellinen haitta.

Rakennuksen rakennusfysikaalinen toiminta on puutteellista, jos siinä ilmenee kosteus- ja homevaurioita tai jos käyttäjät kärsivät tällaisiin vaurioihin viittaavista oireista. Rakenteiden toiminnalliset virheet voivat johtua suunnittelusta, rakenteiden toteuttamisesta suunnitelmista poikkeavalla

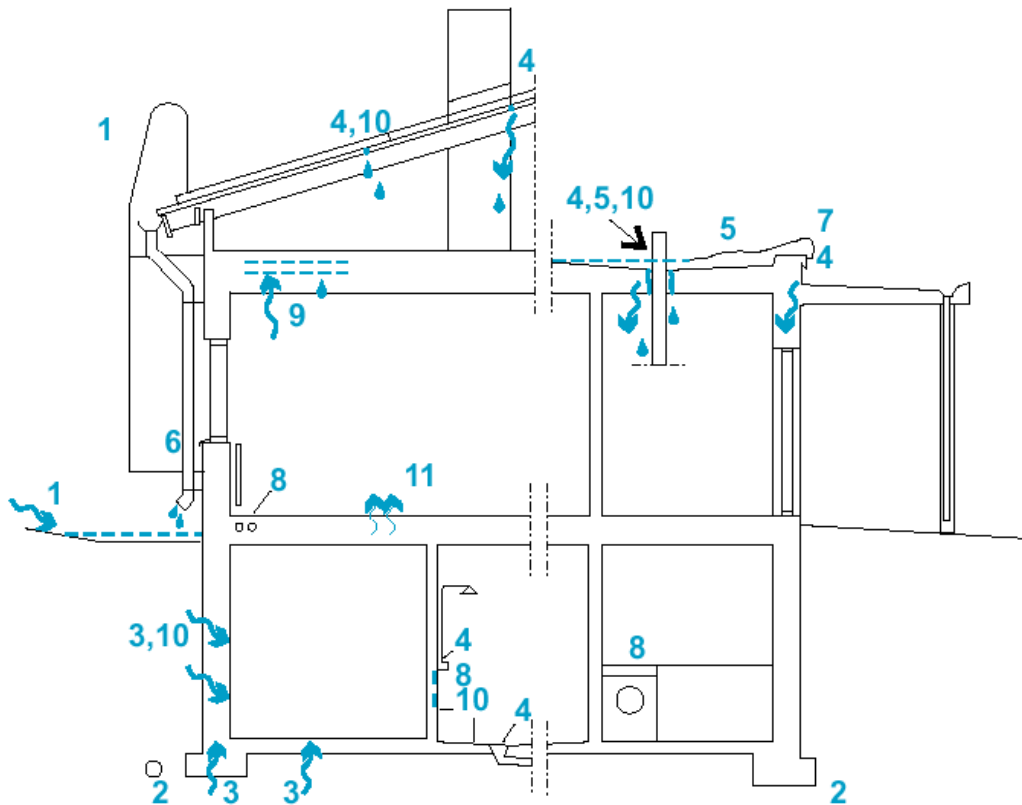
tavalla tai rakennuksen vanhenemisesta, joka on heikentänyt rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Rakennuksen käytössä, huollossa ja kunnossapidossa voi olla virheitä tai puutteita. Rakennuksen tai tilan käyttötarkoitusta on voitu muuttaa ottamatta huomioon uuden käyttötavan rakenteille aiheuttamia rasituksia. [18, s.67]

Oireita, jotka liittyvät kosteus- ja homevaurioon, voivat olla nuhaisuus, nenän tukkoisuus, kurkun kipeys, äänen käheys, yskä, hengenahdistus ja iho-oireet. [27, s.57]

2.4.1 Sisäpuolisia rasitteita

Rakennuksen sisäpuolella on useita erilaisia kosteuslähteitä (ks. kuva 5). Näistä merkittävin osuus on nykyaikaisella LVI-järjestelmällä ja sen luomilla mahdollisuuksilla veden käyttöön rakennuksen sisällä. Mikäli ilmanvaihto on riittämätön, lisää se kaikkien kosteuslähteiden aiheuttamaa haittaa. [22, s.14]

Sisäilman kosteus on peräisin ihmisistä ja sisätiloissa tapahtuvista toiminnoista, kuten ruuanlaitosta, pyykin- ja astioiden pesusta, saunomisesta ja peseytymisestä sekä sisätilojen rakennusosien lämmityskauden alussa luovuttamasta kosteudesta (ks. taulukko 6). Kosteuden runsas ja pitkäaikainen tiivistyminen rakenteiden sisäpinnoille on merkki rakennuksessa olevasta poikkeuksellisesta kosteudenlähteestä tai ilmanvaihdon toimintahäiriöstä. Jos sisäilmaa pääsee ulkovaipan rakenteisiin, voi siitä aiheutua pahoja kosteusvaurioita, kun ilmassa oleva kosteus tiivistyy rakenteisiin tai niiden pinnoille. [15, s.17]



Kuva 5. Yleisiä rakennuksen kosteuden lähteitä ja vaurioriskejä. [31, s.4]

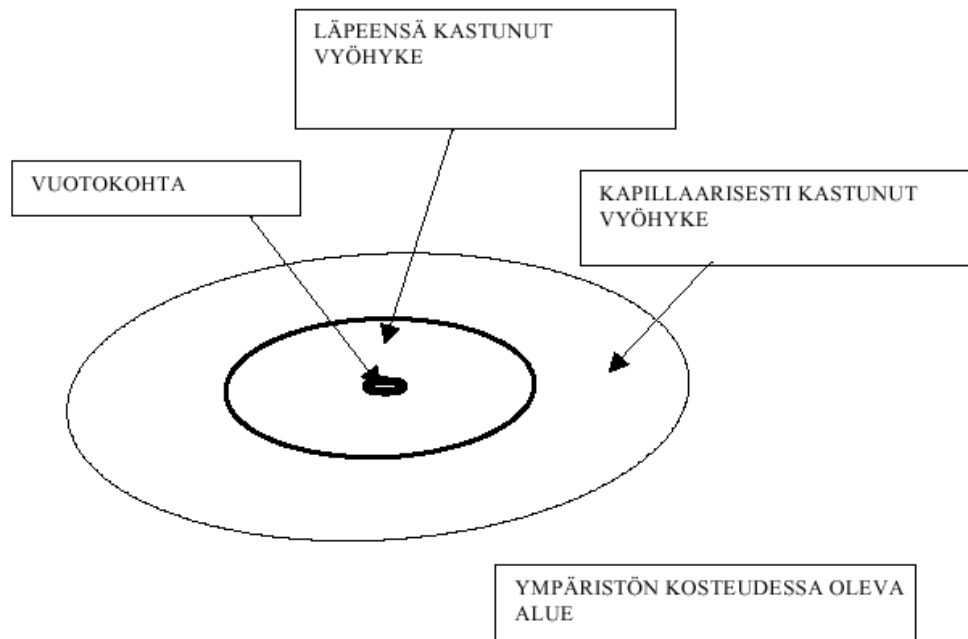
- 1 sade, lumi, jää, katto- ja valumavedet
- 2 salaojien puuttuminen tai puutteellinen toiminta
- 3 maakosteus
- 4 läpivientien, kiinnitysten ja liittymien vuodot
- 5 puutteellinen lämmöneristys, kosteuden kondensoituminen
- 6 syöksytorvien ja pellitysten vuodot
- 7 räystäiden vuodot
- 8 putkivuodot, laitevauriot
- 9 sisäilman vuodot, konvektio ja kosteuden kondensoituminen
- 10 vedeneristysten vuodot
- 11 rakennuskosteus

Taulukko 6. Rakennuksen eri kosteuslähteiden aiheuttamia kosteuskuormia. [28, s.210]

Kosteuden lähde	Vaikutusaika	Kosteuspitoisuus (RH %)
- rakennusaikainen kosteus	0,1...4 vuotta	paikallisesti, yleensä 85...100
- käytöstä aiheutuva kosteus		
- märkätilat	jaksottainen/ pitkäaikainen	ajoittain 95...100
- muut sisätilat	kesä-talvijaksot, vaihtelee	kesällä 50...90 talvella 20...40
- suunnittelu- tai toteutusvirheistä tai muista vaurioista aiheutuva kosteus	vaihtelee, usein pitkäaikainen	yleensä korkea yli 90...95 %, ainakin paikallisesti

Putkivuodot ovat merkittävä kosteusvaurioita aiheuttava tekijä. Rakenteiden sisään sijoitettujen putkien samoin kuin pesukoneiden aiheuttamat vuodot voivat aikaansaada pahoja vaurioita, sillä ne voivat kastella ja vaurioittaa erittäin laajoja alueita. Rakenteiden sisällä tapahtuneet vuodot johtavat poikkeuksetta kuivatukseen sekä rakenteellisiin korjauksiin. [15, s.17]

Rantamäen ym. mukaan [29, s.25] vuotovaurion ympäriltä voidaan erottaa kolme vyöhykettä (ks. kuva 6). Lähimpänä vuotokohtaa on alue, jossa kosteutta on runsaasti. Tälle alueelle on virrannut vettä tai materiaalin kapillaarisuudesta johtuen huokokset ovat veden täyttämät. Toinen alue on vaihettumisvyöhyke, jossa veden määrä vähenee. Vyöhykkeen suuruus riippuu materiaalin mitoista ja kapillaarisuudesta. Kolmantena alueena on ympäristön suhteellisen kosteuden kontrolloima vyöhyke. Vuoto ei vaikuta tämän vyöhykkeen kosteuteen merkittävästi.



Kuva 6. Eri vyöhykkeet vesivaurion ympärillä.[29, s.25]

Rakenteet ja rakennusmateriaalit sisältävät erilaisia määriä vettä. Rakennekosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka rakenteesta poistuu ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristönsä kanssa. Rakenteesta poistuva kosteus vaihtelee suuresti riippuen rakennusmateriaalista, kuljetuksesta, varastoinnista, rakenteen suojauksesta rakentamisen aikana jne. Usein liian aikaisessa vaiheessa asennettavat pintarakenteet estävät kuivumista. [22, s.23] (ks. taulukko 7)

Taulukko 7. Päälystystyön edellytyksenä oleva betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo. [30, s.102]

Betonin suhteellisen kosteuden max. arvo, %	Päälyste	Huomautuksia
80	- mosaiikkiparketti	Puupäälyste irtoaa kosteus liikkeidensä takia alustasta (ohjearvon ylittyessä)
85	- huopa- tai solumuovi-pohjaiset muovimatot. - kumimatot - korkki-laatat, laattojen alapinnassa kosteuseristys (muovikalvo) - tekstiilimatot, joissa on alusrakenne (kumi, PVC kumilateksisively) - luonnonmateriaalista tehdyt tekstiilimatot ilman alusrakennetta	Bakteeritoiminta, sienikasvu, liimat eivät kestä kosteutta (PVAc)
90	- muovilaatat - muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa - linoleumi - alustaan kiinnittämättömät puulattiat, puun ja betonin välissä kosteudeneristys - polyuretaanimuovimassat - täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta (erikoistapauksissa suhteellinen kosteus < 97 %)	Useimmat liimatyypit eivät kestä suurta kosteutta, päälysteessä muutoksia Puulattioiden kosteudeneristykseenä esim. 0,2 mm muovikalvo saumat limittäin ja teipattuina. Märissä tiloissa sekä betonin kosteuden ollessa suuri (> 90 %) mattojen kiinnitykseen on käytettävä vedenpitävää liimaa ja riittävän runsaalla liimamäärällä varmistettava saumojen pitävyys
97	- epoksi-, akryyli- ja polyesterimuovimassat	Betonin pinnan on oltava muovimassaa levitettäessä kuiva sekä riittävän lämmin, muussa tapauksessa pinta on kuivattava.

Diffuusio

Diffuusiolla tarkoitetaan kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi. Yleisimmin diffuusion suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin. Tärkein diffuusion suuntaan vaikuttava tekijä on tilojen välillä vallitseva ilman kosteusero eli kosteus pyrkii diffuntoitumaan erottavan rakenteen läpi tilaan, jonka ilman vesihöyryn osapaine (yleensä myös absoluuttinen kosteus) on pienempi. Näin ollen saattaa diffuusion suunta olla joskus myös kylmemmästä lämpimämpään päin. [3, s.56]

Jotta estettäisiin vesihöyryn liiallinen tunkeutuminen seinärakenteisiin ja samalla mahdolliset kosteusvauriot, seinä tulee suunnitella siten, että lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin tulee riittävän vesihöyrytiivis kerros ja seinärakenteen vesihöyrynvastus pienenee kylmään tilaan päin mentäessä. [3, s.56]

Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan ilmavirtausten mukana tapahtuvaa vesihöyryn siirtymistä. Ilmavirtaukset aiheutuvat ilmanpaine-eroista. Rakenteiden toiminnan kannalta suurin merkitys on kylmänä vuodenaikana rakojen, halkeamien, reikien yms. läpi sisältä ulos ilmanpaine-erojen vaikutuksesta tapahtuvilla ilmavirtauksilla. Nämä ilmavirtaukset voivat kuljettaa mukanaan moninkertaisia kosteusmääriä diffuusioon verrattuna. [3, s.56]

2.4.2 Ulkopuolisia rasitteita

Ulkopuolelta rakennusta rasittavat sateen ja tuulen rakenteisiin tuoma kosteus sekä maaperästä tai maanpinnalta rakennukseen pääsevä kosteus (ks. kuva 5). Maaperästä rakenteisiin pääsevä kosteus on tyypillisin ja eniten ongelmia aiheuttava. [24, s.16]

Pintavesien ja poisjohtamattomien kattovesien valuminen rakenteisiin tai niiden alle on tavallinen pahojen homevaurioiden syy sekä maanvaraisella tai ryömintätilaisella alapohjalla tehdyissä, että kellarilla varustetuissa rakennuksissa. Kattovesien kohdalla erityisesti silloin, kun syöksytorstista purkautuvaa vettä ei ole johdettu pois rakennuksen viereltä tai tehdyt vedenpoistojärjestelyt ovat puutteellisia. [15, s.11]

Pohjaveden tunkeutuminen rakenteisiin tai niiden läpi on erittäin haitallista. Rakennuksen alla olevan pohjaveden korkeus vaikuttaa rakenteisiin imeytyvään kosteuteen kapillaari-ilmiön takia [15, s.12]. Maalajien kapillaariseen nousukorkeuteen vaikuttaa raekokojakauma. Nousukorkeus vaihtelee saven kymmenestä metristä, karkean hiekan muutaman sentin nousukorkeuteen [22, s.22]. Tavanomaisista rakennusmateriaaleista tyypillisesti kapillaarisia ovat sementtipohjaiset tuotteet (betoni, kevytbetoni, laastit, tasoitteet), tiilet ja muuraustuotteet, puu ja puutuotteet [28, s.161].

2.4.3 Kosteusvaurioille alttiita rakenteita

Kosteus- ja homevaurioille riskialttiimpia kohtia rakennuksessa ovat pääsääntöisesti ne osat, joihin kohdistuva kosteusrasitus on suuri. Vesikatto, maata vasten olevat rakenteet ja kosteat tilat ovat kosteusteknisesti rakennuksen rasitetuimpia kohtia ja siten myös vauriot niissä ja niihin liittyvissä rakenteissa ovat yleisimpiä (ks. taulukko 8). Toisaalta myös sellaiset rakenteet, joiden kuivuminen on erityisen hidasta (esim. maanvarainen laatta, jonka alapinnassa on muovikalvo ja päällysteenä tiivis muovimatto), ovat riskialttiita esimerkiksi vuotojen ja vesivahinkojen yhteydessä. [22, s.35]

Taulukko 8. Eri aikoina rakennettujen kerrostaloasuntojen tyypilliset kosteusvauriot Kansanterveyslaitoksen tutkimuksen mukaan. [11, s.28]

Rakennusajankohta	Kosteusvaurion syy
1950-luku	Yläpohjan vuodot - vesikatteen ja läpivientien vuodot
	Alapohjan kosteusvauriot - pesuhuoneiden lattiat
	Seinien kosteusvauriot - pesuhuoneiden seinät
	Putkivuodot
	Välipohjan kosteusvauriot - yläpuolisten asuntojen putkivuodot - vesikatteen vuodot - kosteuden tiivistyminen kattoon
	Ikkunarakenteiden kosteusvauriot
	1960-luku
1960-luku	Alapohjan kosteusvauriot - pesuhuoneiden lattiat
	Seinien kosteusvauriot - pesuhuoneiden seinät
	Pesuhuoneiden katot
	Putkivuodot
	Välipohjan kosteusvauriot - yläpuolisten asuntojen putkivuodot - kosteuden tiivistyminen kattoon
	Ikkunarakenteiden kosteusvauriot
	1970-luku
1970-luku	Alapohjan kosteusvauriot - pesuhuoneiden lattiat
	Seinien kosteusvauriot - pesuhuoneiden seinät
	Putkivuodot
	Välipohjan kosteusvauriot - yläpuolisten asuntojen putkivuodot - kosteuden tiivistyminen kattoon
	Ikkunarakenteiden kosteusvauriot
	1980-luku
1980-luku	Alapohjan kosteusvaurio - pesuhuoneiden lattiat
	Seinien kosteusvauriot - pesuhuoneiden seinät
	Putkivuodot
	Välipohjan kosteusvauriot - rakennusaikainen kosteus - kosteuden tiivistyminen kattoon

Riskirakenneselvitys

Viljanen ym. [18, s.14] sekä Seuri ja Palomäki [21, s.58] toteavat, että kohteen piirustusten ym. asiakirjojen, rakenteiden toteuttamistavan, aistinvaraisen tarkastuksen ja haastattelujen avulla rakennukseen pystytään tekemään riskiarvio. Riskiarviossa kuvataan rakenteen riskit, jotka voivat aiheuttaa kostumista ja sitä kautta homeongelmia (ks. taulukko 9). Suunnitelmien perusteella arvioidaan, ovatko rakenteet toimivia vai onko rakennuksessa yksityiskohtia, joihin liittyy selvä kosteus- ja homevaurioriski. Rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa ja kosteus- ja homevaurioriskiä voidaan arvioida rakennuksen tai rakenteen iän, eri rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten tai laskennallisten analyysien perusteella.

Taulukko 9. Kosteusteknisesti riskialttiita rakenteita. [21, s.65]

Maanvaraiset rakenteet	<ul style="list-style-type: none"> - maanvastainen betoninen kaksoislaatta - puukorotettu lattia betonisen maanvastaisen pohjalaatan päällä - tuulettuvat alapohjat (erityisesti puualapohja) - kellarin seinänä kivilatamus, jonka sisäpuolella tiilimuuraus - massiivinen betoninen kellarin seinä, jossa sisäpuolinen kosteuden- ja lämmöneristys - orgaanista eristemateriaalia sisältävät rakenteet
Julkisivurakenteet	<ul style="list-style-type: none"> - rankarakenteet kapearäystäisissä rakennuksissa ja/tai voimakkaassa ilmastorasituksessa - tiilverhottu rankarakenne - orgaanista eristemateriaalia sisältävät rakenteet
Yläpohjarakenteet	<ul style="list-style-type: none"> - tuulettuvat, mutta aluskatteettomat rakenteet - heikosti tuulettuvat rakenteet - umpirakenteet (mm. kevytsorakatto, lämmöneristealustainen katto) - runsaasti sisätaitteita tai yksityiskohtia sisältävät harjakatot - käännetty rakenteet (terassi) - orgaanista eristemateriaalia sisältävät rakenteet
Märkätilarakenteet	<ul style="list-style-type: none"> - vedeneristyksen puuttuminen rakenteesta - rakenteiden sisälle sijoitettu putkia - alalaatta- tai kaksoislaattaholvi märkätilan lattiana - puulevyrakenteiset märkätilan seinät

Seuraavassa on esitetty kosteus- ja homevaurioiden tarkistuslista, jota voidaan käyttää apuna esimerkiksi vuotuisissa tarkastuksissa. [11, s.94]

Ulkopuoliset tilat

1. vesikatteen kunto
2. kattokaivot, räystäskourujen kunto, kiinnitykset ja roskaisuus
3. sadevesien poisjohtaminen ja sokkelin roskaisuus
4. läpivientien tiiviys ja kattoikkunat
5. yläpohjan tuuletus
6. ilmanvaihtokanavien eristys
7. alapohjan tuuletus ja kunto
8. julkisivuelementtien saumat

Sisäpuoliset tilat

1. kosteuden aiheuttamat jäljet sisäkatossa ja seinissä
2. sisätilojen pintamateriaalien kunto
3. maanvastaisten seinien pintamateriaalien kunto
4. ikkunoiden kunto
5. saunan kalusteiden, karmien ja paneloinnin kunto
6. märkätilojen veden- ja kosteudeneristys ja pinnoitteiden kunto
7. märkätilojen lattiakaadot ja lattiakaivojen ympäristöt
8. keittiön tiskialtaan ympäristö ja allaskaappi, vesikalusteiden liitännät, jääkaapin edusta

2.5 Kosteusvaurioriskeihin varautuminen

Suunnittelu- ja rakennusvaihe (RakMK C2)

Rakenteet ja LVI- järjestelmät on tehtävä siten, ettei sisäisistä ja ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesihöyry, vesi tai lumi haitallisesti tunkeudu rakenteisiin ja rakennuksen sisätiloihin. Tarvittaessa rakenteen on kyettävä kuivumaan haittaa aiheuttamatta tai rakenteen kuivattamiseen esitetään suunnitelmissa menetelmä. [32, s.3]

Sade- ja sulamisvedet on johdettava pois rakennuksen vierestä. Rakennusta ympäröivä maanpinta muotoillaan rakennuksesta poispäin viettäväksi. Rakennuspohja on salaojitettava. Rakennuksen läheisyydestä vesi poistetaan sadevesiviemäreillä, ojittamalla tai muulla sopivalla tavalla. [32, s.4]

Kellarin lattiaa lukuun ottamatta on maanvastaisen lattian yläpinnan oltava vähintään 0,3 metriä rakennuksen ulkopuolella olevan maanpinnan yläpuolella. Tästä voidaan poiketa, jos perustusten kuivatuksen ohella huolehditaan perusmuurin suojaamisesta ulkopuoliselta kosteudelta. [32, s.6]

Alapohjan alapuolinen ryömintätila on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei ryömintätilaan kerääny vettä ja ryömintätila tuulettuu riittävästi, eikä ilmatilan kosteudesta ole haittaa rakenteiden toiminnalle ja kestävyydelle. [32, s.6]

Ulkoseinän ja ulkoseinään liittyvien rakenteiden vesihöyrynvastuksen ja ilmatiiviyden on oltava sellainen, ettei seinän kosteuspitäisyys sisäilman vesihöyryn diffuusion tai konvektion vuoksi muodostu haitalliseksi. Rakennuskosteuden sekä seinään ulko- tai sisäpuolelta satunnaisesti tunkeutuvan veden on voitava poistua vahinkoa ja terveysriskiä aiheuttamatta. [32, s.7]

Ikkunoiden ja ovien on oltava riittävän tiiviitä läpivuotavan ilman ja ulkopuolisen veden tunkeutumisen kannalta. Ikkunat, ovet ja ilmanvaihtolaitteet sekä ulkoseinään liittyvät katto- ja parvekerakenteet on suunniteltava ja toteutettava siten, ettei sadevesi tai lumi pääse tunkeutumaan rakenteisiin. [32, s.8]

Ulkoilmaan rajoittuvat seinärakenteet on liitettävä sokkeliin ja maanvastaiseen lattiarakenteeseen siten, että kosteuden haitallinen siirtyminen ja kertyminen seinärakenteeseen on estetty ja seinän alareunan kuivuminen on tarvittaessa mahdollista. [32, s.8]

Kellarin maanvastaisessa ulkoseinässä tai ulkopuolella, maata vasten olevan lämmöneristyksen sisäpuolella on käytettävä vedeneristystä tai vedenpaineeneristystä, joka estää ympäröivän maankosteuden ja pinta- sekä sulamisveden haitallisen tunkeutumisen rakenteeseen. [32, s.9]

Vesikaton on estettävä sadeveden, lumen ja sulamisveden tunkeutuminen kattorakenteisiin, seiniin ja sisätiloihin. Räystäiden tekeminen riittävän pitkiksi on suositeltavaa seinärakenteiden suojaamiseksi. [32, s.9]

Yläpohjan eri kerrokset ja katon tuuletus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei kattoon keräännä haitallisia määriä kosteutta ja rakenteisiin mahdollisesti pääsevä kosteus voi kuivua. [32, s.10]

Märkätilojen vedenpoisto ja rakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei vettä pääse valumaan tai siirtymään kapillaarivirtauksena ympäröiviin rakenteisiin ja huonetiloihin. Lattian kaltevuuden on oltava sellainen, että vesi valuu esteettä lattiakaivoon. Märkätilan lattiapäällysteen ja seinäpinnoitteen on toimittava vedeneristykseenä tai lattiaan, päällysteen alle ja seinään, pinnoitteen taakse on tehtävä erillinen vedeneristys. [32, s.10]

Kiinteistön LVI- ja jäähdytyslaitteistot on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että mahdollinen vuoto havaitaan ennen laajaa vesi- tai

kosteusvahinkoa. Putket, kanavat ja laitteet on sijoitettava, eristettävä tai varustettava siten, ettei vesi putkistoissa jäädy eikä niiden pinnoille tiivisty kosteutta. Tiivistyvä vesi on pystyttävä johtamaan pois haitta aiheuttamatta. [32, s.11]

Kuntoarviot ja kuntotutkimukset

Kiinteistön järjestelmällisen, taloudellisesti ja teknisesti hallitun kunnossapidon edellytyksenä on oikea tieto kiinteistön kunnosta sekä luotettava ennuste tulevista korjaustarpeista ja niiden kustannuksista. Kuntoarvion pohjalta on edellytykset käynnistää olemassa olevan kiinteistön kunnossapito- ja korjaustoimenpiteet [33, s.23]. Peruskuntoarvio tehdään ensimmäisen kerran rakennuksen ollessa 5 - 10 vuoden ikäinen. Sen jälkeen kuntoarvio päivitetään noin viiden vuoden välein. Kuntoarvio on aistinvarainen ja kokemusperäinen tarkastus, johon ei yleensä liity mittauksia [34, s.11]. Laajemmat korjaustoimenpiteet vaativat usein kuntotutkimuksia vaurioiden syiden ja korjaustapojen selvittämiseksi.

Kuntotutkimukset ovat rakennuksen kuntoarviota täydentäviä ja tarkentavia menetelmiä, joiden avulla selvitetään eri rakennusosien ja vaurioiden korjaustarpeet ja -mahdollisuudet. Niiden tarkoituksena on tarkentaa rakennuksen kuntoarviota ja tuottaa korjaussuunnitelmien laatimisen lähtötietoja [33, s.23]. Korjaussuunnittelua tukeva kuntotutkimus on sisällöltään vaihteleva ja sisältää yleensä useita erilaisia mittauksia. Kosteus- ja homevaurioissa korjaussuunnittelun lähtökohtana on vaurion aiheuttajan poistaminen ja korjauksen laajuuden oikea valinta.

Huoltokirja

Huoltokirjan avulla voidaan saavuttaa ylläpidon tavoitteet kiinteistön taloudellisen käyttöajan ajan. Huoltokirjaan kootaan kiinteistön hoidon, huollon ja kunnossapidon lähtötiedot, tavoitteet, tehtävät ja ohjeet. Huoltokirjassa johdetaan rakennusosien ja laitteiden käyttöikätaivoitteista niiden kunnos-

sapitojaksot sekä tarkastusten ja huoltojen ohjelmat. Huoltokirjassa esitetään hyvän energiatalouden ja sisäilmaston edellyttämiä hoito-, huolto- ja kunnossapitotehtäviä. Huoltokirjan järkevä käyttö ja ylläpito on tärkeää kosteus- ja homevaurioiden ennaltaehkäisyssä. [28, s.183]

Hyvään suunnitelmaan sisältyvät myös ohjeet rakennuksen ja sen varusteiden ja laitteiden käyttöön ja ylläpitoon. Tuleville käyttäjille on hyvä selvittää esimerkiksi ilmastoinnin toiminnan periaate, jotta vaurioita ei lähtisi syntymään siitä, että ilmankiertoa jollain tavalla häiritään. Tilojen käyttäjien ohjeiden laajuus ja sisältö vaihtelevat mm. vuokrasopimuksen tai yhtiömuodon vastuurajojen mukaisesti. [35]

Seuraavassa on esitetty ohjeita terveelliseen asumiseen [36, s.130]

1. Pidä huoneen lämpötila 20...22 asteessa
2. Järjestä riittävä ilmanvaihto; makuuhuone, keittiö, kylpyhuone
3. Vältä haisevia materiaaleja, haju on haitta
4. Siivoa säännöllisesti
5. Pidä suhteellinen kosteus talvella 25...45 %:ssa ja kesällä 30...60 %:ssa
6. Tarkkaile mahdollisia kosteusvauriota ja korjaa heti vesivahingot
7. Älä asu remontin keskellä
8. Käytä rakentamisessa hyväksi koettuja ratkaisuja
9. Huolla asuntoasi

3 KOSTEUSVAURION HAVAITSEMINEN JA KUIVATUS

3.1 Mittausmenetelmät

Puhuttaessa kosteudesta tulee selkeästi erottaa määritelmät ilman kosteus, materiaalin kosteus ja rakenteen kosteus. Ilman kosteus ilmoitetaan yleensä suhteellisen kosteuden avulla. Materiaalin kosteudella tarkoitetaan kuinka paljon kosteutta tai vettä on materiaalissa mitattuna kuivapainosta. Materiaalin kosteus ja vesimäärä voidaan määrittää erilaisilla tavoilla. [37, s.99]

Mittaukset aloitetaan aina olosuhdemittauksilla eli ulko- ja sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaamisella. Olosuhdemittaukset antavat käsityksen rakennuksen käyttötapojen vaikutuksesta sisätilan lämpötila- ja kosteusolosuhteisiin. Samalla ne muodostavat lähtökohdan tutkittavien rakenteiden toiminnan analysoimiseksi. [38, s.41]

Ainoan täysin luotettavan tuloksen antava menetelmä on näytekappaleen punnitus-kuivatus, jossa näyte punnitaan, kuivataan ja punnitaan uudelleen, jolloin saadaan vesimäärä ja materiaalin kuivapaino. Toisen mittausmenetelmän muodostavat menetelmät, joissa materiaalin huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus (RH %) mitataan materiaaliin poratusta reiästä. Tasapainokosteuskäyrien avulla saadaan materiaalin kosteuspitoisuus määriteltä. Kolmanneksi kosteuspitoisuuden määrittämismenetelmät voivat perustua erilaisiin sähköisiin ilmiöihin. Useimpien rakennusmateriaalien sähkönjohtokyky kasvaa voimakkaasti kosteuspitoisuuden lisääntyessä. [37, s.99]

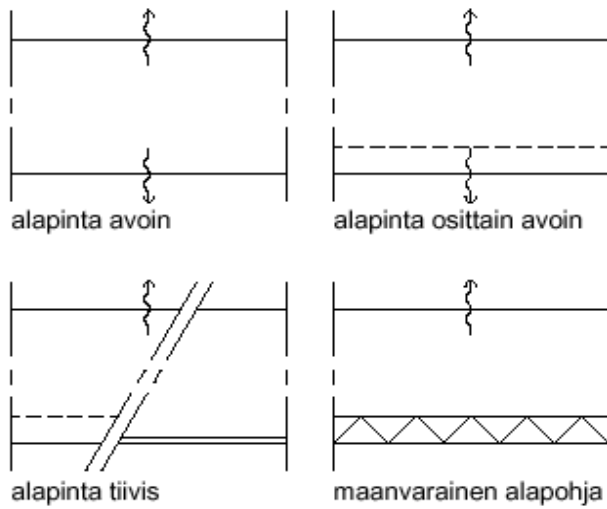
Kosteuden mittausmenetelmät voidaan jakaa seuraavasti:

Mittaukset rakenteiden pinnalta ainetta rikkomattomalla menetelmällä. Kosteudenosoitin painetaan tutkittavaan kohteeseen, josta se mittaa pinnanalaisen sähköisen kentän muutoksia. Materiaalit huomioiden tästä voidaan johtaa rakenteen kosteusmääriä. Materiaaliominaisuuksien vaihtelu sekä laitteiden toimintaperiaate tekee mittaustuloksista lähinnä suuntaantavia. Mittaussyvyys on mittareista riippuen muutamia senttimetrejä ja lisäksi on syytä muistaa, ettei pinnan kosteus välttämättä kuvaa rakenteen kosteutta. Rakenteiden kerroksellisuus heikentää mittausten luotettavuutta. [37, s.99]

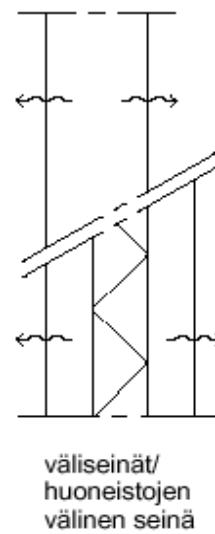
Mittauksiin rakenteiden sisältä sisältyy usein rakenteiden purkamista tai menetelmät rikkovat rakenteita. Sähköisellä puunkosteuden mittarilla voidaan puurakenteiden kosteus mitata ottamatta materiaalista näytettä. Suhteellisen kosteuden mittausta rakenteista käytetään yleisimmin betonirakenteiden kosteuden mittaamiseen, mutta sitä voidaan soveltaa myös muihin rakenteisiin. Tutkittavaan materiaaliin porataan anturia hieman isompi reikä. Tasaantumisaajan (3...7 vrk) kuluttua mitataan lämpötila ja rakenteen suhteellinen kosteus. [37, s.100]

Mittauskohdat valitaan ottaen huomioon rakenteen tyyppi ja mitat, betonin ominaisuudet ja mittaushetkellä vallitsevat ympäristöolot (ks. kuvat 7a ja 7b). Mittaussyvyys valitaan betonirakenteen paksuuden mukaan. Tarvittaessa määritetään rakenteen kosteusjakauma mittaamalla betonin suhteellinen kosteus erisyvyisistä rei'istä. Mitattavasta tilasta valitaan 1...3 mittausta paikkaa lattiasta, seinistä ja sisäkatosta (ks. kuva 8). Jokaisesta mittauskohdasta määritetään kosteus vähintään kahdesta rinnakkaisesta porareistä, joiden keskinäinen etäisyys on 100...300 mm. Porauspöly poistetaan rei'istä huolellisesti. Puhdistamaton porareikä antaa liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Rakenteen lämmitykseen perustuvan kuivatuksen jälkeen rakenteen annetaan jäähtyä ennen mittausta. [4, s.2]

Kuivumissuunta
laatat



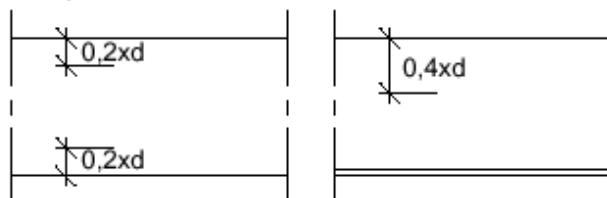
seinät



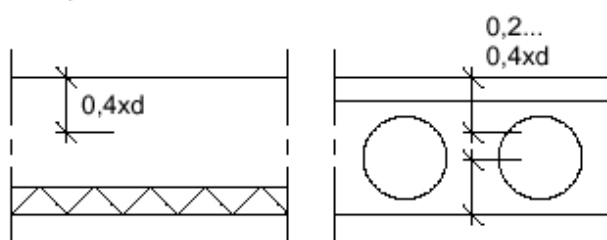
Kuva 7a. Laattojen ja seinien kuivumissuunnat.

Mittaussyvyys
laatat

lattiapinta

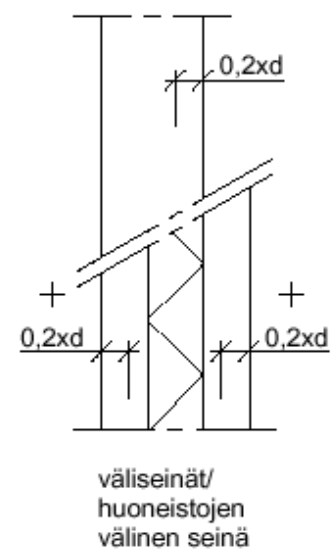


kattopinta

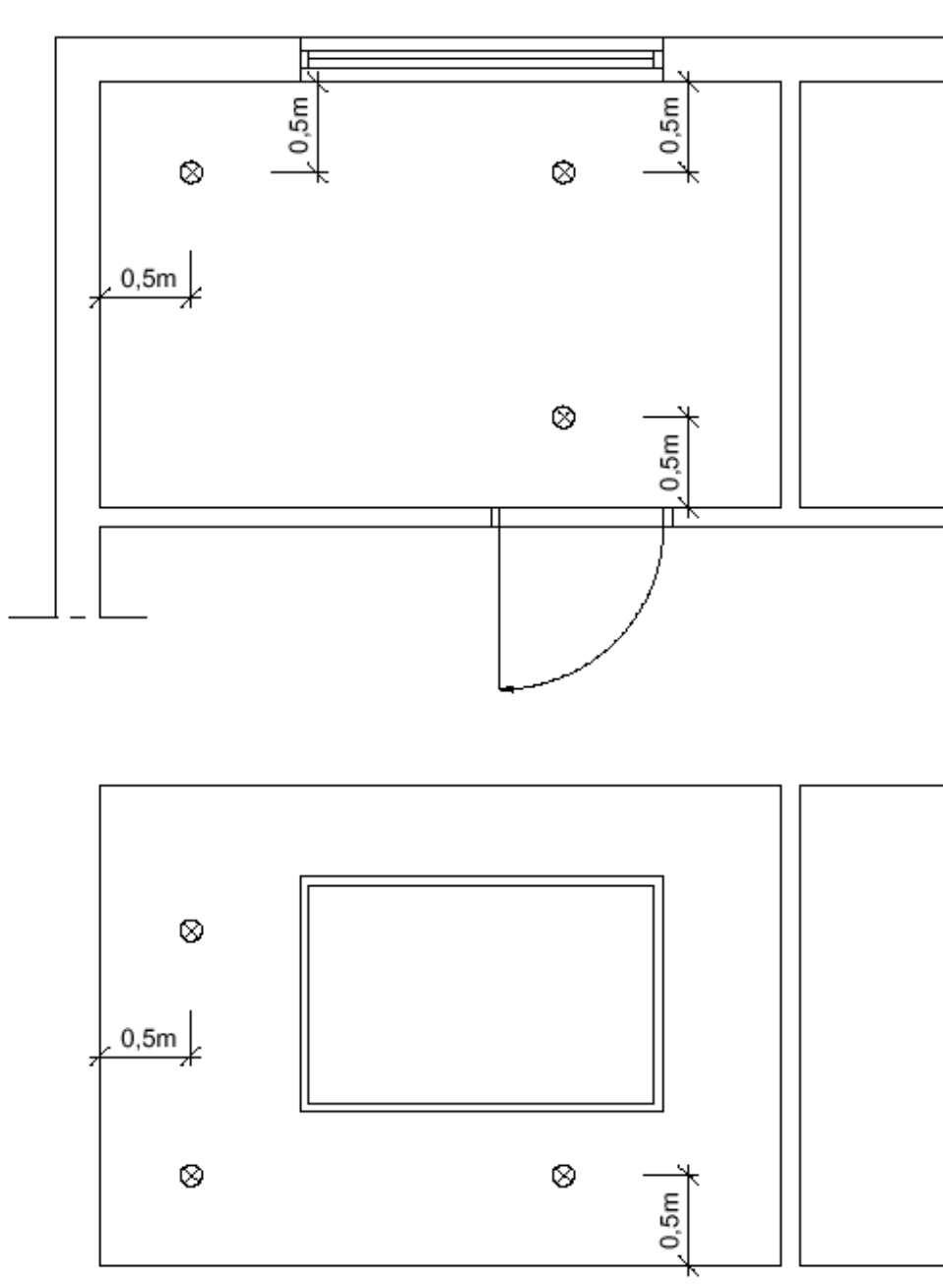


mittaussyvyys riippuu
alapinnan tiivyydestä

seinät



Kuva 7b. Mittaussyvyyden määrittäminen ala- tai välipohjatyypin ja betoni-
nilaatan paksuuden mukaan. [4, s.2]



Kuva 8. Esimerkki mittauskohtien valinnasta mitattavassa tilassa. Kosteus mitataan vähintään kahdesta rinnakkaisesta porareistä, joiden keskinäinen etäisyys on 100...300 mm vertailuarvon saamiseksi. Ontelolaatoilla suositellaan 300 mm:n etäisyyttä. [4, s.3]

3.3 Kuivatusmenetelmät

Kosteusvaurion havaitsemisen jälkeen on mahdollisimman pian aloitettava rakenteiden kuivattaminen. Homeet aloittavat kasvunsa muutaman viikon sisällä ja puurakenteissa laho voi käynnistyä muutamassa kuukaudessa. Nopeasti ja tehokkaasti aloitettu kuivatus sekä viipymättä käynnistetyt korjaustoimenpiteet estävät vaurion etenemisen. Äkillisissä vesivaurioissa (putkivuodot, sammutusvesi) vaurion etenemisen pysäyttämiseksi voidaan kuivatustoimenpiteitä täydentää kemiallisin käsittelyin, joilla pitkään kestävä kuivatuksen aikainen homehtuminen estetään. [15, s.61]

Ennen kuivauksen aloittamista silminnähden homehtuneet ja lahonneet rakennusosat on poistettava mikrobien itiöiden leviämisen estämiseksi. [31, s.3]. Kuivatuksen lopputulos on aina varmistettava kosteuden mittauksella. Mittauksia tulisi tehdä riittävän monesta kohdasta ja syvyydestä. [15, s.62]

Luonnollinen kuivattaminen rakenteita avaamalla

Mikäli rakenne on kastunut hetkellisesti esimerkiksi vähäisen putkivuodon seurauksena eikä rakenteen sisään ole jäänyt vettä, voidaan kuivattaminen ehkä hoitaa purkamalla ja avaamalla rakenteita siten, että ilma pääsee vapaasti kiertämään. Tämän kuivausmenetelmän käyttömahdollisuuden vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakenne ja materiaalit, niiden tuuletusmahdollisuus, kosteusmäärät sekä vuodenaika. Betonilattioiden kuivattamista kannattaa tehostaa koneellisella kuivatuksella, koska niiden luonnollinen kuivuminen on hidasta ja kosteutta voi jäädä korjattuun rakenteeseen. [15, s.61]

Ilman puhaltaminen rakenteeseen

Koneellisista menetelmistä yksinkertaisin tapa on ilman puhaltaminen kastuneen rakenteen pintaan tai rakenteiden sisään, jolloin kuivatus nopeutuu. Puhallettavan ilman kuivaaminen tehostaa kuivumista, koska kuivattu ilma kykenee sitomaan kosteutta tehokkaammin ja kuljettamaan sitä rakenteesta pois [15, s.61]. Samanaikaisesti ilmaa voidaan imeä kuivattavan alan reunoilta, jolloin ilma kiertää rakenteessa paremmin ja kuivuminen nopeutuu. Kosteaa ilmaa tulee johtaa kuivattavan tilan ulkopuolelle.

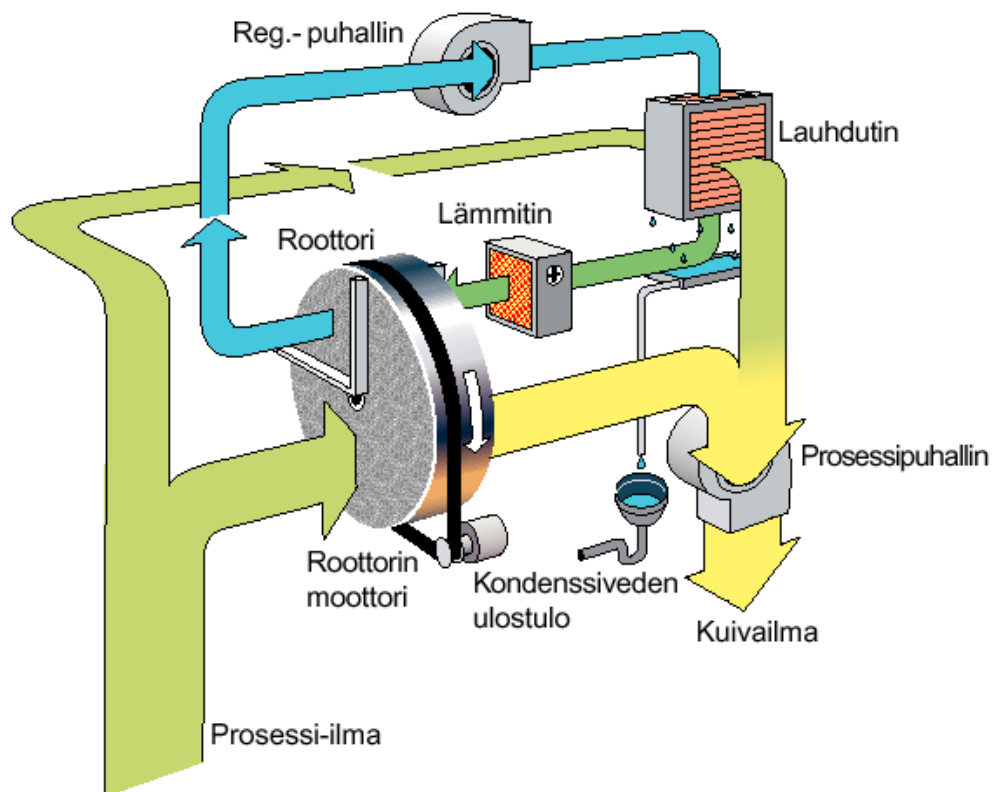
Pintakuivatus

Pintakuivatusta käytetään massiivisiin betonirakenteisiin tai puu/levyrakenteisiin. Pintakuivatuksella kuivattava rakenne saadaan haihduttamaan kosteutta kuivattamalla ilma mahdollisimman lähellä kosteaa aluetta. Menetelmässä hyödynnetään rakenteen pinnan ja rakenteen sisällä olevia lämpötilaeroja. [38, s.19]

3.4 Kuivaimet

Kondenssikuivain

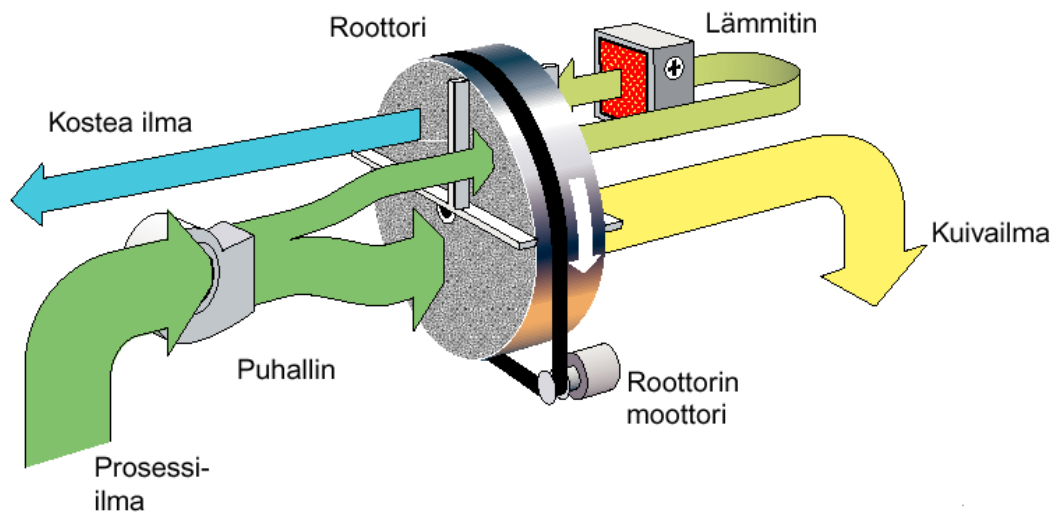
Kondenssikuivaajassa (ks. kuva 9) kuivatettava ilma imetään jäähdytyspatterin läpi, jolloin osa ilmassa olevasta kosteudesta tiivistyy sen pinnalle. Kuivattu ilma puhalletaan lämmityspatterin läpi takaisin kuivatettavaan tilaan. Kondenssikuivaaja soveltuu parhaiten lämpimiin ja kosteisiin tiloihin. [39, s.63]



Kuva 9. Erään valmistajan kondenssikuivaimen toimintaperiaate. [40, s.1]

Absorptiokuivain

Absorptiokuivaaja (ks. kuva 10) poistaa kosteutta ilmasta kosteutta imevän aineen avulla. Absorptiokuivaaja voi olla esim. roottori, jossa on suuri määrä ohutseinäisiä kanavia, joiden läpi kuivatettava ilma kulkee kosteuden sitoutuessa roottoriin. Päinvastainen ilmavirta, joka lämmitetään sähkö- tai höyrypatterilla, sitoo kosteuden poisjohdettavaksi. [39, s.63]



Kuva 10. Erään valmistajan absorptiokuivaimen toimintaperiaate. [41, s.1]

Infrapunakuivain

Menetelmää voidaan kutsua myös "pikakuivatukseksi", jossa betoni lämmitetään noin + 40...+ 50 °C:seen. Infrapunasäteet eivät lämmitä ilmaa, vaan sen aineen, jonka ne kohtaavat [39, s.60]. Paras kuivausteho saavutetaan ns. jaksotuksella, jolloin lämmitysjakson pituus on esimerkiksi 8 - 12 tuntia ja jäähdytysjakso noin 2 - 4 tuntia. Jäähdytysjakson aikana kytetään lämmitys pois päältä ja annetaan poistoilmaimun olla toiminnassa. Tällöin kuivattava betonilaatta luovuttaa kosteutta ja päästään ns. pumpausperiaatteeseen. Jaksotusta tehdään, kunnes betonilaatta on kuiva.

Parhaimmillaan tämä kuivain on silloin, kun pintalaatan vahvuus ei ylitä 100 mm.

Mikroaaltokuivain

Paikallisesti kastuneita pieniä alueita voidaan kuivattaa tehokkaasti mikroaaltokuivaimilla. Kuivauksen teho on suuri ja se voidaan kohdistaa tehokkaasti vauriokohtaan, joten rakenne kuivuu nopeasti. Tehokkaimmillaan menetelmä on betoni- ja kivrakenteiden kuivatuksessa. Menetelmää voivat käyttää vain alan ammattiliikkeet, koska se edellyttää tarkkaa tietoa menetelmän turvallisuudesta ja käyttömahdollisuuksista, jotta rakenteille ei aiheuteta lisävaurioita. [15, s.62]

4 KENTTÄKOKEET KOY JÄNIKSENPOLULLA

4.1 Kohteen perustiedot

Tutkimuksen kohteena oli vuonna 1980 rakennettu kolmikerroksinen ja kaksi porraskäytävää käsittävä asuinkerrostalo (ks. kuva 11). Kohteen kantava runko on tehty betonista paikalla valaen. Pitkillä julkisivuilla on käytetty sandwich-elementtejä. Huoneistoissa on käytetty lattia-pinnoitteena juuttipohjaista muovimattoa. Pesuhuoneissa on pinnoitteena homogeeninen muovimatto lattiassa ja vaahtomuovitaпети seinissä.



Kuva 11. Tutkimuskohde Suomussalmen Jäniksenpolulla.

4.2 Koejärjestelyt

Kokeet suoritettiin 3 huonetta ja keittiön käsittävässä huoneistossa Jäniksenpolulla Suomussalmella. Keittiössä demonstroitiin kodinkoneen aiheuttama kosteusvaurio ja monitoroitiin vaurion vaikutusta sisäilman laatuun ilmanvaihdon ollessa minimissä. Materiaaleista otettiin kolme vertailunäytettä ennen vaurion syntymistä sekä kolme näytettä kolme viikkoa vaurion syntymisen jälkeen. Kosteusvaurion paikallistamisessa käytettiin erilaisia tällä hetkellä käytössä olevia menetelmiä.

4.3 Tutkiminen käytännössä

Kokeen alussa mitattiin betonilaatan suhteellinen kosteus 40 mm ja 60 mm syvistä porareistä Vaisala HMI 41 -mittalaitteella ja HMP 42 -mittapäällä (ks. kuva 12). 40 mm syvässä reiässä betonin suhteellinen kosteus (RH %) oli 32,3 % ja 60 mm syvässä reiässä 37,1 %. Samalla mitattiin ilman suhteellinen kosteus 23,6 % sekä lämpötila 16,3 °C.



Kuva 12. Tutkimuksessa käytettyjä mittalaitteita. Vasemmalta lukien; GANN Hydromette RTU 600, Vaisala HMI 41 -näyttölaite ja HMP 42 -mittapää, Hygro Meter BS2 -pintakosteusmittari sekä kosteudenmittausanturit HOBO Pro RH/Temp, H08-032-08 ja HOBO RH/Temp, H08-003-02.

Seuraavaksi mitattiin betonilaatan suhteellinen kosteus kauttaaltaan koko huoneesta GANN Hydromette RTU 600 -pintakosteusmittarilla sekä Hygro Meter BS2 -pintakosteusmittarilla. Molemmat mittaukset osoittivat, että betonilaatta on kuiva.

Ennen vaurion aiheuttamista ja vaurion jälkeen tarkasteltiin tarkemmin ns. kodinkoneen paikkaa ja sen välitöntä läheisyyttä. Betonilaatasta mitattiin kosteudet GANN Hydromette RTU 600 -pintakosteusmittarilla sekä Hygro Meter BS2 -pintakosteusmittarilla. (kts. liite C)

Jalkalistasta noin 50 ja 70 senttimetrin etäisyydeltä vauriokohdasta mitattiin kosteudet (paino %) kahdesta kohdasta ennen vauriota GANN Hydromette RTU 600 -mittarin puunkosteudenmittauspiikillä: (kts. liite D)

- mittauspaikka (mp) 7 6,8 paino %
- mittauspaikka (mp) 8 6,5 paino %

Lastulevyisestä sokkelista välittömästi vauriokohdan läheisyydestä mitattiin kosteudet (paino %) kolmesta kohdasta ennen vauriota GANN Hydro-mette RTU 600 -mittarin puunkosteudenmittauspiikillä:

- mittauspaikka (mp) 9 6,1 paino %
- mittauspaikka (mp) 10 5,8 paino %
- mittauspaikka (mp) 11 6,0 paino %

Ennen kosteusvaurion aiheuttamista juuttipohjaisesta lattiamatosta (ks. kuva 13) otettiin näytepalat 1 ja 2 sekä keittiökaapin lastulevyisestä sokkelista näytepala 3 (tulokset ks. liite K). Materiaalinäytteet otettiin aiheutettavan kosteusvaurion välittömästä läheisyydestä. Ilmanvaihdon minimoimiseksi poistoilmaventtiili teipattiin (ks. kuva 14) ja oviaukkoon laitettiin muovi (ks. kuva 15).



Kuva 13. Juuttipohjainen lattiamatto.



Kuva 14. Poistoilmaventtiili teipattuna.



Kuva 15. Oviaukko muovilla suljettuna.



Kuva 17. "Hobot" peitettynä.

Kosteusvaurion kuivatuksessa käytettiin infrapunakuivainta DRY 100 (kts. kuva 18). Kuivainta käytettiin kolmen tunnin ajan, jonka aikana betonin absoluuttinen ja suhteellinen kosteus laskivat jyrkästi. Liitteistä G–J nähdään lämpötilojen ja kosteuksien muutokset. Vaikka pintakosteusmittarit antavat korkeita lukemia, se ei merkitse, että betoni olisi kauttaaltaan märkää. Jo lyhytaikaisella täsmäkuivatuksella saatiin ylimääräinen kosteus haihtumaan varsin nopeasti.



Kuva 18. Kosteusvaurion kuivatuksessa käytetty infrapunakuivain.

4.4 Homeiden kasvu ilmanvaihdon ollessa minimissä

Ennen kosteusvaurion aiheuttamista materiaalinäytteistä löytyi enemmän mikrobeja, kuin vaurion jälkeen otetuista näytteistä. Syynä tähän voi olla:

- vanha, piilevä homevaurio
- siivous liialla vedellä
- näytteiden tutkiminen eri laboratorioissa
- näytteidenotto eri kohdista
- lyhytaikainen vaurio (ehtikö mikrobeja muodostua?)

4.5 Homepitoisuus ilmassa

Homenäytteet ilmasta otettiin Andersen-keräimellä (ks. kuva 19). Ennen näytteenottoa keräin desinfioitiin ja ”tyhjäkäytettiin” minuutin ajan. Tämän jälkeen keräimeen laitettiin mikrobien elatusainemaljat (6 kappaletta). Keräimen läpi imettiin ilmaa kymmenen minuutin ajan. Ilmanäytteiden mikrobit määritettiin kolmelta kasvualustalta: (tulokset ks. liite L)

- mesofiiliset sienet, mallasuute-agareilta
- mesofiiliset sienet, DG-18-agareilta
- mesofiiliset bakteerit, tryphonihiivaekstraktiglukoosi (THG)-agarilta

Näytteitä kasvatettiin + 25 °C:n lämpötilassa seitsemän vuorokauden ajan, jonka jälkeen syntyneiden pesäkkeiden määrät laskettiin ja sienet tyyhitettiin valomikroskooppisesti. Saatujen pesäkelukujen perusteella määritettiin mikrobipitoisuudet. Mikrobianalyysit teetettiin Oulun aluetyöterveyslaitoksella.

Ennen otsonointia kerättyihin ilmanäytteiden mikrobilajistoihin sisältyi seuraavia kosteissa oloissa viihtyviä sieniä ja aktinobakteereita:

- Scopulariopsis
- Aspergillus penicillioides.
- Aspergillus versicolor
- Mucor
- Rhodotorula
- Streptomyces

Ennen toista ilmanäytteenottoa huoneilma desinfioitiin XL-15 -merkkisellä otsonaattorilla (ks. kuva 20). Kyseinen laite tuottaa otsonia 35 g/h. Otsonointi muuttaa haitalliset aineet vaarattomampaan muotoon; esimerkiksi hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Otsonia ei tarvitse erityistoimenpitein poistaa saneerauskohteesta, vaan se muuttuu itsestään takaisin hapeksi.



Kuva 19. Andersenin-keräin toiminnassa.

Otsonoinnin jälkeen otetussa ilmanäytteessä oli vain yksi kosteissa oloissa viihtyvä mikrobi:

- Scopulariopsis



Kuva 20. XL-15-merkkinen otsonaattori.

4.6 Homeet rakenteissa

Ennen kosteusvauriota materiaalinäytteiden mikrobit analysoitiin kolmelta kasvatusalustalta. Mikrobianalyysit teetettiin Kuopion aluetyöterveyslaitoksella: (tulokset ks. liite K)

- mesofiiliset sienet, Dikloran-glyseroli-agar (DG-18-agar)
- mesofiiliset sienet, 2 % mallasuuteagar (M2-agar)
- mesofiiliset bakteerit, tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar (THG-agar)

Näytteitä kasvatettiin + 25 °C:n lämpötilassa seitsemän vuorokauden ajan; niihin sisältyi seuraavat kosteusvaurioon viittaavat mikrobit:

Näyte 1, ”jääkaapin” edestä, muovimatosta

- Aureobasidium
- hiivat, punainen
- hiivat, vaalea
- Mucor

Näyte 2, noin 1 metrin päässä vauriokohdasta, muovimatosta

- Aureobasidium
- hiivat, punainen
- Acremonium
- Streptomyces

Näyte 3, Lastulevykaapin sokkelista

- hiivat, punainen

Kosteusvaurion aiheuttamisen jälkeen (3 viikkoa) materiaalinäytteiden mikrobit määritettiin kolmelta kasvatusalustalta:

- mesofiiliset sienet, Hagem-agareilta
- mesofiiliset sienet, DG-18-agareilta
- mesofiiliset bakteerit, tryptonihiivaekstraktiglukoosi (THG)-agarilta

Näytteitä kasvatettiin + 25 °C:n lämpötilassa seitsemän vuorokauden ajan, jonka jälkeen syntyneiden pesäkkeiden määrät laskettiin ja sienet tyypitettiin valomikroskooppisesti. Saatujen pesäkelukujen perusteella määritettiin mikrobipitoisuudet. Mikrobianalyysit teetettiin Oulun aluetyöterveyslaitoksella. Näytteisiin sisältyi seuraavat kosteissa oloissa viihtyvät mikrobit:

Näyte 1, lattiakaapin edestä, muovimatosta

- Aureobasidium
- Rhodotorula
- Ulocladium
- Streptomyces

Näyte 2, ikkunan edestä, muovimatosta

- Aureobasidium
- Mucor
- Rhodotorula

Näyte 3, patterin edestä, muovimatosta

- Rhodotorula

Näyte 4, ikkunan edestä, muovimatosta

- Acremonium
- Rhodotorula
- Streptomyces

4.7 Kosteuden kehittyminen rakenteissa

Alkutilanteessa betonilaatta oli kauttaaltaan kuiva ja kosteusvaurioon käytetty vesimäärä oli suhteellisen pieni. Liitteistä G–J nähdään, miten betonin kosteus nousee vaurion tapahduttua, eikä betonilaatta pääse kuivumaan tiiviin pintamateriaalin takia. Jos tällaisessa kohdassa betonin päällä ei ole pinnoitetta, voi kosteus päästä haihtumaan aiheuttamatta vaurioita. Jo muutaman tunnin täsmäkuivatuksella saatiin betonilaatan kosteus pienentymään huomattavasti.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Mittausmenetelmien käyttökelpoisuus

Pintakosteusmittareilla mitattaessa materiaaliominaisuuksien vaihtelu sekä laitteiden toimintaperiaate tekevät mittaustuloksista lähinnä suuntaa-antavia. Menetelmällä voidaan kuitenkin nopeasti paikallistaa ja rajoittaa vaurioituneet kohdat, esimerkiksi tarkentavia porareikämittauksia varten. Lisäksi on syytä muistaa, ettei pinnan kosteus välttämättä kuvaa betonilaatan kosteutta.

Betonilaattaan asennetuilla kosteudenmittausantureilla sekä ulko- ja sisäilman olosuhdemittauksilla pystytään seuraamaan kosteuden ja lämpötilojen kehittymistä koko tutkimuksen ajan. Anturien mittausvälit voidaan ohjelmoida tarpeen mukaan sekä mittaustulokset ovat tulostettavissa kuvaajiksi. Tutkimukseen, joka on pitkäaikainen ja jossa rakenteita voidaan rikkoa antureiden asentamista varten, nämä soveltuvat hyvin. On hyvä, jos antureita on useita, sillä kaikki eivät välttämättä mittaa, kuten kävi tässä tutkimuksessa.

Materiaali- ja ilmanäytteiden avulla varmistetaan rakennuksen kosteusvaurioiden mahdollisuus. Näillä mittauksilla varmistutaan, onko rakennuksessa tyypillisiä kosteusvaurioon liittyviä mikrobeja. Jos on tarkoitus korjata kosteusvaurio, silloin näytteenotto on kohdistettava materiaalinäytteiden tutkimiseen. Ilmanäyte voi osoittaa homevaurion, mutta se ei sulje pois vaurion mahdollisuutta, sillä vaurio ei näy välttämättä kohonneina pitoisuuksina sisäilmassa. Näytteiden ottamisessa ja analysoinnissa ei pitäisi turvautua vain yhden näytteen avulla tehtyihin johtopäätöksiin. Käytettäessä useampia menetelmiä samanaikaisesti saadaan tuloksista luotettavia.

5.2 Korjaustavat

Kosteusvaurioituneen rakennuksen korjaaminen edellyttää rakennusteknistä tietoutta ja laajapohjaista rakennusfysiikan hallintaa. Rakennuksen vaurioiden tutkimisessa ja korjauksessa tulee käyttää asiantuntijoita, joilla on riittävä kokemus tehtävästä [31, s.1]. Koiviston mukaan [42, s.3] korjaustyön eteneminen voidaan jakaa kahdeksaan eri vaiheeseen:

1. Vaurion havaitseminen
2. Vaurion syyn selvittäminen
3. Vaurion aiheuttajan poistaminen
4. Vaurion laajuuden selvittäminen
5. Korjaussuunnitelman laatiminen
6. Rakenteiden kuivattaminen
7. Vaurioituneiden rakenteiden uusiminen
8. Jälkiseuranta

Vaurion havaitseminen perustuu näköhavaintoon, hajuun tai jopa kuulohavaintoon, esimerkiksi putkivuodossa. Kuntotarkastuksella sekä huollon yhteydessä mahdolliset kosteusvaurioriskit voidaan havaita jo ennalta. Ennakoidun tai syntyneen vahingon korjaamiseen tulisi ryhtyä välittömästi. [42, s.3]

Seuraavana selvitetään havaitun vaurion syyt. Kosteus- ja homevaurioiden syiden selvittämiseen luotettava keino on kuntotutkimus, jonka avulla voidaan valita oikeat menetelmät vaurioiden poistamiseksi [18, s.12]. Korjaustyön onnistumisen varmistamiseksi kaikki vaurioon johtaneet osatekijät on selvitettävä [43, s.135].

Vaurion aiheuttaneen vian korjaaminen mahdollisimman nopeasti on tärkeää, koska kosteusvaurion vaikutusajalla ja vesimäärällä on ratkaiseva merkitys vaurion laajuuteen ja vakavuuteen. Jos vaurion aiheuttajaa ei poisteta, saattaa seurauksena olla saman vaurion kehittyminen uudelleen. [42, s.3]

Vaurion laajuuden selvittäminen on tärkeää hyvän korjaussuunnitelman tekemiseksi. Vaurioiden olemassaolo ja vaurioalueen laajuus saadaan selville silmämääräisten havaintojen ja rakenteiden kosteusmittausten sekä mikrobiologisten analyysien perusteella. Terveeltäkin näyttävän rakenteen taustat ja ympäristö on tarkistettava. [43, s.135]

Korjaussuunnitelman pohjana on kuntotutkimus, jossa homevauriot on lueteltu ja syyt selvitetty [44, s.50]. Homevaurion aiheuttaneita tekijöitä voi samanaikaisesti olla useita. Mahdollisten päällekkäisten vauriosyiden vaikutuksia ei aina voida erottaa, jolloin tulee varautua siihen, että korjaustyön aikana joudutaan korjaussuunnitelmia täydentämään tehtävien lisähavaintojen mukaisesti. [15, s.20]

Korjauksen laajuuden määrittäminen

Korjausten laajuuden määrittäminen on oleellinen osa vaurion selvittämistä. Korjaus on tehtävä riittävän laajasti siten, että vaurion uusiutuminen estetään, kosteusvauriosta aiheutuvat terveysthaitat poistuvat ja rakennusta voidaan turvallisesti käyttää. Korjauskustannusten olisi myös pysyttävä kohtuullisina. Yleisohjeena voidaan pitää, että sisäilmaan yhteydessä olevat selvästi vaurioituneet materiaalit vaihdetaan tai kunnostetaan. Rakenteiden sisällä tai ulkopuolisissa tuuletustiloissa olevaa homehtunutta materiaalia ei välttämättä tarvitse uusia tai puhdistaa mikäli homepölyn ym. aineiden kulkeutuminen huonetiloihin voidaan estää luotettavasti. [15, s.60]

Näkyvästi vaurioituneiden rakenteiden ja materiaalien uusiminen: Sisätiloissa oleva vaurioitunut (homehtunut, kostunut tai lahonnut) kohta uusitaan. Uusiminen ulotetaan noin 0,5 metrin etäisyydelle vaurioituneen kohdan ohi terveeseen materiaaliin. Tästä korjaustavasta poiketaan vain, jos vaurioiden korjaaminen uusimalla muodostuu toteutukseltaan tai kustannuksiltaan kohtuuttomaksi ja jos muilla korjaustavoilla saavutettava tulos on terveydellisesti turvallinen asuntojen käyttäjille. [15, s.60]

Kapselointi: (homeitiöiden ym. aineiden leviämisen estäminen huonetilaan). Edellisessä kappaleessa määritetyn alueen ulkopuolella olevat tai muutoin vähemmän vaurioituneet rakenteet kapseloidaan sopivalla tavalla. Esimerkiksi siten, että pintarakenne tehdään niin tiiviiksi, ettei sen läpi pääse kulkeutumaan mikrobeja huonetilaan. Myös tältä alueelta uusitaan ne turmeltuneet rakenteet ja -materiaalit, jotka ovat helposti uusittavissa. Kapselointi edellyttää, että vaurion aiheuttaja poistetaan ja rakenteet saadaan niin kuivaksi, etteivät mikrobit enää voi kasvaa rakenteiden sisällä. Korjaustapa sisältää aina riskejä ja korjauksen onnistumisesta on jälkikäteen varmistuttava esimerkiksi home- ja kosteusmittauksilla. [15, s.60]

Puhdistus ja desinfiointi tai kemiallinen käsittely: Edellä olevassa kappaleessa määritetyn alueen ulkopuolella oleva alue ja tarvittaessa kaikki muutkin tilat puhdistetaan ja tarvittaessa desinfioidaan tai käsitellään kemiallisilla, homeen kasvua estävillä aineilla. Tämä ei kuitenkaan ole varsinaisen korjausmenetelmä [15, s.61]. Kuten aikaisemmin on jo todettu mikrobikasvustojen saastuttamat materiaalit on aina pyrittävä poistamaan. Rakenteiden poistaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Kantavan rakenteen ollessa saastunut, mikrobikasvusto poistetaan esim. höyläämällä, hiomalla tai harjaamalla. [45, s.131]

Ilman mikrobipitoisuudet nousevat korkeiksi avattaessa vaurioituneita rakenteita. Pahoin vaurioituneen kohteen ollessa kyseessä on syytä käyttää asbestipurkutekniikkaa. Korjauskohde eristetään muista tiloista ja alipaineistetaan riittävän ilmanvaihdon avulla. Työntekijöiden tulee suojautua suojavaattein ja käyttämällä P2-luokan hengityssuojaimia (ks. kuva 21). Korjauksen jälkeen kaikki pinnat on imuroitava ja pyyhittävä esimerkiksi desinfioivalla pesuaineella. [45, s.1]



Kuva 21. Suojautuminen, kuten asbestipurkutöissä. [23]

Seuraavassa on esitetty periaatteita, joilla korjaustyön laatu voidaan varmistaa: [18, s.11]

- Laatu varmistetaan jo korjaustyön aikana.
- Suunnitelmia ei muuteta ilman suunnittelijan lupaa.
- Vain korjaussuunnittelijalla on oikeus tehdä muutoksia, joista hän tarvittaessa voi keskustella myös kuntotutkijan kanssa.
- Kaikki muutokset kirjataan asiakirjoihin.
- Tehdään mallikorjaus sellaisissa tapauksissa, joissa sama vauriotyyppi esiintyy samanlaisissa tiloissa samassa rakennuksessa.

Jälkiseuranta

Kohteen seuraaminen korjauksen jälkeen on tärkeää, jotta voidaan todeta korjauksen onnistuminen tai toisaalta havaita mahdolliset puutteet korjauksessa. Korjauksen jälkeen voidaan talviaikana määritellä huoneilman homepitoisuudet ja siten varmistua työn onnistumisesta. Ongelmallisissa kohteissa voidaan rakenteisiin sijoittaa mittalaitteita, joilla seurataan rakenteiden kosteuksia sekä lämpötiloja ja saadaan siten ajoissa tieto, mikäli turmeltuminen alkaa uudelleen. Tyypillisiä kosteusseurantakohteita ovat seinien alaosat (alaohjauspuut), ryömintätilat, pesutilat ja yläpohjarakenteet. [15, s.68]

6 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä tutkittiin rakennusten kosteusvaurioriskejä, kosteusvaurioiden paikantamista sekä korjaamista. Työssä seurattiin kosteuden ja mikrobien kehittymistä todellisessa kohteessa erilaisten mittausten ja ilma- sekä materiaalinäytteiden avulla. Vaurion syntymisen jälkeen rakenteen annettiin kuivua luonnollisesti ja lopussa kuivatusta tehostettiin infrapunakuivaimella.

Tavoitteenamme oli koota ”kaikenkattava” kokonaisuus kosteusvaurioiden vaikutuksista sisäilman laatuun sekä vaurioiden ennaltaehkäisystä ja korjaamisesta. Työn aikataulusuunnitelma tehtiin siten, että olisimme ehtineet lisäksi vertailla erilaisia kuivaimia ja niihin liittyviä menetelmiä. Meistä riippumattomista syistä aikataulu ei pitänyt ja jouduimme tyytymään yhteen, edellä mainittuun kuivausmenetelmään.

Insinööriyön aihe oli haastava ja mielenkiintoinen. Kirjallisuutta kosteusvaurioista, niiden tutkimisesta ja korjaamisesta löytyi paljon, lukuun ottamatta kosteusvaurioituneiden rakenteiden kuivausta. Rakenteiden kuivaamiseen liittyvissä menetelmissä on mielestämme lisätutkimuksien tarve. Menetelmiä on useita, mutta onko niiden soveltuvuutta testattu erilaisissa tapauksissa? Tiedetäänkö mikä on mihinkin tapaukseen paras ja tehokkain menetelmä?

Mikrobinäytteitä otettiin materiaaleista ja sisäilmasta. Materiaalinäytteet otettiin ennen kosteusvaurion aiheuttamista ja kosteusvaurion jälkeen. Niistä käy ilmi, että kohteessa oli piilevä homevaurio, joka oli kohtalaisen vanha, koska laatan lähtökosteus oli hyvin alhainen. Näytteiden tulokannalta olisi järkevää teettää mikrobianalyysit samassa laboratorioissa, jolloin ne olisivat helpommin vertailtavissa. Sisäilmanäytteissä oli kosteissa oloissa viihtyviä mikrobeja, mutta ei merkittävästi. Huoneilman desinfiointiin käytetty otsonaattori vähensi sisäilman mikrobien määrää huomattavasti.

Kun saadaan selville ja poistettua kosteusvaurion aiheuttaja, ei pienissä, tämän tutkimuksen tapaisissa vahingoissa välttämättä tarvitse turvautua kalliin kuivausyrityksen palveluihin. Pintamateriaalin poistamisen jälkeen usein voi riittää pelkkä ilman puhaltaminen rakenteen pintaan, jolloin ylimääräinen kosteus pääsee haihtumaan rakenteesta.

Ajoissa huomattu kosteusvaurio ja nopeasti aloitetut korjaustoimenpiteet estävät haitallisten mikrobien kehittymisen ja samalla korjauskustannukset pysyvät kohtuullisina.

LÄHDELUETTELO

- 1 Husman, T. , Kaarnattu, R. , Kontio, A. , Vanhala, M. , Märkälä, L. , Vihavainen, V. , Virtanen, H. & Rautiala, S. Homepölyn saneeraus –video. Kotka: Visio Trainer, 1995. 10 min. Katsottu 3.2.2002.
- 2 Koivisto, J. , Jääskeläinen, E. , Nevalainen, A. , Husman, T. , Meklin, T. , Vahteristo, M. , Heiskala, S. , Forss, P. , Turpeinen, J. & Röning-Jokinen, I. Asuinkerrostalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kuopion yliopiston painatuskeskus, 1996. 86 s. ISBN 951-740-041-1.
- 3 Siikanen, U. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovellukset. Tampere: Tammer- Paino Oy, 1996. 219 s. ISBN 951-682-340-8.
- 4 RT 14-10675. Betonin suhteellisen kosteuden mittaust. Rakennustieto Oy, 1998. 5 s.
- 5 RT RakMK-21155. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje A4. Määräykset ja ohjeet. Rakennustieto Oy, 2000. 4 s.
- 6 Kokko, E & Kouhia, I. Kosteus rakentamisessa. RakMK C2 opas Ympäristöopas 51. Tampere: Tammer- Paino Oy, 1999. 56 s. ISBN 951-682-530-3.
- 7 Pirinen, A. & Salminen, M. Käytössä olevan asuintalon huolto- kirja. Ympäristöopas 319. Tampere: Tammer- Paino Oy, 1999. 142 s. ISBN 951-682-553-4.
- 8 Björkholtz, D. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Saarijärvi: Gummerus- Kirjapaino Oy, 1997, toinen painos. 150 s. ISBN 951-682-432-3.
- 9 Puhakka, E. Sisäilma ja terveys. Teoksessa Sisäilmatietokeskus (toim.). Terveellinen sisäilma. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1996. 243 s. ISBN 952-90-7379-8.
- 10 RT 07-10564. Rakennuksen sisäilmasto. Rakennustieto Oy, 1995. 12 s.

- 11 Ruotsalainen, R. , Palonen, J. , Jokiranta, K. & Seppänen, O. Sisäilmaston kuntotutkimus. Suomen LVI-yhdistysten Liitto ry, julkaisu 4. Helsinki: Cosmoprint Oy, 1997. 118 s. ISBN 951-97233-4-X.
- 12 Seppänen, O. & Seppänen, M. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1996. 279 s. ISBN 951-97186-5-6.
- 13 LVI 05-10318. Sisäilmastoluokitus 2000. Rakennustieto Oy, 2001. 19 s.
- 14 Sosiaali- ja terveysministeriö. Sisäilmaohje: Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1. Helsinki: Oy Edita Ab, 1997. 72 s. ISBN 952-00-0261-8.
- 15 Tikkanen, E. , Tikkanen, I. , Tulla, K. , Rantamäki, J. & Hekkanen, M. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. Ympäristöopas 29. Tampere: Tammer- Paino Oy, 1997. 79 s. ISBN 951-682-469-2.
- 16 RT 05-10710. Kosteus rakennuksissa. Rakennustieto Oy, 1999. 8 s.
- 17 Reiman, M. Kosteusvauriorakennuksen mikrobikasvusto. Teoksessa Hometta. Itä-Suomen työterveyslääkärit Ry:n 20-vuotisjuhlajulkaisu IX/1995. Kuopion Aluetyöterveyslaitos. [WWW-dokumentti].
<<http://vakka.occuphealth.fi/ttl/o...attl/tiedonva/hometta/sisluet.htm>> 23.9.1998
- 18 Viljanen, M. , Kettunen, A-V. , Kauriinvaha, E. , Bergman, J. , Laamanen, P. , Nevalainen, A. , Hyvärinen, A. & Meklin, T. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöopas 28. Tampere: Tammer- Paino Oy, 1997. 143 s. ISBN 951-682-468-4.
- 19 Kaila, P. Talotohtori. Rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo: WS Bookwell Oy, 2001, seitsemäs painos. 661 s. ISBN 951-0-19420-4.

- 20 RT 08-10420. Puurakenteiden lahottajasienet ja -bakteerit. Rakennustieto Oy, 1990. 7 s.
- 21 Seuri, M. & Palomäki, E. Haasteellinen sisäilma. Riskianalyysi sisäilmaongelmissa. Tampere: Tammer- Paino Oy, 2000. 138 s. ISBN 951-682-617-2.
- 22 Reiman, M. Kosteus- ja home-tilanteen tutkiminen. Teoksessa Leivo, V. (Toim.) Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1998. 158 s. ISBN 952-15-0105-7.
- 23 Sisäilmatietokanta. Kosteus- ja homevauriot. Vaurioiden korjaaminen. [WWW- dokumentti] <<http://www.miame.net/tietokanta/main.asp?kpl=38>>. 17.1.2002.
- 24 Salmi, T. & Kemoff, T. Home-, kosteus-, asbesti- ym. sisäilma-ongelmat. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy- REP Ltd, 1996. 69 s. ISBN 951-685-016-2
- 25 Seuri, M. & Reiman, M. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Tampere: Tammer- Paino Oy, 1996. 81 s. ISBN 951-682-416-1.
- 26 Hekkanen, M. Pientalon kuntoarvio. Tampere: Tammer- Paino Oy 1998. 87 s. ISBN 951-682-493-5.
- 27 Uitti, J. Kosteus- ja homevauriomikrobien terveysvaikutukset. Teoksessa Leivo, V. (Toim.) Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1998. 158 s. ISBN 952-15-0105-7.
- 28 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Rakenteiden elinkaaritekniikka. RIL 216-2001. Helsinki: Tummavuoren Kirjapaino DARK Oy, 2001. 301 s. ISBN 951-758-414-8.
- 29 Rantamäki, J. , Kääriäinen, H. , Tulla, K. , Viitanen, H. , Kallio-
koski, P. , Keskikuru, T. , Kokotti, H & Pasanen, A- L. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet. VTT-tiedotteita, 2000. 40 s. ISBN 951-38-5668-2 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>). 4.1.2002.

- 30 Matsinen, M. , Kilpi, E. , Laukkanen, U. , Meriläinen, T. , Mustonen, Y. , Nikkola, E. , Siro, H. & Söderlund, K. BLY 4/by 31. Betonilattiat, luokitus-, päällystettävyy-, suunnittelu- ja rakentamisohjeet 1989. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy, 1996. 127 s. ISBN 951-9365-42-7.
- 31 RT 80-10712. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Rakennustieto Oy, 1999. 16 s.
- 32 RT RakMK-21099. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Kosteus. Määräykset ja ohjeet C2. Rakennustieto Oy, 1998. 11 s.
- 33 Leinonen, A. Kosteus- ja homeongelmien poistaminen ja ennaltaehkäisy rakentamisessa. Teoksessa Säteri, J. (Toim.) Sisäilmastoseminaari 1998. Helsinki: Cosmoprint Oy, 1998. 328 s. ISBN 952-5236-01-3.
- 34 Hekkanen, M. Kuntotutkimuksen tilaaminen. Helsinki: Hakapaino Oy, 2000. 104 s. ISBN 951-685-072-3.
- 35 Punakallio, E. , Tanskanen, K. , Säteri, J. , Viitanen, H. & Tulla, K. Homeongelmat rakennuksissa -video. Helsinki: VTT Rakennustekniikka/Videostudio 1995. 35 min. Katsottu 29.11.2001.
- 36 Haahtela, T. & Reijula, K. Sisäilman terveyshaitat ja ehdotukset niiden vähentämiseksi. Helsinki: Oy Edita Ab, 1997. 136 s. ISBN 952-00-0381-9.
- 37 Seppänen, O. , Säteri, J. , Lehtinen, T. & Nevalainen, A. (toim.) Tavoitteena Terve Talo. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy, 1997. 113 s. ISBN 951-97186-8-0.
- 38 Nummela, M- J. & Immonen, K. (koonneet). Kosteusmittaajan koulutusohjelma, Renova Oy. Suomen vakuutusyhtiöiden keskusliitto, 2000. 61 s.
- 39 Björkholtz, D. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere: Tammer- Paino oy, 1990. 76 s. ISBN 951-676-492-4.
- 40 Tuote-esite. DST Selbu Giken. Kuivain Aquasorb A-30. Maa- hantuoja Kryotherm Oy. Kotisivu: <http://www.kryotherm.fi>.

- 41 Tuote-esite. DST Selbu Giken. Kuivain Recusorb DR-020/030C. Maahantuoja Kryotherm Oy. Kotisivu: <http://www.kryotherm.fi>
- 42 Koivisto, J. Kosteusvauriokohteen rakennusteknisen tutkimuksen ja korjaamisen periaatteet. Teoksessa Hometta. Itä-Suomen työterveyslääkärit Ry:n 20-vuotisjuhlajulkaisu IX/1995. Kuopion Aluetyöterveyslaitos. [WWW-dokumentti]. <<http://vakka.occuphealth.fi/ttl/o...attl/tiedonva/hometta/sisluet.htm>>. 23.9.1998
- 43 Tulla, K & Pasanen A-L. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaaminen. Teoksessa Säteri, J. (Toim.) Sisäilmastoseminaari 1998. Helsinki: Cosmoprint Oy, 1998. 328 s. ISBN 952-5236-01-3.
- 44 Uusitalo, S. & Huovinen, S. Homeesta eroon. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1999. 64 s. ISBN 951-664-024-9.
- 45 Forss, P. , Heiskanen- Frösen, S. , Ruotsalainen, R. , Säteri, J. , Kettunen, A-V. , Puhakka, E. , Viinikka, M. , Pesonen, K. , Pasanen, A-L. , Hyvärinen, A. , Nevalainen, A. , Meklin, T. , Koivisto, J. & Reiman, M. Teoksessa Aurola, R. & Välikylä, T. (Toim.) Asumisterveysopas. Asuntojen terveydelliset olosuhteet. Pori: Vammalan Kirjapaino Oy, 1997. 144 s. ISBN 952-9637-10-1.

LIITTEET

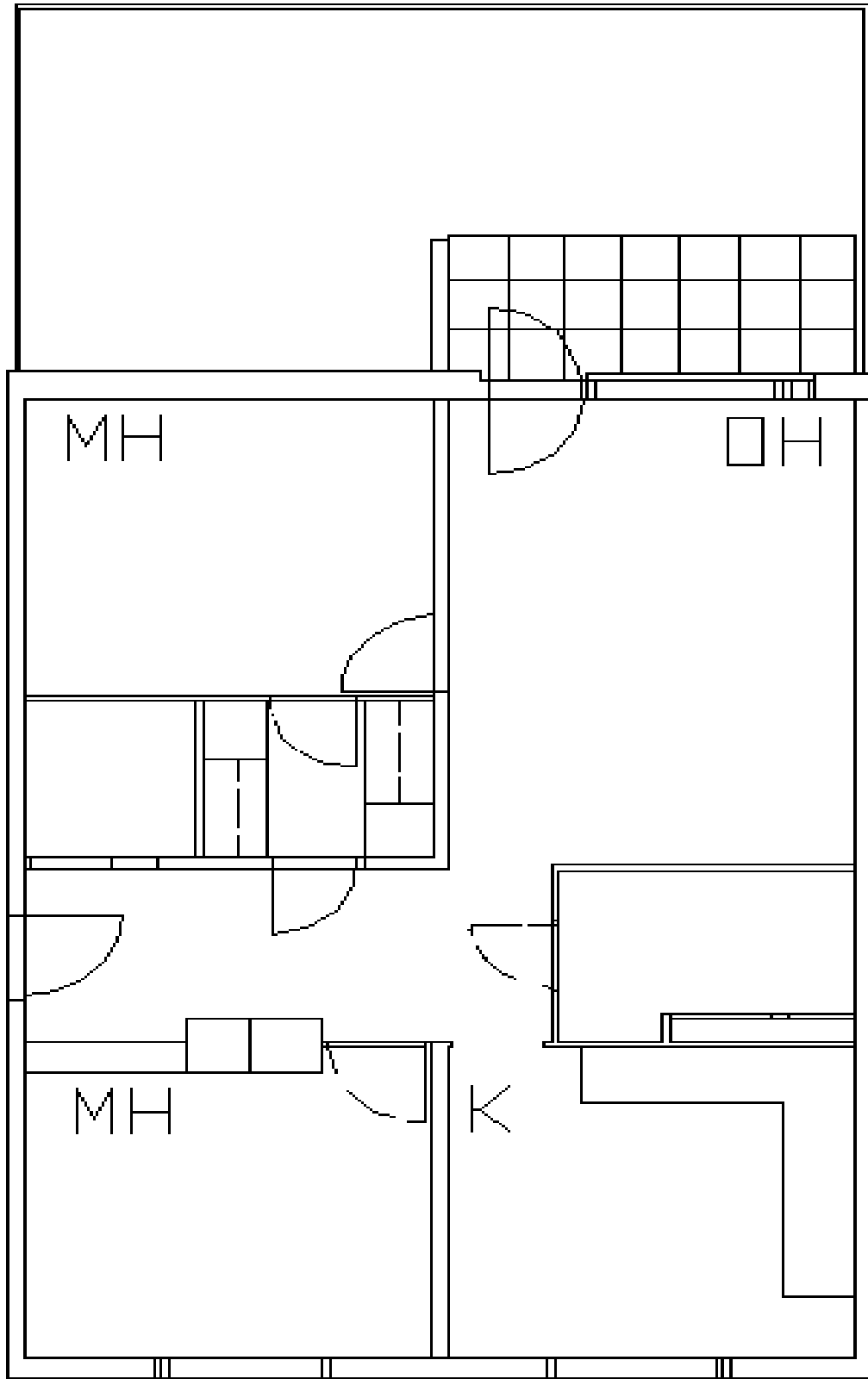
Kosteudenmittauspöytäkirja	LIITE A
Koehuoneiston pohjapiirros	LIITE B
Vauriopaikka keittiössä	LIITE C
Kosteudenmittausantureiden sijainti ja piikkimittarin mittauspaikat	LIITE D

Kosteus- ja lämpötilakäyrät:

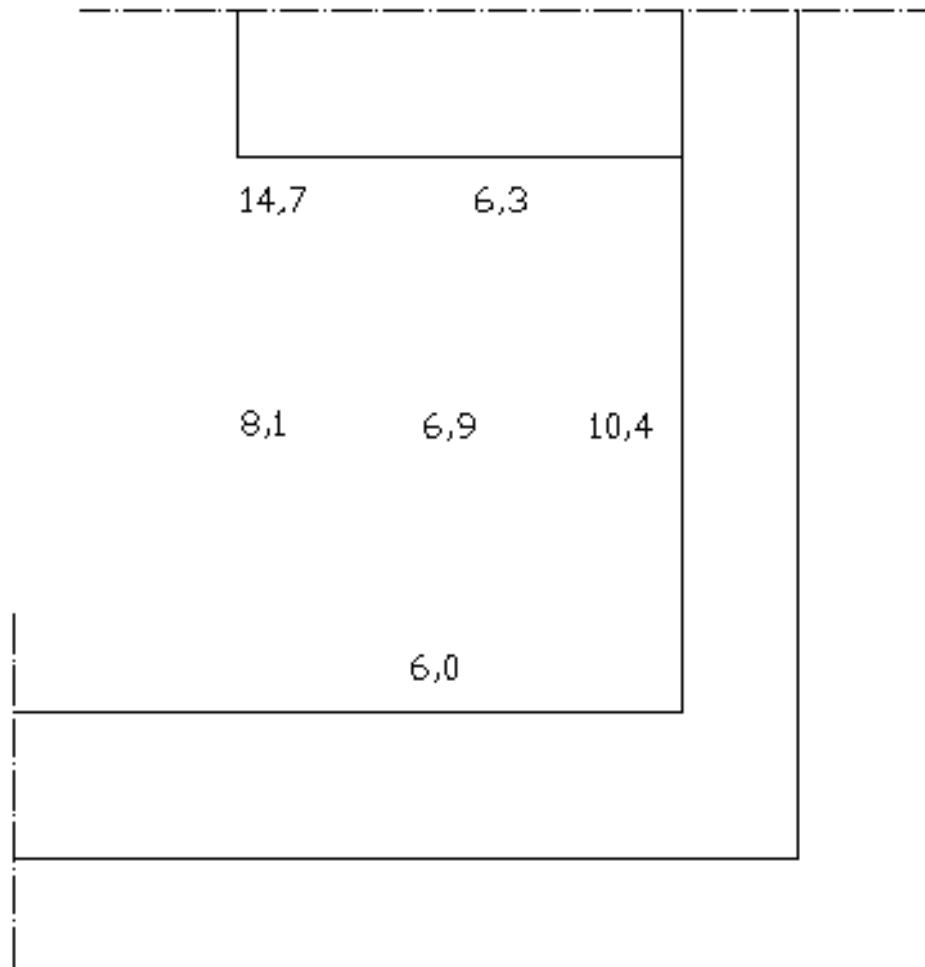
Mitta-anturi 7 (sisällä)	LIITE E
Mitta-anturi 8 (ulkona)	LIITE F
Mitta-anturi 1	LIITE G
Mitta-anturi 2	LIITE H
Mitta-anturi 3	LIITE I
Mitta-anturi 6	LIITE J
HUOM! Anturit 4 ja 5 eivät mitanneet !!!	

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysi (ennen vauriota)	LIITE K
Materiaali- ja ilmanäytteiden mikrobianalyysi (vaurion jälkeen)	LIITE L

KOSTEUSMITTAUS Mittauspöytäkirja		MITTAUSPVM:	
Tilaaaja:		Työ numero:	
Mittauksen suorittaja:			
Mittalaite:			
Mittauspaikka: (osoite) Mittauskohdat: (esim. piirros)			
Sisäilman lämpötila, °C/suhteellinen kosteus, RH % ____/____			
Ulkoilman lämpötila, °C/suhteellinen kosteus, RH % ____/____			
Mittausmenetelmien kuvaus:			
Anturi nro:	Mittauskohta/syvyys	Kosteus RH %	Lämpötila
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

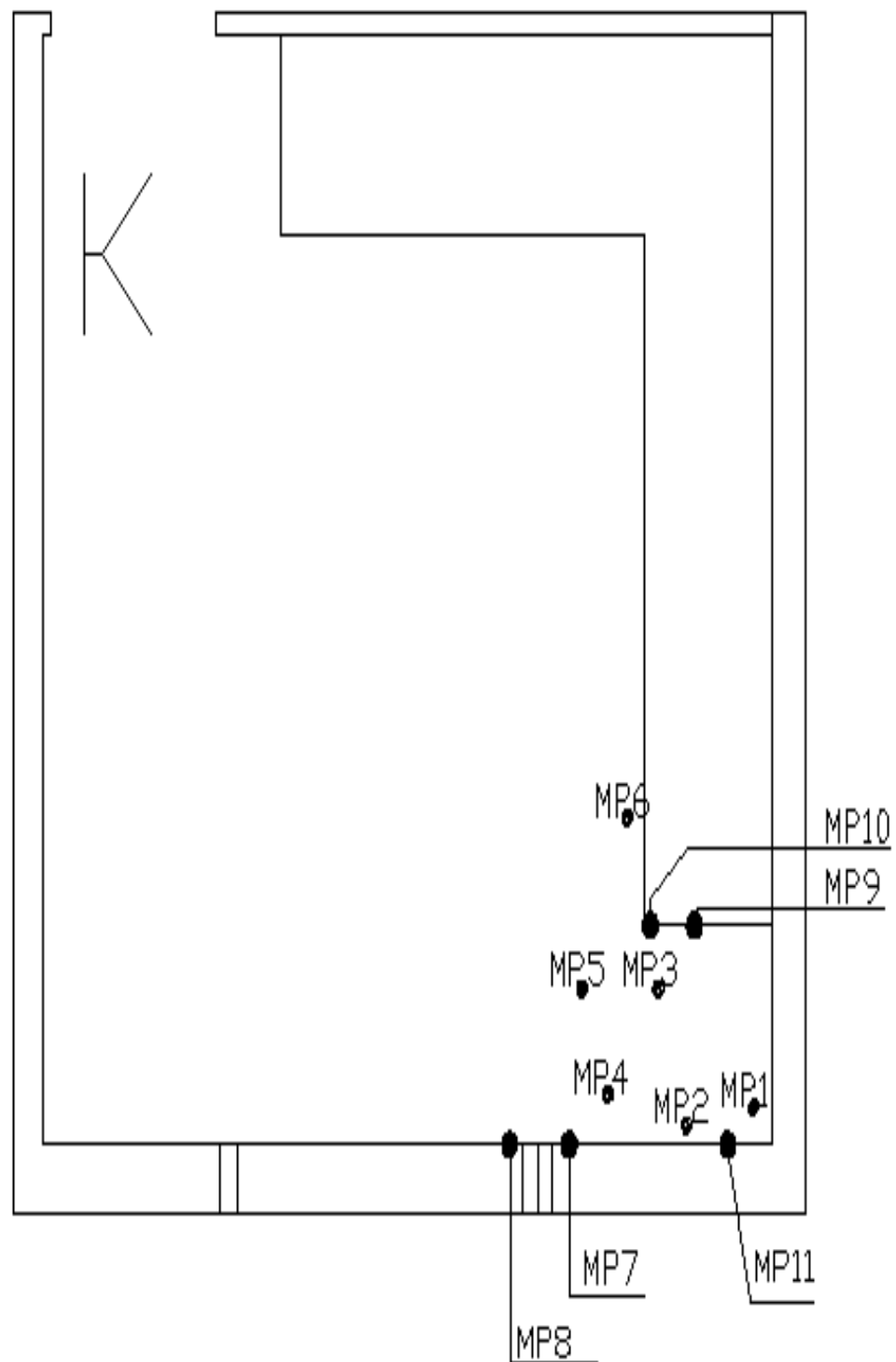


Kuva 1. Koehuoneiston pohjapiirros.

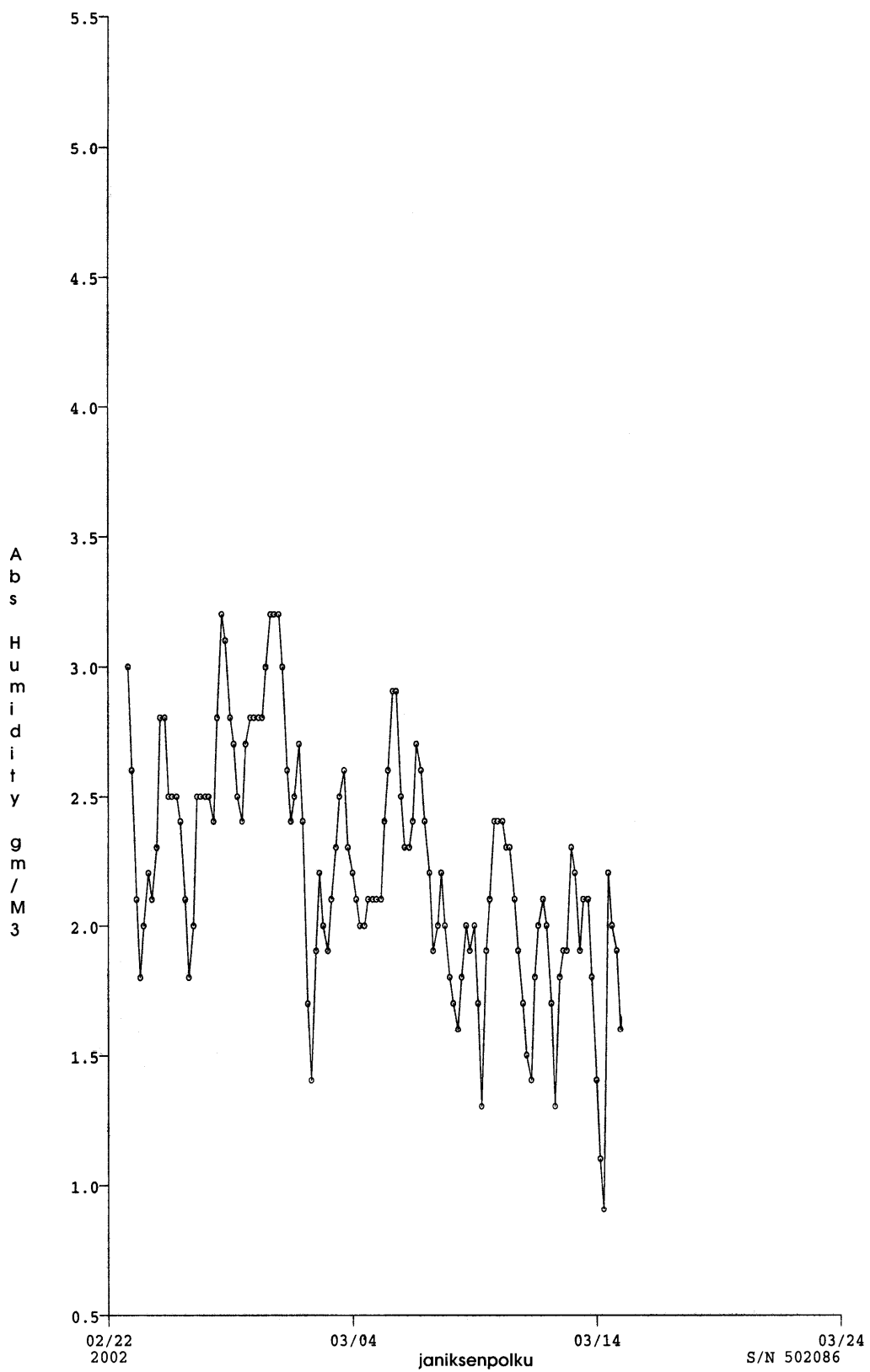


Kuva 2. Vauriopaikka keittiössä.

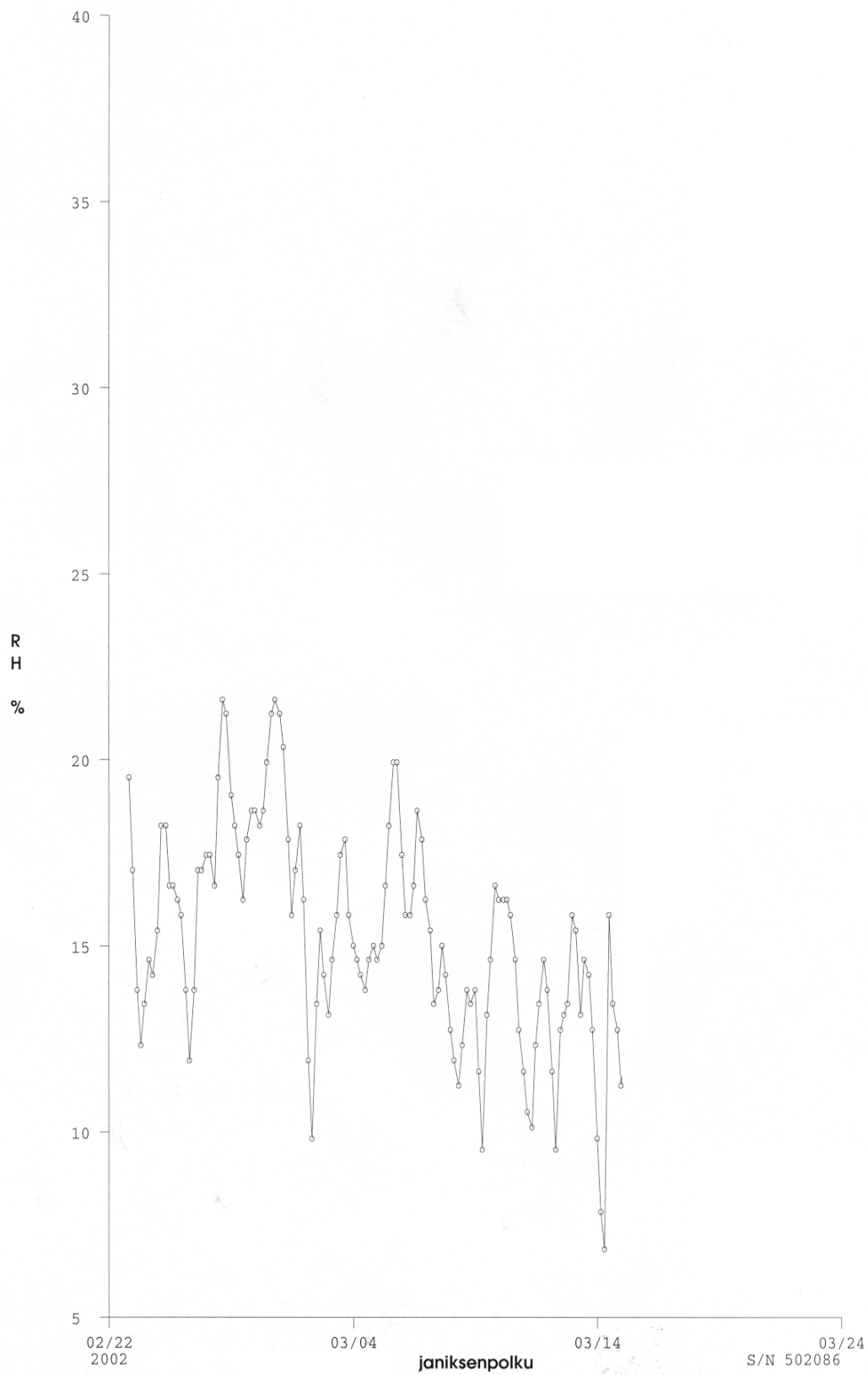
Mittaus suoritettu Hygro meter BS2 -pintakosteusmittarilla 45 minuuttia vesivahingon syntymisen jälkeen. Ennen vahinkoa otetuissa mittauksissa mittarin lukemat olivat edellä esitetyissä kohdissa 0,0 = täysin kuiva. Mittarin maksimilukema on 15,4 %.



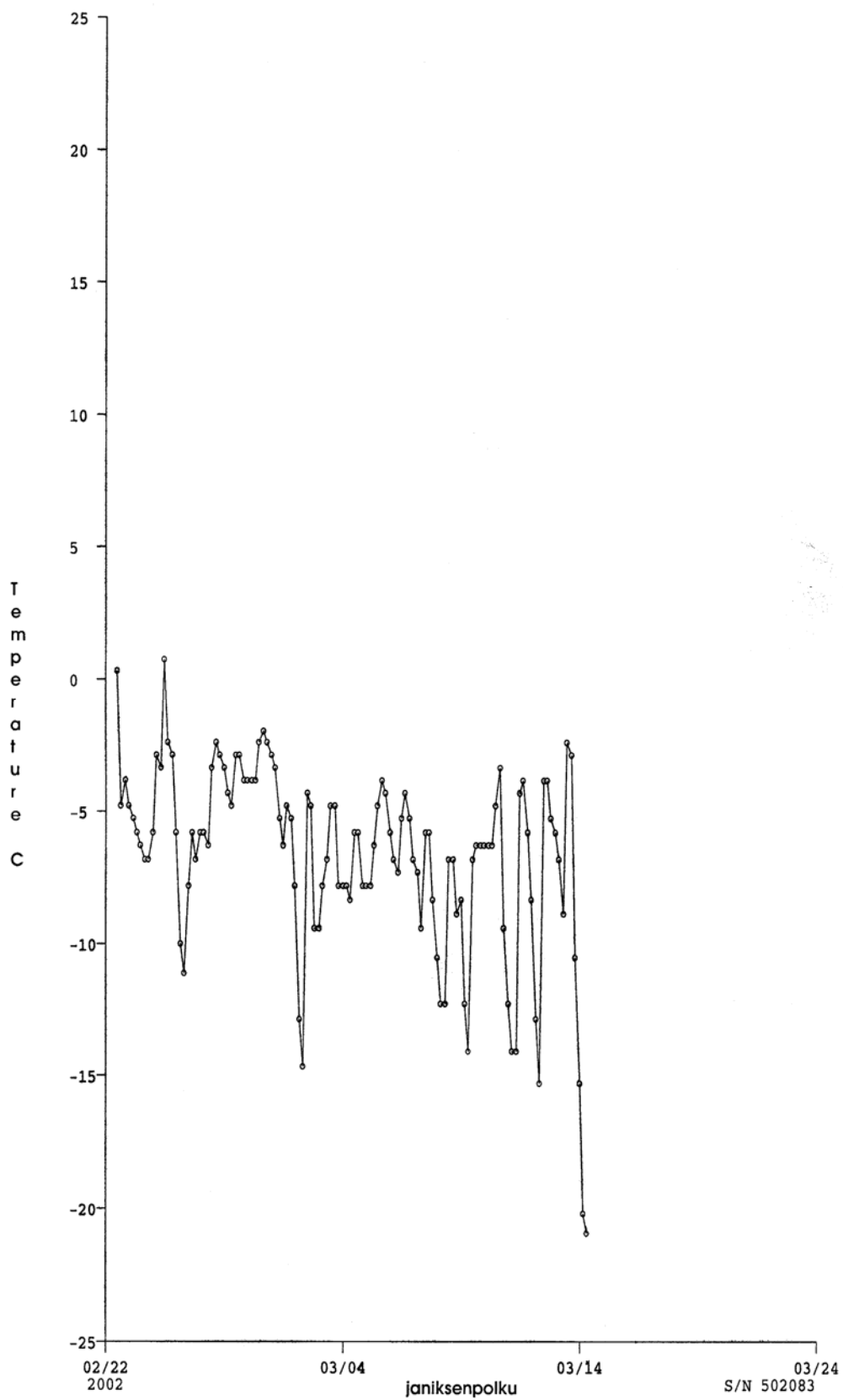
Kuva 3. Kosteudenmittausantureiden (mp 1–mp 6) sijainti ja piikkimittarin (mp 7–mp 11) mittausspaikat.



Kuva 5. Sisäilman absoluuttinen kosteus.



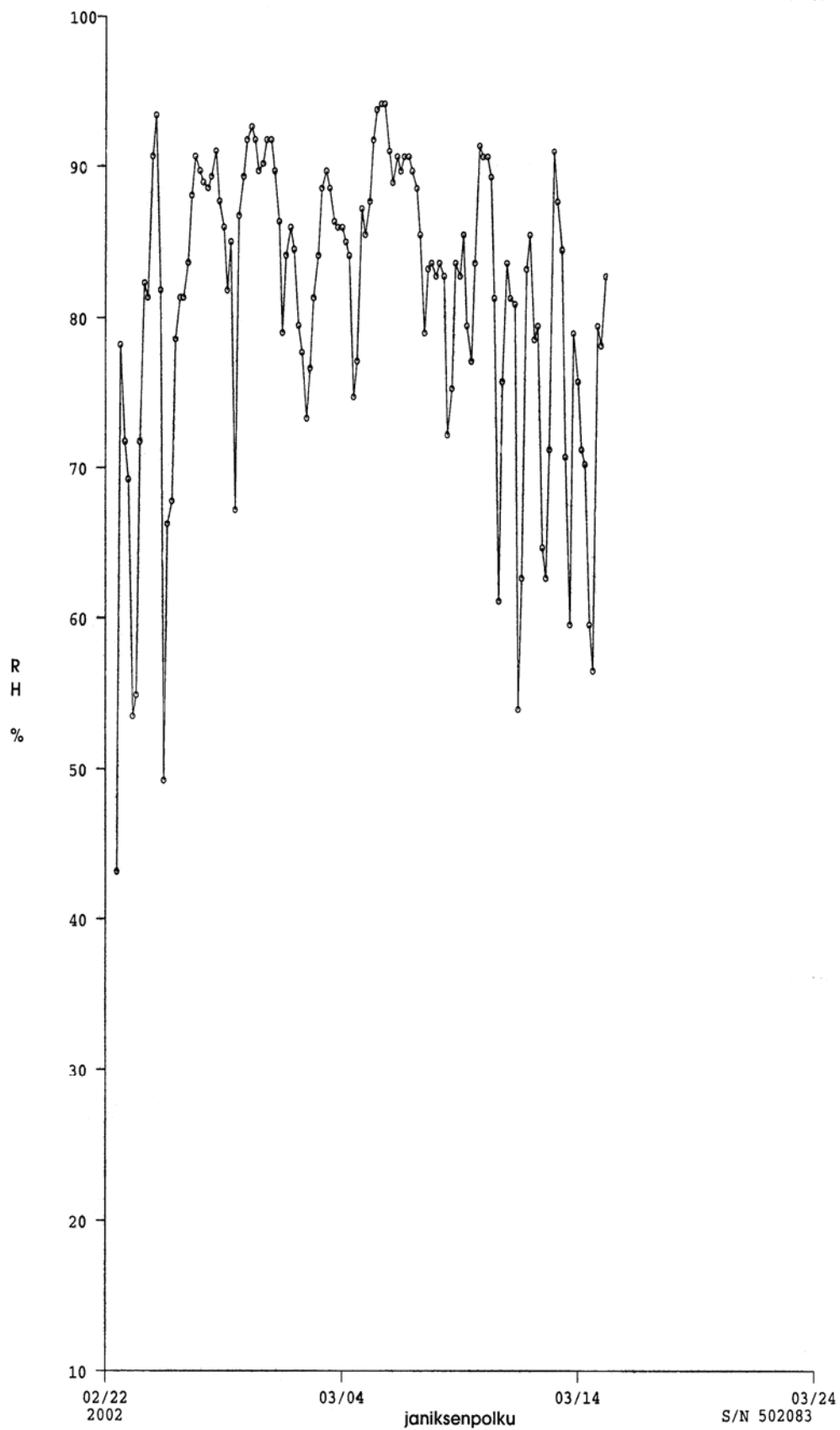
Kuva 6. Sisäilman suhteellinen kosteus.



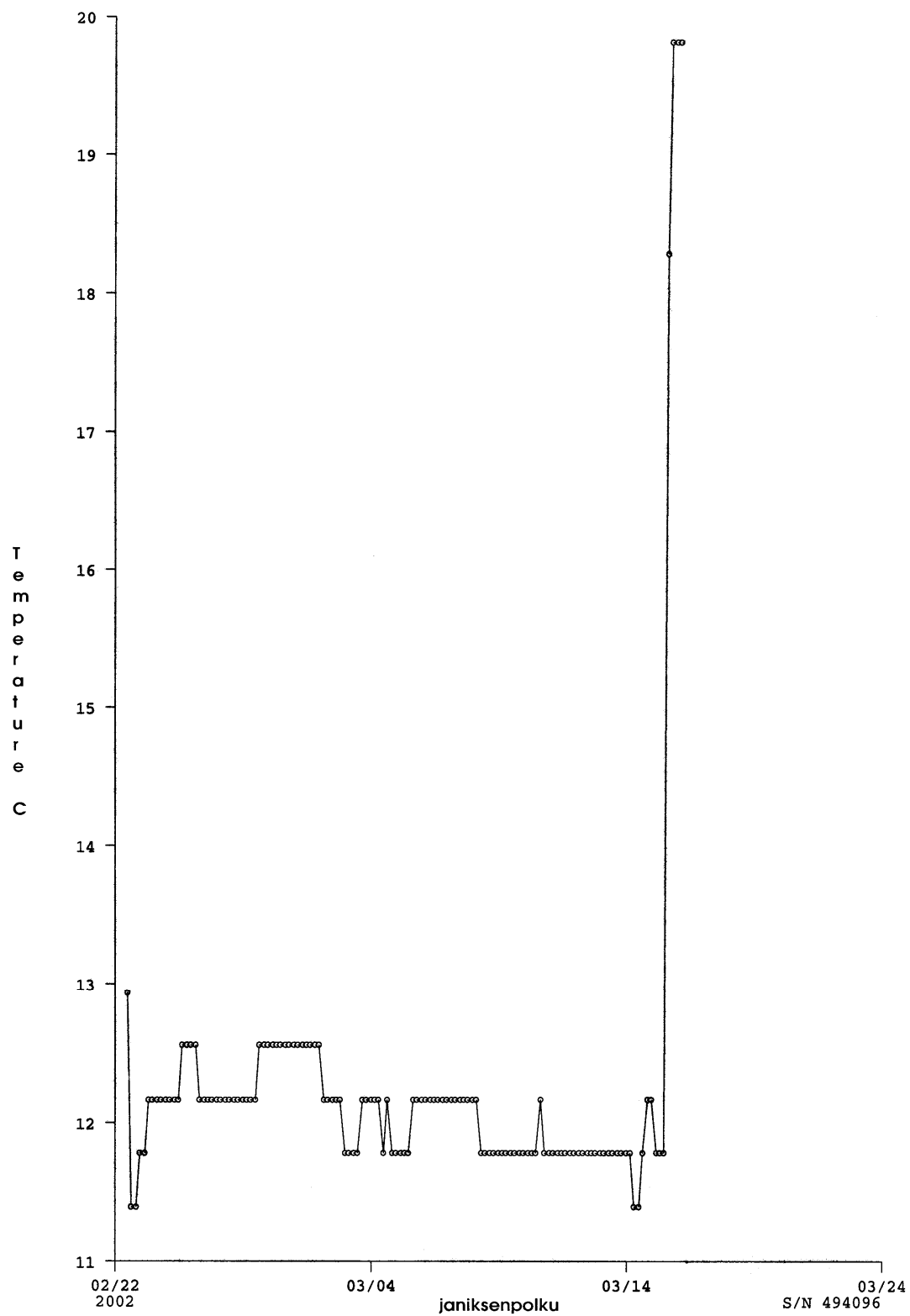
Kuva 7. Ulkoilman lämpötila.



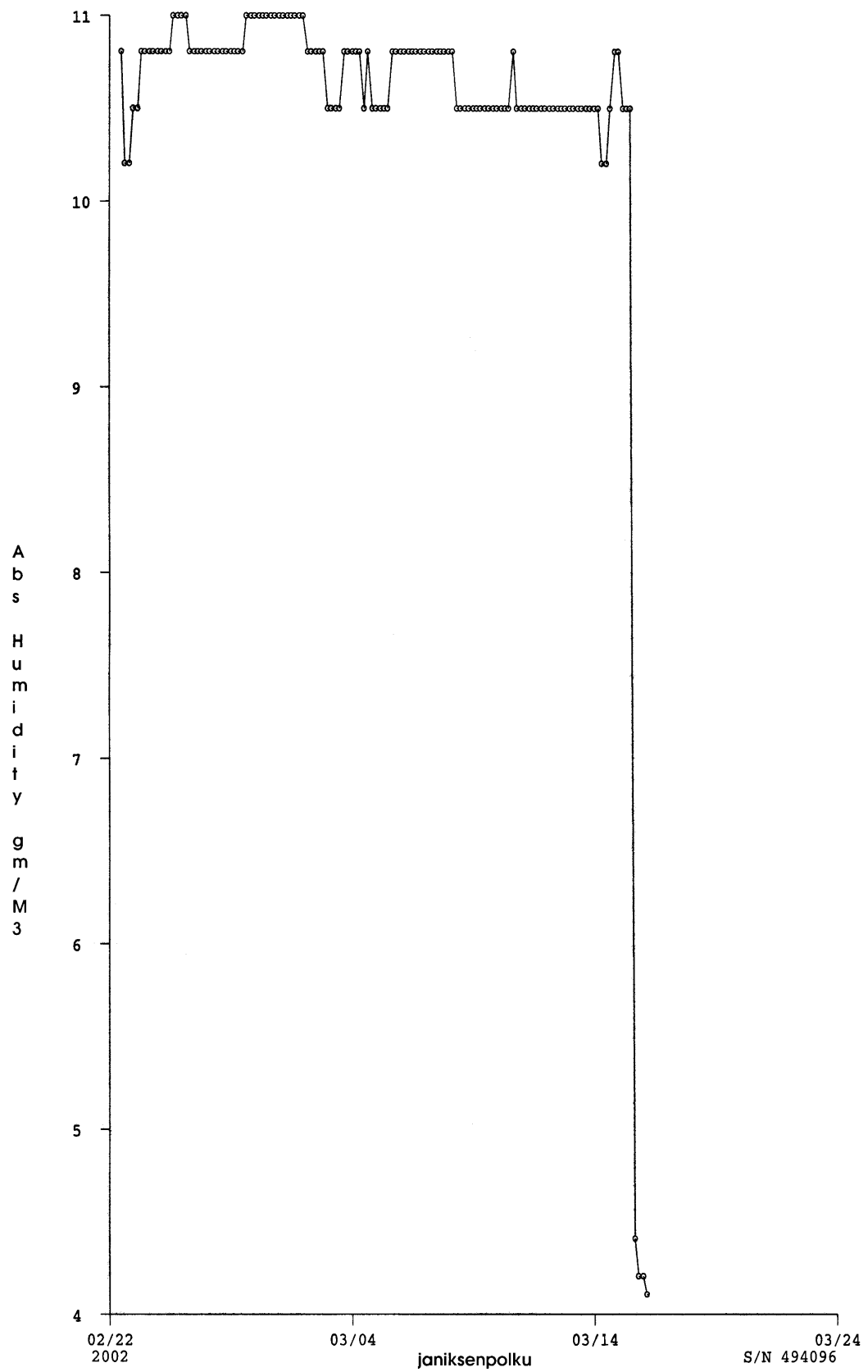
Kuva 8. Ulkoilman absoluuttinen kosteus.



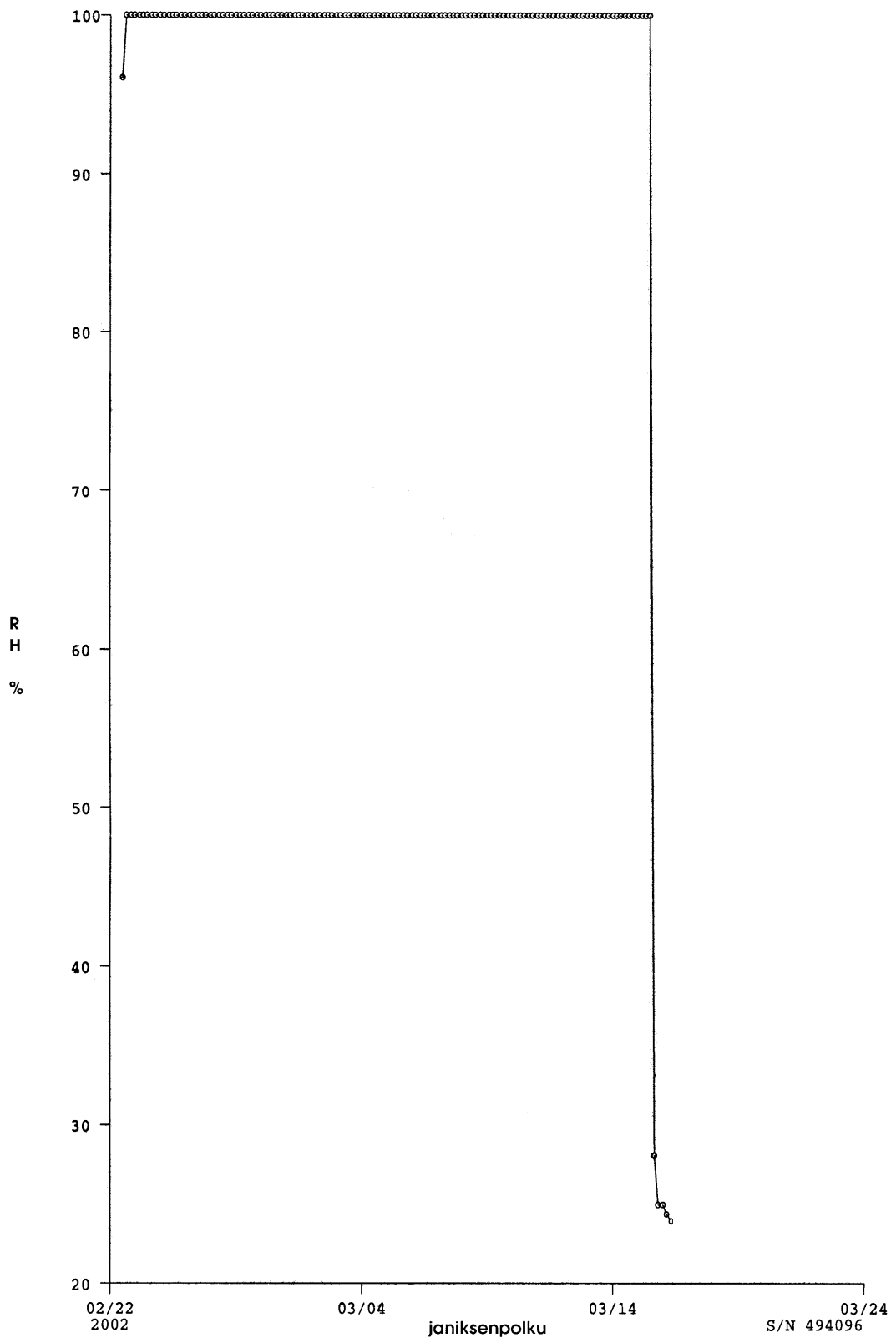
Kuva 9. Ulkoilman suhteellinen kosteus.



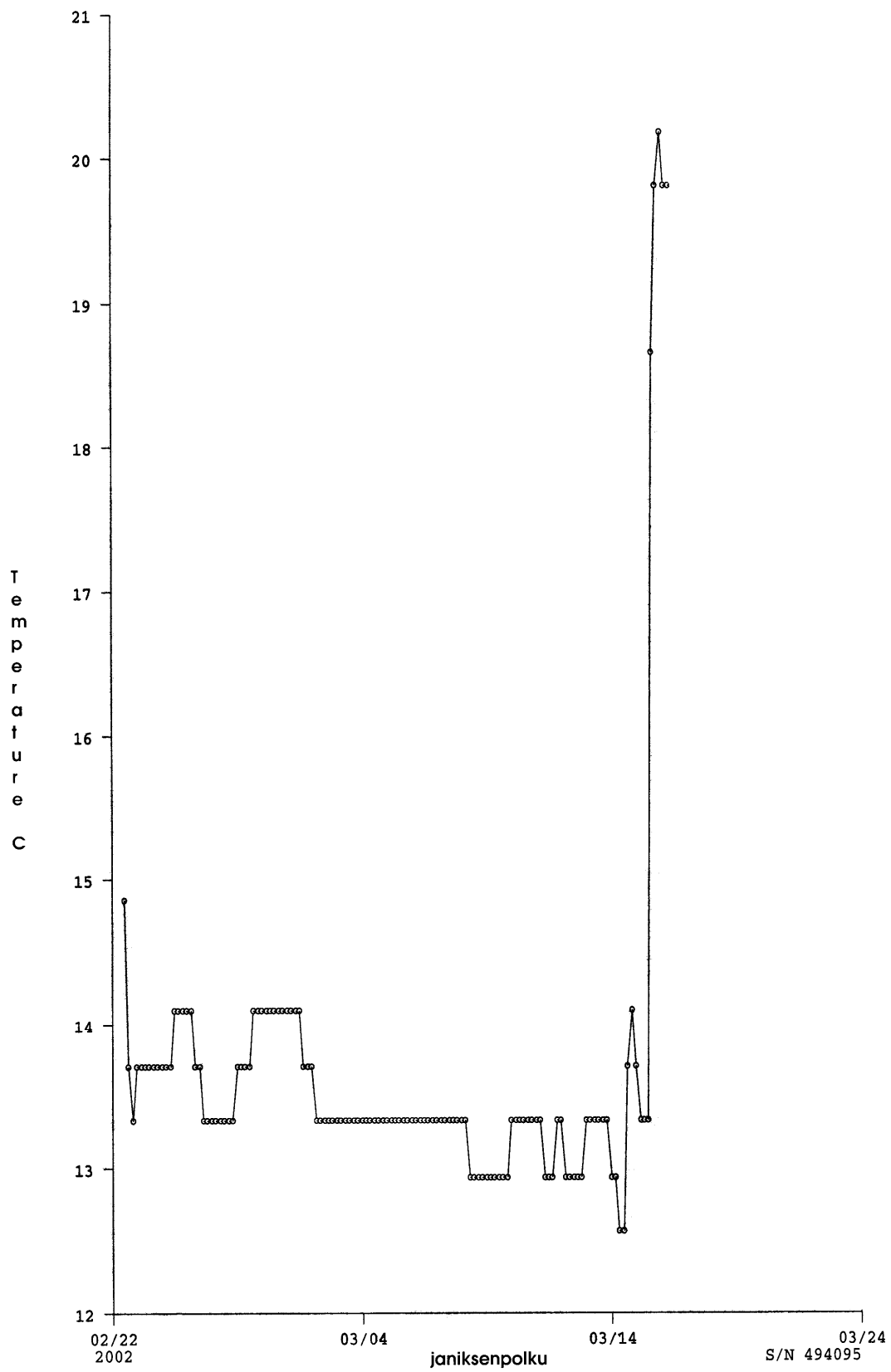
Kuva 10. Mittauspaikka 1, lämpötila.



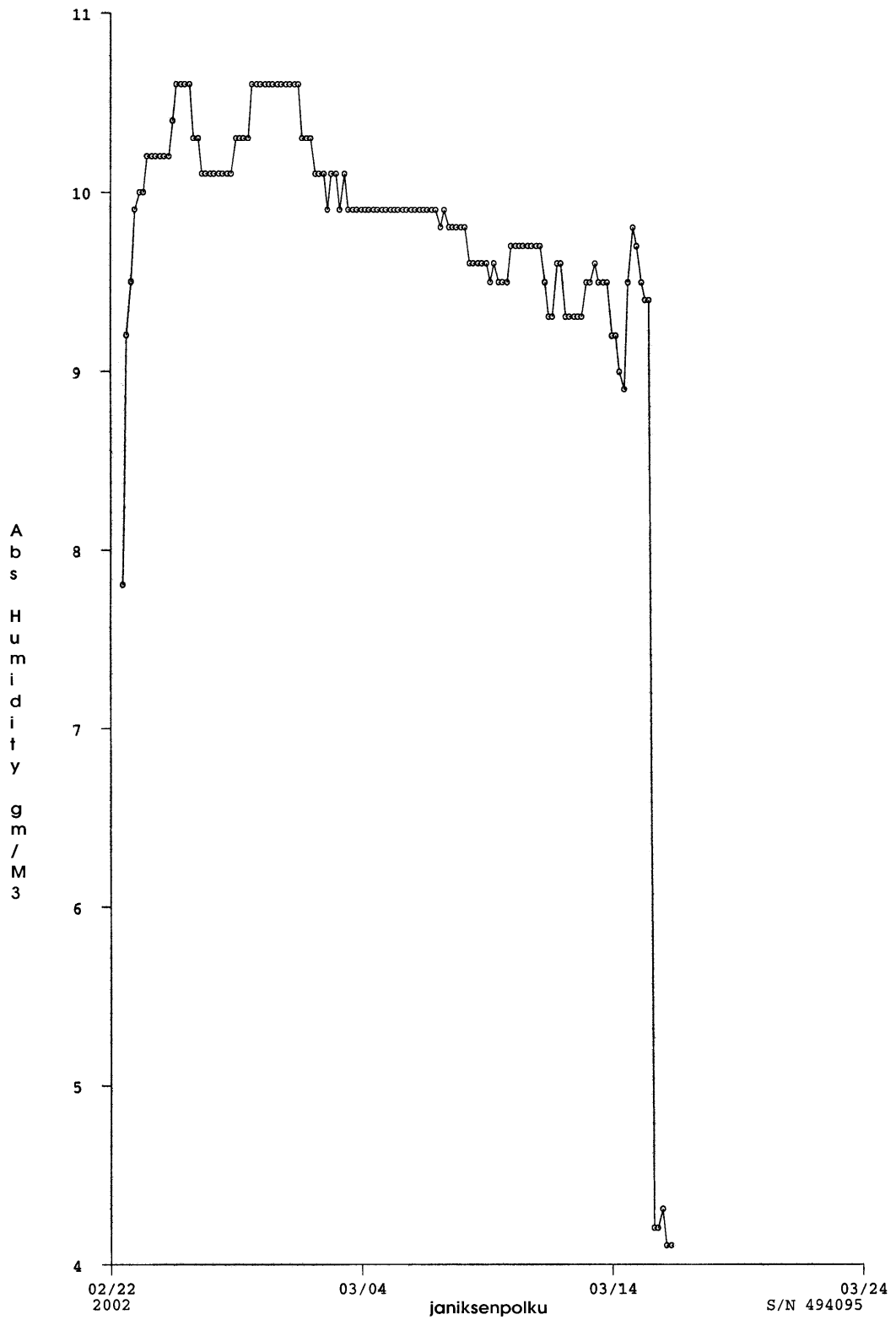
Kuva 11. Mittauspaikka 1, absoluuttinen kosteus.



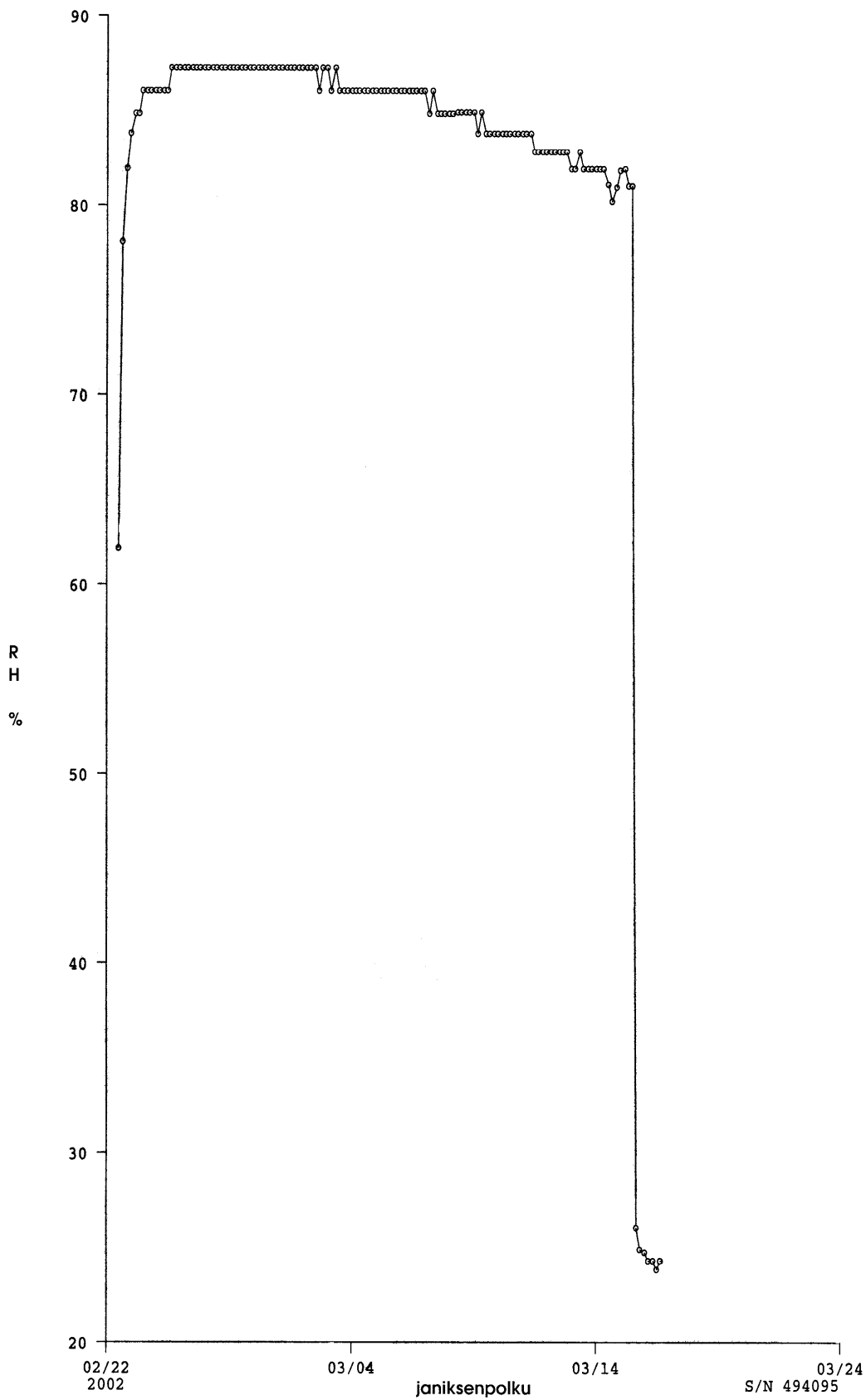
Kuva 12. Mittauspaikka1, suhteellinen kosteus.



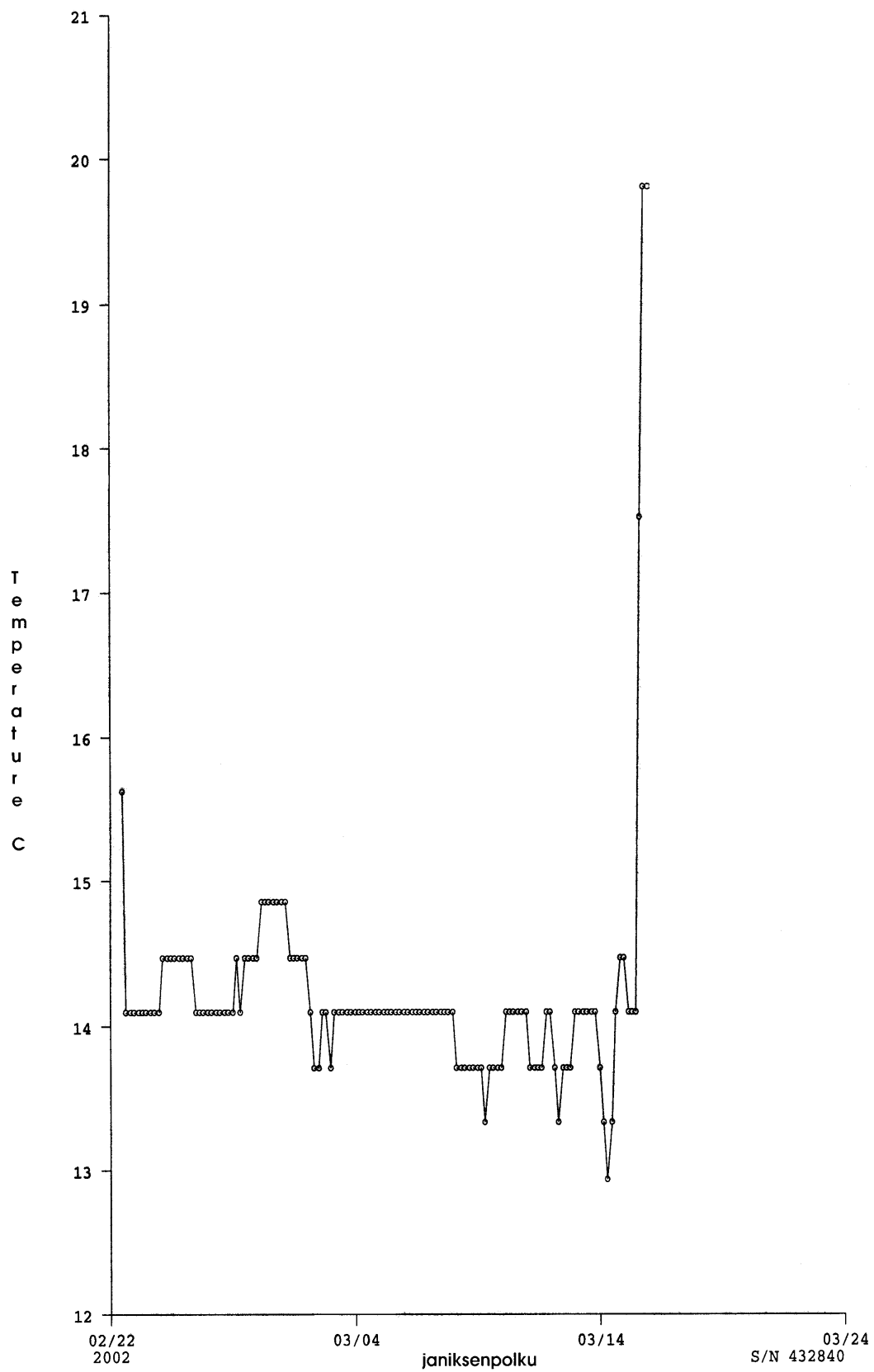
Kuva 13. Mittauspaikka 2, lämpötila.



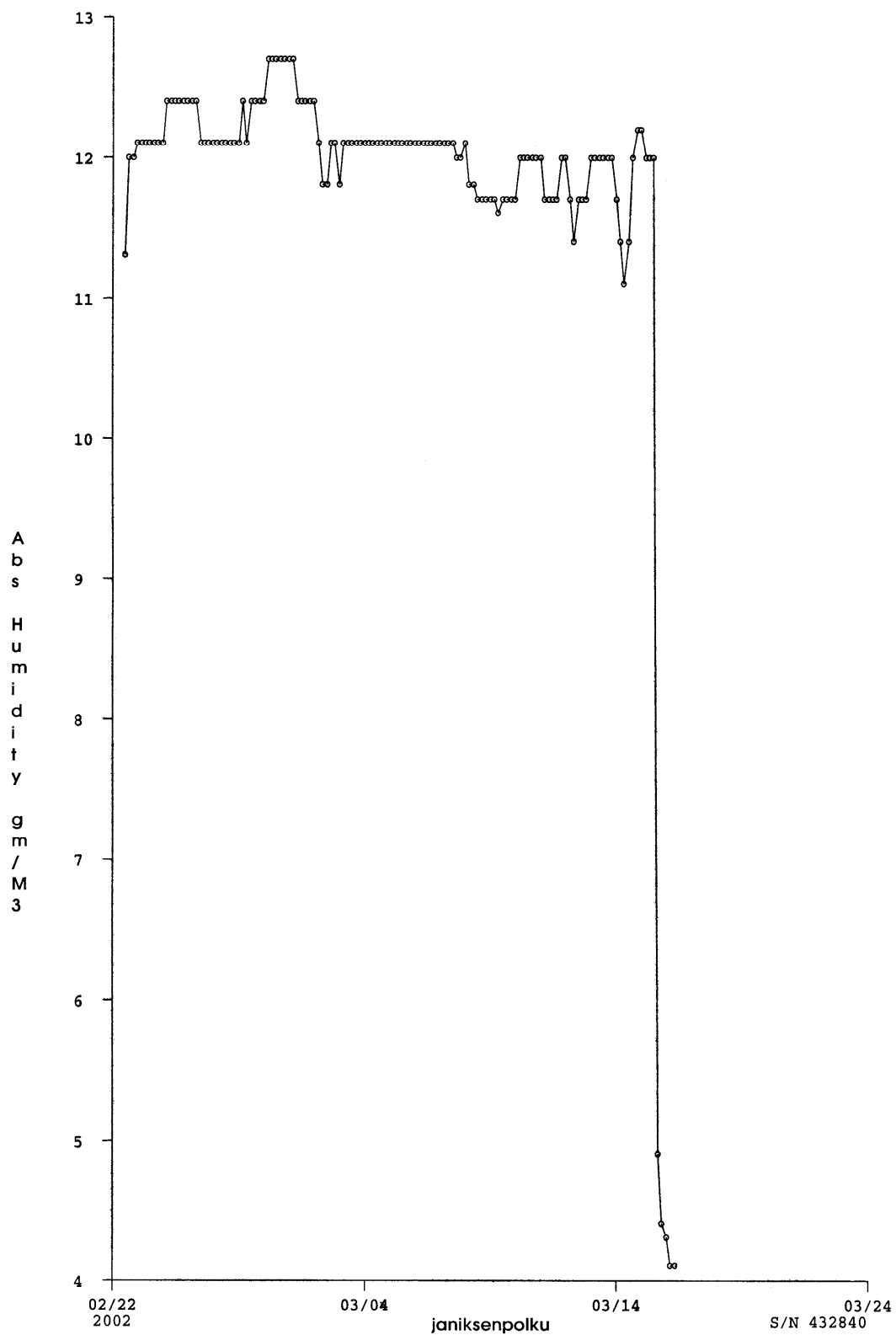
Kuva 14. Mittauspaikka 2, absoluuttinen kosteus.



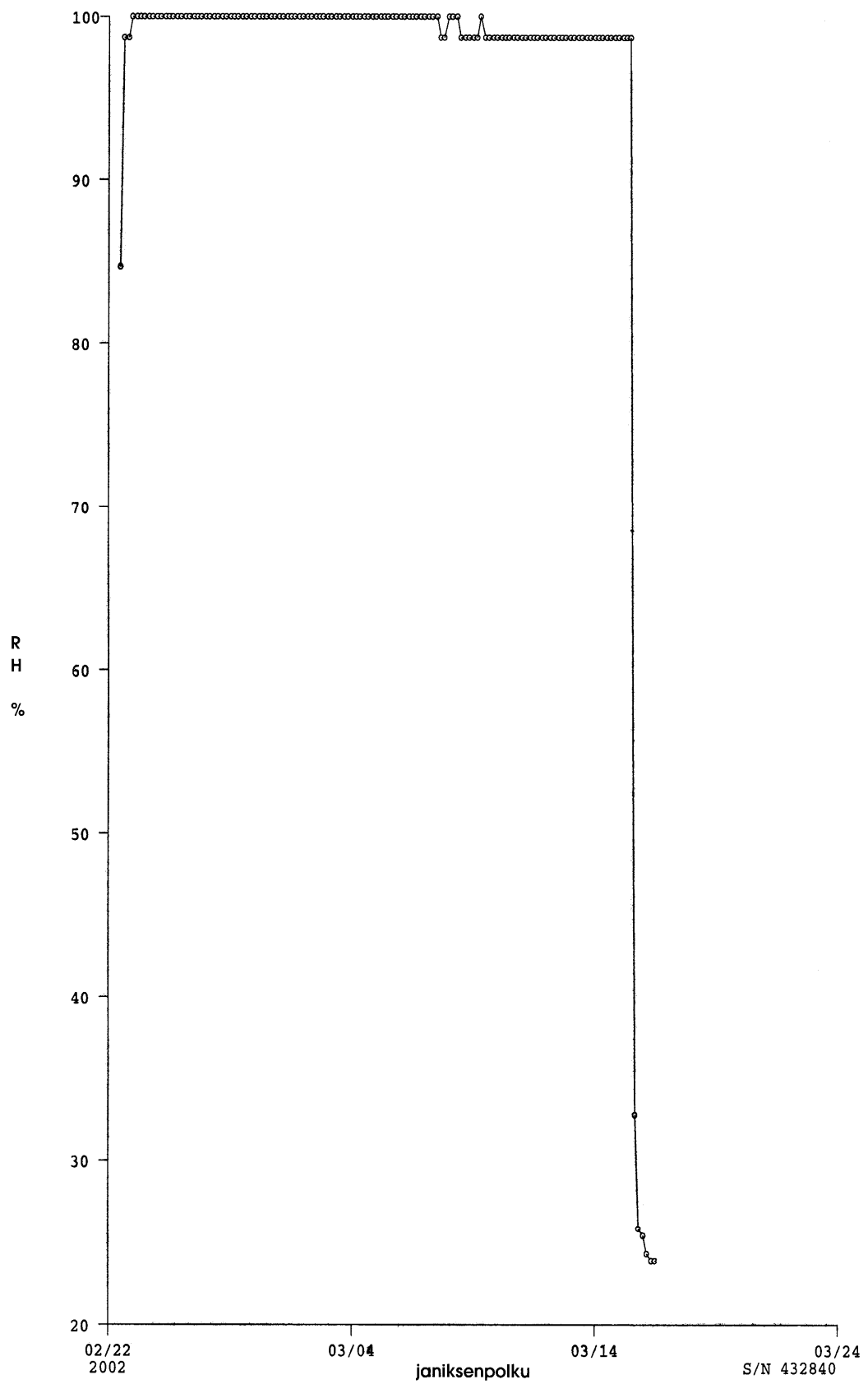
Kuva 15. Mittauspaikka 2, suhteellinen kosteus.



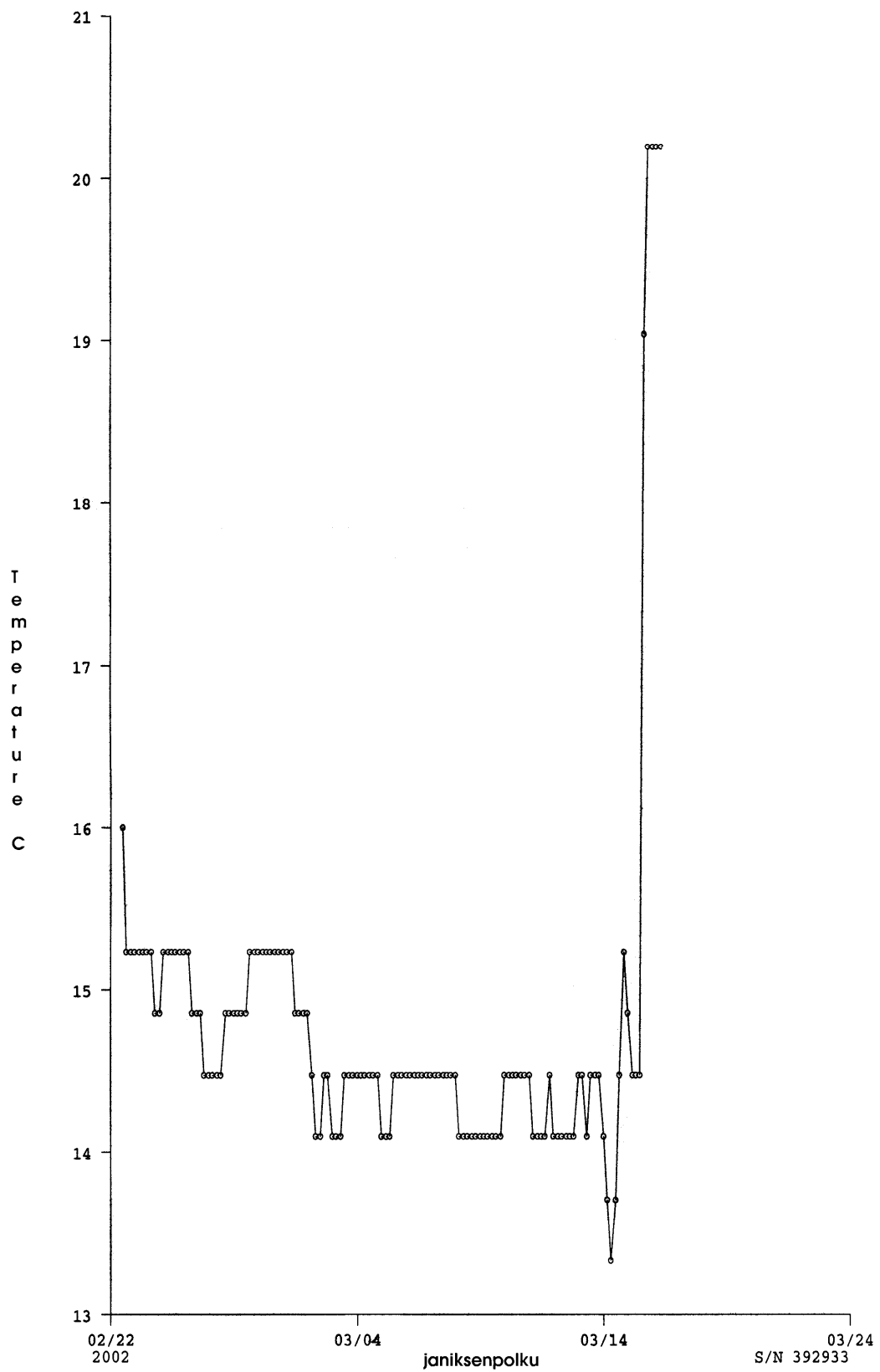
Kuva 16. Mittauspaikka 3, lämpötila.



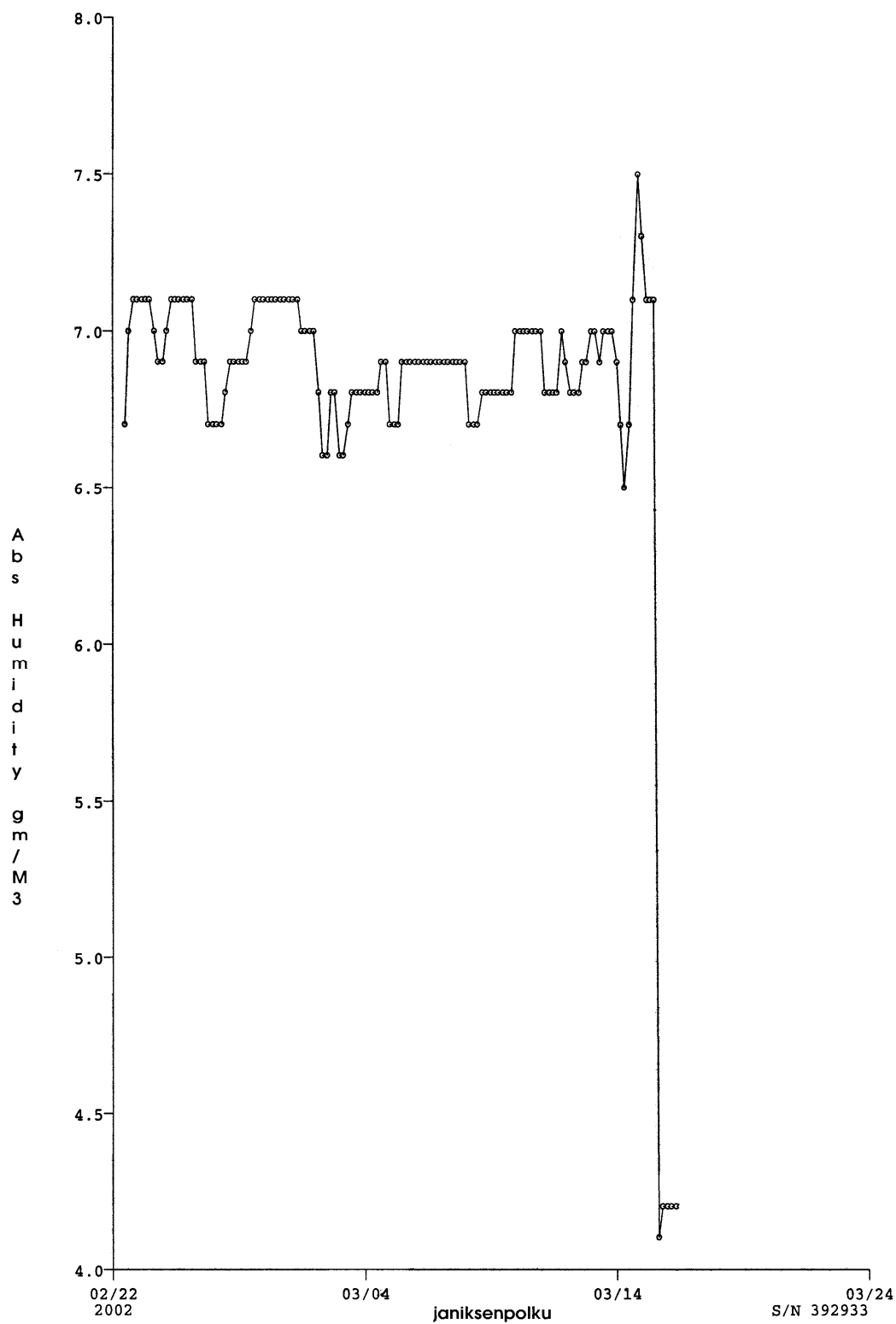
Kuva 17. Mittauspaikka 3, absoluuttinen kosteus.



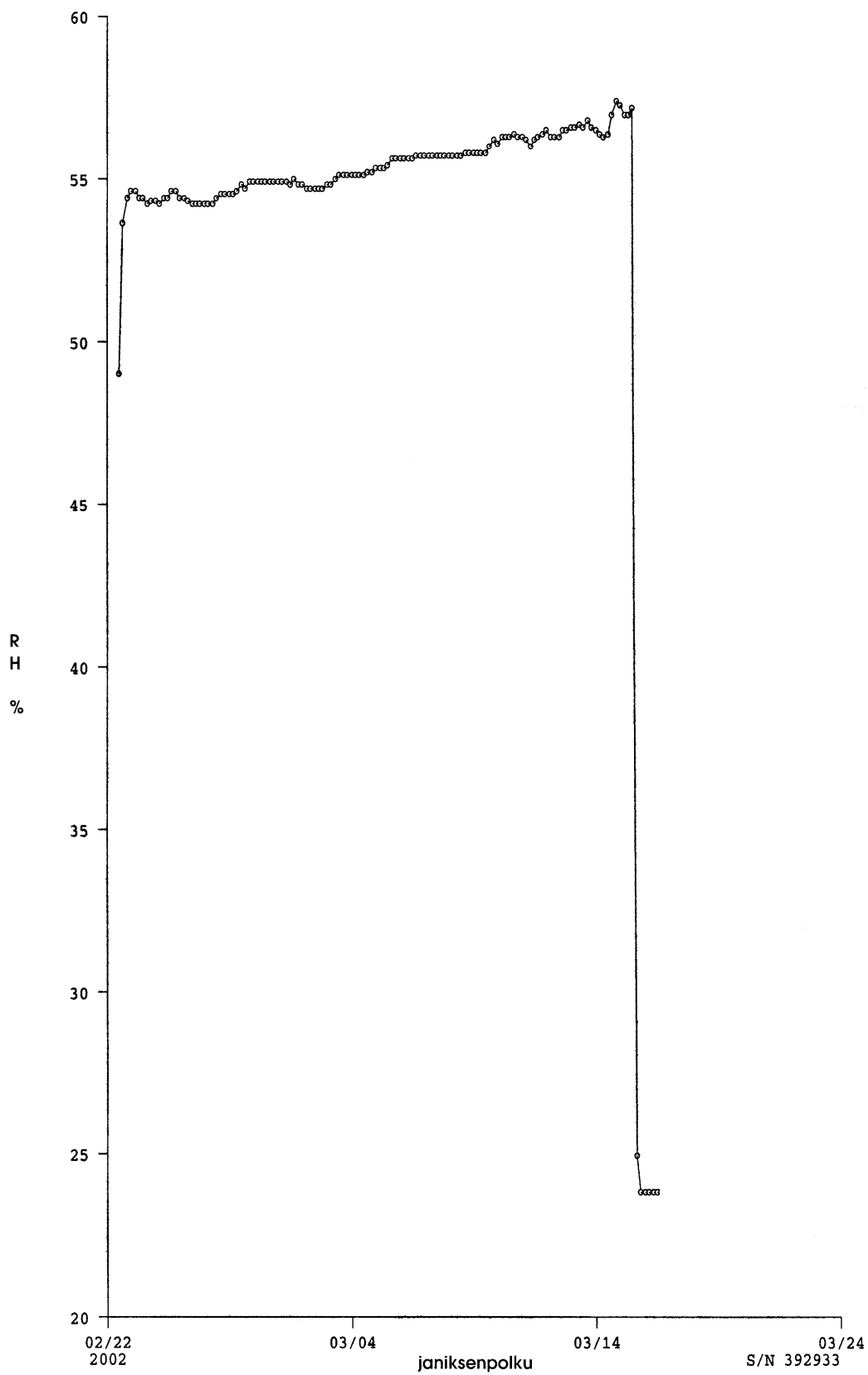
Kuva 18. Mittauspaikka 3, suhteellinen kosteus.



Kuva 19. Mittauspaikka 6, lämpötila.



Kuva 20. Mittauspaikka 6, absoluuttinen kosteus.



Kuva 21. Mittauspaikka 6, suhteellinen kosteus.



KUOPION
ALUEYÖTERVEYSLAITOS

ANALYYSIVASTAUS

22602ML

ml
7.3.2002

1 (2)

Ennen kastetta

VTT Rakennustekniikka
Martti Hekkanen
PL 18021
90571 OULU

MATERIAALINÄYTTEEN MIKROBIANALYYSI

Näytteenottaja: Martti Hekkanen
Näytteenottoaika: Jäniksenpolku 14 J 73, Suomussalmi
Näytteenottopäivämäärä: 22.2.2002
Vastaanottopäivämäärä: 26.2.2002
Näyttemäärä: 3 kpl
(kopio tilaajan läheteestä ja näytteenottopöytäkirjasta liitteenä)

Analyysimenetelmä: Materiaalinäytteen mikrobiologinen analysointi (MBTYÖ-030)
 Laimennossarjamenetelmä, elinkykyisten mikrobien määrä yksikössä cfu/g.
 (cfu = colony forming unit = pesäkettä muodostava yksikkö)

Määrittäysraja: 100 cfu/g

<u>Mikrobiryhmät</u>	<u>Kasvatusalustat</u>	<u>Kasvatus- lämpötila</u>	<u>Kasvatus- aika</u>
Mesofiiliset sienet	Dikloran-glyseroli-agar (DG18-agar)	+ 25°C	7 vrk
Mesofiiliset sienet	2% mallasuuteagar (M2-agar)	+25°C	7 vrk
Mesofiiliset bakteerit	Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar (THG-agar)	+ 25°C	7 vrk

Tutkitut näytteet:

- Muovimatto jääkaapin edestä
- Muovimatto, lieden vieressä olevan laatikoston vierestä
- Lastulevykaapin jalusta

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain
 Kuopion alueyöterveyslaitoksen antaman kirjallisen luvan perusteella.

Neulaniementie 4
70210 KUOPIO

PL 93
70701 KUOPIO

Puh. 017-201 211
Fax 017-201 474

Internet www.occuphealth.fi
Sähköposti etunimi.sukunimi@occuphealth.fi

KUOPION ALUETYÖTERVEYSLAITOS

ANALYYSIVASTAUS 22602ML 2 (2)

Analyysitulokset:

Näyte	Mesofiiliset sienet DG18-agar		M2-agar		Mesofiiliset bakteerit THG-agar	
1.	Yhteensä	2 423 400	Yhteensä	2 315 300	Yhteensä	31 000 000
	<i>Aureobasidium</i> *	9 000	<i>Aureobasidium</i> *	36 000		
	hiivat, punainen*	1 252 300	hiivat, punainen*	964 000		
	hiivat, vaalea	1 108 100	hiivat, vaalea	1 108 100		
	<i>Mucor</i> *	9 000	<i>Mucor</i> *	18 000		
	<i>Penicillium</i>	45 000	<i>Penicillium</i>	189 200		
2.	Yhteensä	5 999 900	Yhteensä	7 545 300	Yhteensä	363 000 000
	<i>Aureobasidium</i> *	363 600	<i>Acromonium</i> *	4 454 500	<i>Streptomyces</i> *	13 000 000
	hiivat, punainen*	454 500	<i>Cladosporium</i>	90 900	Muut bakteerit	350 000 000
	hiivat, vaalea	4 818 200	hiivat, punainen*	454 500		
	<i>Penicillium</i>	363 600	hiivat, vaalea	2 363 600		
			<i>Penicillium</i>	181 800		
3.	Yhteensä	150 000 000	Yhteensä	74 000 000	Yhteensä	208 000 000
	hiivat, punainen*	50 000 000	hiivat, punainen*	30 000 000		
	hiivat, vaalea	100 000 000	hiivat, vaalea	44 000 000		

*=kosteusvaurioon viittaava mikrobi, *Streptomyces*=sädesieni=aktinobakteeri

Materiaalinäytteen mikrobiologisen viljelyn tulos viittaa materiaalin kostumiseen ja vaurioitumiseen, mikäli materiaalinäytteessä on elinkykyisiä sieni-itiöitä runsaasti tai näytteessä esiintyy kosteusvaurioon viittaavaa mikrobistoa.

KUOPION ALUETYÖTERVEYSLAITOS

Ympäristömikrobiologian laboratorio

Sirpa Rautiala

Sirpa Rautiala, FM, tutkija
Analysointi

Susanna Haatainen, FM, tutkija
Tarkastus

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain
Kuopion alueterveyslaitoksen antaman kirjallisen luvan perusteella.



OULUN
ALUEYÖTERVEYSLAITOS
ULEÅBORGS REGIONINSTITUT FÖR ARBETSHYGIEN

TULOKSET 02146 1 (2)

27.3.2002

VTT / RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Erkki Vähäsöyrinki

PL 18021

90571 OULU

JÄNIKSENPOLKU 14 J 73 SUOMUSSALMI MATERIAALI- JA ILMANÄYTTEIDEN MIKROBIANALYYSIT

Seuraavassa on esitetty E Vähäsöyringin 14-15.3.2002 ottamien materiaali- ja ilmanäytteiden sieni-itiö- ja bakteeripitoisuudet (taulukot 1 ja 2). Ilmanäytteiden mikrobit määritettiin kolmelta kasvatusalustalta: mesofiiliset sienet mallasuute- ja DG18-agareilta ja mesofiiliset bakteerit tryphonihiiwaekstraktiglukoosi (THG)-agarilta. Materiaalinäytteiden mikrobit määritettiin kolmelta kasvatusalustalta: mesofiiliset sienet Hagem- ja DG18-agareilta sekä mesofiiliset bakteerit tryptonihiiwaekstraktiglukoosi (THG)-agarilta. Näytteitä kasvatettiin + 25°C:n lämpötilassa seitsemän vuorokautta, jonka jälkeen syntyneiden pesäkkeiden määrät laskettiin ja sienet tyypitettiin valomikroskooppisesti. Saatujen pesäkelukujen perusteella määritettiin mikrobipitoisuudet. Ilmanäytteiden mikrobipitoisuus ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä ilmakehiämittauksissa, cfu/m³ (cfu = pesäkkeen muodostava yksikkö). Materiaalinäytteen mikrobipitoisuus ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä materiaalignammaa kohti, cfu/g.

Taulukko 1. Ilmanäytteiden sieni-itiö- ja bakteeripitoisuudet (cfu/m³). Määrittäysraja 4 cfu/m³.

Näyte	Mesofiiliset sienet				Mesofiiliset bakteerit	
	Hagem -agar		DG18 -agar		THG -agar	
1. Keittiö, A-näyte Ennen otsonointia	Yhteensä	102	Yhteensä	220	Yhteensä	368
	<i>Cladosporium</i>	35	<i>A. penicillioides*</i>	53	<i>Streptomyces*</i>	290
	<i>Penicillium</i>	46	<i>A. versicolor*</i>	4	muut bakteerit	78
	<i>Scopulariopsis*</i>	21	<i>Cladosporium</i>	88		
			<i>Mucor*</i>	7		
			<i>Penicillium</i>	39		
			<i>Rhodotorula*</i>	4		
			<i>Scopulariopsis*</i>	14		
			hiivaa	11		
2. Keittiö, B-näyte Otsonoinnin jälkeen	Yhteensä	46	Yhteensä	206	Yhteensä	279
	<i>Cladosporium</i>	4	<i>Aspergillus</i>	4		
	<i>Penicillium</i>	42	<i>Cladosporium</i>	11		
			<i>Penicillium</i>	187		
			<i>Scopulariopsis*</i>	4		

* = kosteissa oloissa viihtyvä mikrobi, A = *Aspergillus*

Osoite:
Aapistie 1
90220 OULU

Puhelin
(08) 527 6111

Faksi
(08) 527 6000



OULUN
ALUETYÖTERVEYSLAITOS
ULEÅBORGS REGIONINSTITUT FÖR ARBETSHYGIEN

TULOKSET 02146 2 (2)

27.3.2002

Taulukko 2. Materiaalinäytteiden mikrobipitoisuus (cfu/g). Määrittäysraja 50 cfu/g.

Näyte	Mesofiliset sienet		Mesofiiliset bakteerit	
	Mallasuute -agar	DG18 -agar	THG -agar	
1. Keittiön lattia kaapin edestä, muovimatto, 14.3.02	Yhteensä 302200 <i>Aureobasidium*</i> 100 <i>Penicillium</i> 26700 <i>Rhodotorula*</i> 40100 <i>Ulocladium*</i> 2700 muuta hiivaa 232600	Yhteensä 468900 <i>Penicillium</i> 13400 <i>Rhodotorula*</i> 101600 muuta hiivaa 353900	Yhteensä 8,0x10 ⁶ <i>Streptomyces*</i> 2,7x10 ⁶ muut bakteerit 5,3x10 ⁶	
2. Keittiö ikkunan edestä, muovimatto, 14.3.02	Yhteensä 973750 <i>Aureobasidium*</i> 7900 <i>Mucor*</i> 97400 <i>Rhodotorula*</i> 263150 muuta hiivaa 605300	Yhteensä 1,1x10 ⁶ <i>Aureobasidium*</i> 21050 <i>Mucor*</i> 71050 <i>Penicillium</i> 44750 <i>Rhodotorula*</i> 552650 muuta hiivaa 473700	Yhteensä 5,3x10 ⁶	
3. Keittiö patterin edestä, muovimatto, 14.3.02	Yhteensä 700 <i>Penicillium</i> 50 <i>Rhodotorula*</i> 50 <i>Scedosporium</i> 50 muuta hiivaa 550	Yhteensä 600 <i>Cladosporium</i> 50 hiivaa 550	Yhteensä 229	
4. Keittiö patterin edestä muovimatto, 15.3.02	Yhteensä 450 <i>Acremonium*</i> 100 <i>Aspergillus sp.</i> 50 15.3.02 <i>Scopulario</i> 200 <i>psis</i> 50 hiivaa 50	Yhteensä 200 <i>Penicillium</i> 150 <i>Rhodotorula*</i> 50	Yhteensä 1150 <i>Streptomyces*</i> 450 muut bakteerit 700	

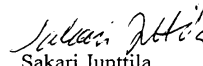
* kosteissa oloissa viihtyvä mikrobi.

Illmanäytteiden 1 ja 2 sieni-itiöpitoisuudet vaihtelivat välillä 46 - 220 cfu/m³ ja bakteeripitoisuudet välillä 279 - 368 cfu/m³. Näytteiden 1 ja 2 mikrobilajistoihin sisältyi kosteissa oloissa viihtyviä sieniä ja aktinobakteereita (*Streptomyces*).

Materiaalinäytteiden 1-4 sieni-itiöpitoisuudet vaihtelivat välillä 200 - 1,1x10⁶ cfu/g ja bakteeripitoisuudet välillä 229 - 8,0x10⁶ cfu/g. Näytteiden 1-4 mikrobilajistoihin sisältyi kosteissa oloissa viihtyviä sieniä ja aktinobakteereita (*Streptomyces*).

OULUN ALUETYÖTERVEYSLAITOS
Kemian laboratorio


Erkki Hakala
laboratoriopäällikkö


Sakari Junttila
tutkija

Osoite:
Aapistie 1
90220 OULU

Puhelin
(08) 527 6111

Faksi
(08) 527 6000