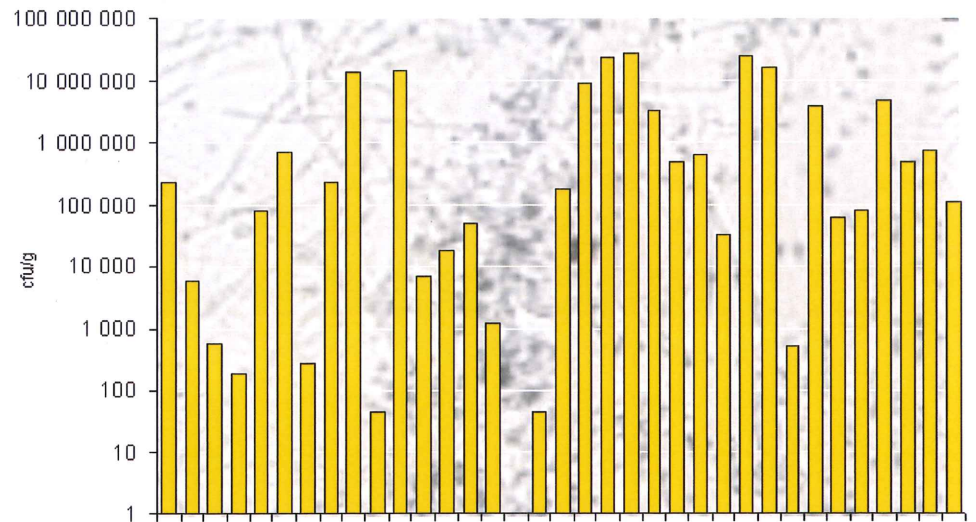




Virpi Leivo & Jukka Rantala

Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus



Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti 139
Tampere University of Technology. Institute of Structural Engineering. Research
Report 139

Virpi Leivo & Jukka Rantala

Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos
Tampere 2006

ISBN 952-15-1701-8 (nid.)
ISBN 978-952-15-3504-8 (PDF)
ISSN 1796-3206

ALKUSANAT

Julkaisu on tutkimushankkeen 'Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus' loppuraportti. Tutkimus on tehty Tampereen teknillisellä yliopiston Rakennetekniikan laitoksella professori Ralf Lindbergin johdolla. Julkaisun ovat kirjoittaneet DI Virpi Leivo ja TkT Jukka Rantala.

Tutkimuksen rahoittajina ovat olleet Teknologian kehittämiskeskus Tekes, sekä HKR-Rakennuttajat, Turun Tilalaitos, Lahden Tilapalvelut, Jyväskylän Tilapalvelu, EPS-eristeteollisuus, YH-Pirkanmaa, Oulun Rakennusteho Oy ja SPU-Systems Oy.

Tutkimuksen johtoryhmätyöskentelyyn ovat osallistuneet:

Sari Hildén	HKR-Rakennuttaja, johtoryhmän puheenjohtaja
Jarmo Lowe	Turun Tilalaitos
Juha-Matti Sirmelä	Lahden Tilapalvelut
Olli Salmela	Jyväskylän Tilapalvelu
Katja Outinen	EPS-eristeteollisuus
Riku Hakala	YH-Pirkanmaa
Jan-Erik Järventie	SPU-Systems Oy
Lasse Pöyhönen	TEKES
Ralf Lindberg	TTY
Jukka Rantala	TTY
Virpi Leivo	TTY.

Kiitämme rahoittajia ja kaikkia projektiin osallistuneita heidän työpanoksestaan.

Tampereella 15.12.2006

Kirjoittajat

TIIVISTELMÄ

Maanvastaisen rakenteen alapuolisten täyttökerrosten kosteus- ja mikrobiologisia olosuhteita selvitettiin kenttämittauksin. Yhteensä 46:sta satunnaisesti valitusta kohteesta eri puolilta Suomea otettiin maanäytteitä yhteensä 49 kappaletta, joista määritettiin laboratoriokokein kosteus- ja mikrobipitoisuudet. Pääosa näytteistä otettiin vuonna 2005, osa vuonna 2006. Näytteet otettiin koekohteista kahdesti: talvella ja loppukesästä. Mikrobianalyysit teetettiin Turun yliopiston Aerobiologian yksikössä STM:n Sisäilmanohjeen mukaisena kvantitatiivisena analyysinä, jossa suoritettiin viljelyyn perustuva suku- tai lajitason tunnistus kahdella eri kasvatusalustalla. Mittaustulosten perusteella täyttökerrosten yläosien vesipitoisuudet ylittivät lähes aina hygroskooppisen tasapainokosteuden RH 100 %:n suhteellisessa kosteudessa. Täyttöjen huokosilman suhteellinen kosteus on siis pysyvästi hyvin korkea: $RH \approx 100\%$. Joissain kohteissa mitattu vesipitoisuus oli selvästi yli hygroskooppisen tasapainokosteuden ja täytön yläosat toimivat osittain kapillaarisella alueella. Maanvastaisen alapohjan täyttökerrosten lämpötila lämmitetyn rakennuksen alapuolella vaihtelee välillä $+10\dots+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Täyttökerrosten vallitsevat olosuhteet, korkea kosteuspitoisuus ja lämpötila, ovat suotuisat mikrobikasvulle.

Jonkinasteista mikrobikasvustoa löydettiin 98 %:sta kaikista maanäytteistä. Kosteusvaurioita indikoivia mikrobilajeja, joko homesienien indikaattorilajeja tai aktinomykeetti –bakteereja, löytyi 79 % näytteistä. Suurimmassa osassa tutkituista kohteista ei kuitenkaan ollut koskaan havaittu alapohjiin liittyviä kosteusvaurioita. Vastaavia lajeja lähes yhtä suurina pitoisuuksina oli myös referenssinäytteissä, jotka otettiin hiekkakuopilta valmiiksi seulotusta ja läjitetystä salaojatorasta. Tulosten perusteella täyttöjen vesipitoisuudella tai kapillaarisuudella ja mikrobikasvuston määrällä ei ole suoraa yhteyttä. Samoin indikaattorilajeja ja toksiineja tuottavia homekasvustoja kasvoi täyttökerroksissa kosteustasosta riippumatta. Mikrobikasvu on jossain määrin riippuvainen rakennuksen iästä: pitoisuudet olivat alempia ja esiintyminen satunnaisempaa vanhimmissa rakennuksissa, eikä 30-luvulla rakennettujen tai sitä vanhempien kohteiden näytteistä tavattu homesienikasvustoja lainkaan, vaikka vanhimmat alapohjarakenteet kapillaarisine alustäyttöineen ovat kosteusteknisesti riskialttiimpia kuin uudet.

Yhtenäisten materiaalikerrosten ja epäjatkuvuuskohtien kykyä estää mikrobien kulkeutuminen materiaalin läpi tutkittiin laboratorio-olosuhteissa. Tutkimuksessa yhtenäinen betonilaatta ($h = 80\text{ mm}$, $w/c = 0,7 \dots 1,0$) tai EPS-eristekerros (EPS 100 Lattia 100 mm) ja SPU –eristekerros eivät läpäisseet homesienten itiöitä (*Aspergillus versicolor*). Sen sijaan valusauma, joka ei ollut ilmanpitävä muodostui itiöiden tunkeutumisreitiksi.

Täyttökerroksista mitattu korkea suhteellinen kosteus ja runsas mikrobikasvu eivät ole merkki alapohjalaatan kosteusvaurioista, vaan ne ovat täyttökerroksen luonnolliset käyttötilan olosuhteet, jotka on otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa. Mikrobien ja itiöiden kulkeutuminen sisäilmaan on estettävä tekemällä alapohjarakenne ja erityisesti liitokset muihin rakenneosiin ja laattojen läpiviennit mahdollisimman ilmanpitäviksi. Toimivat rakenneratkaisut ovat pääosin samat kuin radon-tiivistyksessä.

MAANVASTAISTEN ALAPOHJARAKENTEIDEN MIKROBIOLOGINEN TOIMIVUUS

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	1
TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYSLUETTELO	5
MÄÄRITELMÄT	7
1 JOHDANTO	11
1.1 Tausta	11
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	12
1.3 Tutkimuksen sisältö ja tutkimusmenetelmät	12
2 TÄYTTÖKERROSTEN OLOSUHTEET JA MIKROBIKASVUN EDELLYTYKSET	13
2.1 Täyttökerrosten olosuhteet	13
2.2 Mikrobit	18
2.3 Mikrobikasvun vaatimat olosuhteet	21
3 TÄYTTÖKERROSTEN KOSTEUS- JA MIKROBIPITOISUUS: KENTTÄMITTAUKSET	23
3.1 Koekohteet ja rakenteet	23
3.2 Mittausmenetelmät	26
3.3 Täyttökerrosten vesipitoisuudet	28
3.4 Eristekerrosten vesipitoisuudet	31
3.5 Täyttökerrosten mikrobipitoisuudet	32
3.6 Eristekerrosten mikrobipitoisuudet	38
3.7 Alapohjarakenteiden materiaalien pitkäaikaiskestävyys	39
3.8 Kenttäkokeiden vertailu ja yhteenveto	39
4 RAKENTEIDEN ILMANPITÄVYYS: LABORATORIOKOKKEET	44
4.1 Koejärjestelyt	44
4.2 Laattojen tiiviyskokeet	46
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	49
5.1 Alapohjarakenteiden olosuhteet	49
5.2 Mikrobikasvu täyttö- ja eristekerroksissa	50
5.3 Maanvastaisten laattojen mikrobiologiset olosuhteet ja toimivuus vallitsevissa olosuhteissa	51
5.4 Alapohjalaatan ja täyttökerrosten olosuhteiden tutkiminen	52
6 SUOSITELTAVAT RAKENNERATKAISUT	54
LÄHTEET	57
LIITTEET	58

MÄÄRITELMÄT

Rakennusfysikaalinen termistö

Diffuusio eli vesihöyryn diffuusio tarkoittaa kaasuseoksessa vakiokokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa vallitsevat vesihöyryn osapaine-erot.

Huokosluku tarkoittaa maan huokostilavuuden V_v ja kiinteiden maapartikkelien tilavuuksien V_s suhdetta, $e = V_v/V_s$.

Hygroskooppinen tasapainokosteus tarkoittaa sitä kosteuspitoisuutta, joka stationääritilassa sitoutuu huokoiseen aineeseen tietyssä ympäristön suhteellisessa kosteudessa ja lämpötilassa.

Hygroskooppisuus tarkoittaa huokoisen aineen kykyä sitoa itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan.

Kapillaarinen tasapainokosteus tarkoittaa vesipitoisuutta, jonka huokoinen materiaali saavuttaa kapillaarivoimien vaikutuksesta ollessaan yhteydessä vapaaseen vedenpintaan. Kapillaarinen tasapainokosteus ilmaistaan yleensä kapillaarisen nousukorkeuden tai huokosalipaineen funktiona.

Kapillaarikatkokerros tarkoittaa maanvastaisen rakenteen alla tai vieressä olevaa veden kapillaarisen liikkeen katkaisevaa kerrosta.

Kapillaarivesi on materiaalin huokosiin kapillaarivoimien vaikutuksesta imeytyvää vettä.

Kondensoituminen tarkoittaa vesihöyryn tiivistymistä rakenteissa vedeksi tai jääksi, kun ilman vesihöyrypitoisuus on noussut kyllästyskosteuteen ($RH = 100\%$). Kondensoituminen tapahtuu yleensä materiaalien rajapinnoissa.

Kosteus tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä muodossa jäänä.

Kosteuspitoisuus tarkoittaa haihtumiskykyisen veden määrää (kg/m^3) huokoisessa materiaalissa.

Maanvastaisella tarkoitetaan maata vastaan olevaa rakennusosaa riippumatta siitä, siirtääkö rakennusosa kuormia maakerrokseen. Esimerkiksi kantava alapohja, joka on kosketuksissa alapuolisen salaojituskerroksen kanssa, on maanvastainen.

Maanvaraisella tarkoitetaan rakennusosaa, joka siirtää kuormia liittyville maakerroksille. Maanvarainen rakennusosa on aina myös maanvastainen.

Pintavesi on maan pinnalla olevaa, maanpintaa pitkin virtaavaa tai katoilta tulevaa vettä.

Pohjavesi on maa- tai kalliovyöhykkeeseen varastoitunut tai siellä virtaavaa yhtenäinen vesimassa, joka on täysin kyllästännyt maa- tai kalliokerroksen huokokset.

Rakeisuuskäyrä ilmaisee maanäytteen raekokojakauman.

Rakennuskosteus tarkoittaa rakennusvaiheen aikana tai ennen sitä rakenteisiin tai rakennusmateriaaleihin jäänyttä tai imeytynyttä rakenneosan käytönaikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta. Usein käytetään samaa asiaa tarkoittavaa termiä *rakennekosteus*.

Salaojituserros tarkoittaa maaperän kosteusliikkeiden hallitsemiseksi pintamaan alapuolelle rakennettua vettä johtavaa rakennetta tai karkearakeista maa-aineskerrosta. Salaojituserroksen tarkoituksena ei ole katkaista kapillaarista nousua.

Salaojajärjestelmä tarkoittaa salaojaputkien, salaojituserrosten, salaojakaivojen, tarkastusputkien ja kokoojakaivojen muodostamaa sekä tarvittaessa padotusventtiilillä tai pumppauksella varustettua järjestelmää rakennuksen pohjan tms. kuivattamiseksi.

Salaojaputki tarkoittaa salaojituserroksessa käytettävää putkea, johon vesi pääsee ympäristöstä putken seinämässä olevien reikien kautta.

Salaojitus, vrt. salaojajärjestelmä.

Suhteellinen kosteus eli ilman suhteellinen kosteus (RH) ilmaisee kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästyspitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa.

Stationääritila eli jatkuvuustila tarkoittaa tilaa, jossa systeemiin tuodaan ja sieltä poistuu yhtä paljon ainetta tai energiaa samassa aikayksikössä. Stationääritilassa lämpötilat ja eri aineiden pitoisuudet ovat saavuttaneet tasapainotilan eivätkä muutu ajan kuluessa.

Vajovesi eli gravitaatiovesi on painovoiman vaikutuksesta rakenteessa tai maa-kerroksessa liikkuvaa vettä.

Valuma-alue on maanpinnan korkeussuhteiden perusteella määritetty alue, jolta pintavedet virtaavat alueen alimpaan kohtaan, kuten järveen, jokeen tms.

Vesihöyry tarkoittaa vettä kaasumaisessa olomuodossa.

Vesihöyryn konvektio tarkoittaa virtaavan kaasuseoksen, kuten ilmavirran, mukana siirtyvää kosteutta. Ilman liikkeen aiheuttaa yleensä kokonaispaine-ero. Pakotettu konvektio tarkoittaa vesihöyryn liikettä jonkin ulkopuolisen voiman, kuten ilmanvaihdon, aikaansaaman ilmavirran mukana ja luonnollinen konvektio vesihöyryn liikettä ilmassan sisäisten lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten mukana.

Vesihöyrynläpäisevyys (δ_v tai δ_p) ilmaisee kosteusmäärän, joka läpäisee tietyn pinta-alan ja paksuuden omaavan homogeenisen ainekerroksen aikayksikössä, kun ainekerroksen eri puolilla vallitsee yhden yksikön suuruinen vesihöyrypitoisuus ero tai yhden yksikön suuruinen vesihöyryn osapaine-ero.

Vesihöyrynvastus (Z_v tai Z_p) ilmaisee tietyn paksuisen ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen aiheuttaman vesihöyryn virtausvastuksen (diffuusiovastuksen) yhden yksikön vesihöyryn pitoisuuseron tai yhden yksikön vesihöyryn osapaine-eron aiheuttamalle virtaukselle. Määritetään materiaalien vesihöyrynläpäisevyyksien ja kerrospaksuuksien avulla $Z = \frac{d}{\delta}$.

Vesipitoisuus tarkoittaa materiaalissa olevan veden painon ja materiaalin kuivapainon välistä suhdetta $w = W_w/W_s$. Vrt. kosteuspitoisuus

Mikrobiologinen termistö

Agar on ruskoleivistä valmistettu hapan polysakkaridi, jota käytetään mikrobien elatusalustojen hyydyttämiseen.

Aktinomykeetti eli sädesieni on *Actinomycetales* –lahkoon kuuluva bakteeri, jolla on muista bakteereista poiketen kyky muodostaa sienten tapaan itiöitä ja rihmastoja.

CFU/g (tai *pmy/g*) tarkoittaa sienipesäkkeitä muodostavien yksiköiden lukumäärää yhdessä grammassa näytemateriaalia.

Elatusalusta on steriili, agarista ja erilaisista kemiallisista aineista valmistettu hyytelömäinen alusta, jolla kasvatetaan mikrobeja. Elatusalustan koostumusta ja kasvatusoloja muuttamalla saadaan näytteessä kasvamaan erilaisissa oloissa viihtyviä mikrobeja.

Indikaattorilaji tarkoittaa sellaista mikrobia, jota ei yleensä tavata terveessä, vauriottomassa rakennuksessa ja jonka esiintyminen rakennuksesta otetussa näytteessä katsotaan viittaavan kosteusvaurioon.

Inkubaatio tarkoittaa tässä yhteydessä bakteerien ja sienien kasvatusta laboratoriossa elatusalustalla tasalämpöisissä olosuhteissa.

Kasvualustalla tarkoitetaan bakteerien ja sienten kasvatukseen käytettävää petrimaljoille valutettua ravinne-agarina. (vrt. elatusalusta)

MEA on mallasuuuteagar kasvualusta, jota käytetään hiiva- ja homesienten kasvatuksessa.

MVOC tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat peräisin mikrobeista.

Mykotoksiinit ovat sienten tuottamia myrkyllisiä yhdisteitä.

Orgaanisella tarkoitetaan eloperäistä, elävästä luonnosta peräisin olevaa.

Sädesieni, kts. aktinomykeetti.

THG on tryptoni-hiivauute-glukoosiagar kasvualusta, jota käytetään bakteerien ja aktinomykeettien kasvatuksessa.

TVOC (*Total Volatile Organic Compound*) tarkoittaa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta.

VOC (*Volatile Organic Compound*) tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat huonelämpötilassa kaasumaisessa olotilassa.

Vesiaktiivisuus (a_w) on eräänlainen kuivuuden mitta, joka määritetään näytteen yläpuolella tasapainotilassa vallitsevan veden höyrynpaineella verrattuna puhtaan veden höyrynpaineeseen vastaavissa oloissa.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Maanvastaiset alapohjarakenteet ovat osa rakennusta ympäröivää ulkovaippaa. Niiden tehtävät ovat samat kuin ulkoseinän ja yläpohjan: suojata rakennusta ja asukkaita sään ja ilmaston aiheuttamilta rasituksilta, sekä vähentää lämpöhukkaa lämmitystä rakennuksesta ympäristöön.

Viime aikoina on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota sisäilman epäpuhtauksiin, kuten teollistuvan ympäristömme aiheuttamiin hiukkaspäästöihin, tai mikrobeihin ja niiden toksisiin aineenvaihduntatuotteisiin. Asetamme elinympäristöllemme entistä tiukempia vaatimuksia, raja-arvoja ja suosituksia, joiden täyttymistä valvotaan yhä tarkemmilla mittalaitteilla. Vaatimukset sisäilman puhtaudesta vaativat entistä enemmän paitsi ilmanvaihdolta, myös käytetyiltä rakenteilta, materiaaleilta ja materiaaliyhdistelmiltä.

Otollisimmat olosuhteet mikrobikasvulle ovat usein juuri rakennuksen ulkovaipassa, jossa toisistaan voimakkaasti poikkeavien lämpö- ja kosteusolosuhteiden oletetaan tasaantuvan turvallisesti ja tehokkaasti ilman haittoja rakenteiden toiminnalle tai sisäilman puhtaudelle. Samat vaatimukset, jotka koskevat ulkoseiniä ja yläpohjia, koskevat myös maanvastaisia alapohjalaattoja. Niiden olosuhteet poikkeavat kuitenkin oleellisesti muiden rakennusvaipan osien käyttöolosuhteista.

Toisin kuin muut vaipan osat, alapohjalaatta ja kellariseinät ovat kontaktissa rakennusta ympäröivien maakerrosten kanssa, joko suoraan tai rakennettujen täyttö- ja salaojituskerrosten välityksellä. Käytännössä karkearakeiset salaojitus- ja kapillaarikatkokerrokset ovat uloin osa rakennuksen ulkovaippaa, ja niiden tehtävänä on rajoittaa pinta-, vajo- ja pohjavesien tunkeutumista rakennekerroksiin. Muissa suhteissa näille kerroksille ei voi asettaa vaatimuksia: ne ovat huokosverkostonsa välityksellä yhteydessä ympäröiviin maakerroksiin ja edelleen pohjaveteen, eivätkä ne toimi höyrynsulkuna tai maassa esiintyvien epäpuhtauksien suodattajana. Tämä tehtävä on vaipan sisemmillä kerroksilla. Tästä huolimatta täyttökerroksista löydetty mikrobikasvusto on monessa kohteessa johtanut alapohjan radikaaleihin korjaustoimenpiteisiin, jopa laatan purkamiseen ja täyttökerrosten vaihtamiseen. Näissä tapauksissa täyttö- ja salaojituskerrosten toimintaa ja tehtäviä ei ole täysin ymmärretty ja niissä vallitsevia olosuhteita on tulkittu väärin.

Tampereen teknillisellä yliopistolla on vuosina 1999 – 2005 tutkittu laajasti maanvastaisten alapohjarakenteiden rakennusfysiikkaa, eli lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä. Tutkimusten yhteydessä on käynyt ilmi, että lämmitettyjen rakennusten alapuolisten täyttökerrosten lämpötila ja kosteuspitoisuus pysyvät korkeina ympäri vuoden. Olosuhteet ovat lähes aina otolliset maassa esiintyvän mikrobikasvuston, home- ja sädesienten kehitykselle.

Tämä havainto toimi tutkimuksen varsinaisena lähtökohtana. Täyttökerroksesta otetun yksittäisten mikrobinäytteiden tulosten tulkitsemiseksi olisi ensin selvítettävä, johtavatko otolliset olosuhteet aina mikrobikasvuston kehittymiseen täyttökerroksissa ja millä todennäköisyydellä satunnaisesti otetusta näytteestä voidaan löytää merkkejä

mikrobikasvusta. Toisin sanoen: indikoiko täyttökerroksista havaittu mikrobikasvusto alapohjan kosteusongelmista, vai onko se täysin luonnollinen havainto pohjamaahan yhteydessä olevissa maakerroksissa. Jos mikrobien esiintyminen täyttökerroksissa vastaisi olosuhteiden antamia mahdollisuuksia, olisi seuraavaksi selvitettävä, mikä vaikutus laatan alapuolisella kasvustolla on sisäilman puhtauteen. Näihin kysymyksiin pyrittiin vastaamaan käynnistämällä laaja maanvastaisten alapohjarakenteiden mikrobiologisia olosuhteita kartoittava tutkimus.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää maanvastaisten laattojen alapuolisten täyttökerrosten kosteus- ja mikrobiologiset olosuhteet. Tarkoituksena oli kartoittaa, kuinka yleisesti laattojen alapuolisista kerroksista löytyy bakteeri- ja homesienikasvustoja, ja onko kerroksen kosteuspitoisuudella, rakennuksen iällä, alapohjarakenteella tai käyttötarkoituksella vaikutusta löydettyyn mikrobilajistoon tai kasvuston runsauteen. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli määrittää, mikä vaikutus laatan alapuolisella mikrobikasvustolla on rakennuksen sisäilman puhtauteen.

Maanvastaisella alapohjarakenteella tarkoitetaan tässä yhteydessä suomalaisessa rakentamisessa tyypillistä tiivistetyn täyttö- tai salaojituskerroksen varaan paikalla valettua betonilaattaa. Rakenne voi sisältää joko ylä- tai alapuolisen lämmöneristyksen sekä vesi- tai kosteuseristyksen, kuten bitumikermin tai höyrynsulkumuovin. Myös ns. kaksoislaattarakenteet otettiin mukaan tutkimukseen.

Tutkimuksessa ei käsitelty rakenteita tai rakennuksia, joiden alapohjalaatassa on lattialämmitys.

1.3 Tutkimuksen sisältö ja tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen päätavoite, täyttökerrosten kosteus- ja mikrobitasojen määrittäminen, toteutettiin kenttäkokeina. Satunnaisesti valituista koekohteista eri puolilta Suomea kerättiin materiaalinäytteet sekä alapohjarakenteita vasten olevasta täyttömateriaalista (hiekkä, sora tai murske) sekä laatan eristeroksesta. Näytteistä määritettiin laboratoriokokein kosteus- ja mikrobipitoisuudet. Näytteiden kosteuspitoisuus määritettiin punnitus-kuivatus-punnitus –menetelmällä. Maanäytteiden kuivatuksessa käytettiin 12 tunnin kuivatusta 105 ° -asteisessa uunissa. Eristenäytteet kuivattiin silikalla ilmatiiviissä rasiassa, joissa näytekappaleita säilytettiin, kunnes niiden painossa ei enää kontrollipunnituksissa havaittu muutoksia. Mikrobiologiset analyysit kaikille maa- ja eristenäytteille tehtiin Turun Yliopiston Aerobiologian yksikössä. Menetelmänä käytettiin kvantitatiivista analyysia, jossa suoritettiin viljelyyn perustuva suku- ja lajitason tunnistus.

Tutkimuksen toinen tavoite, alapohjarakenteen ja sen liitosten ja saumojen mikrobiinläpäisevyyksien ja tiiviyksien määrittäminen toteutettiin laboratoriokokeina.

2 TÄYTTÖKERROSTEN OLOSUHTEET JA MIKROBIKASVUN EDELLYTYKSET

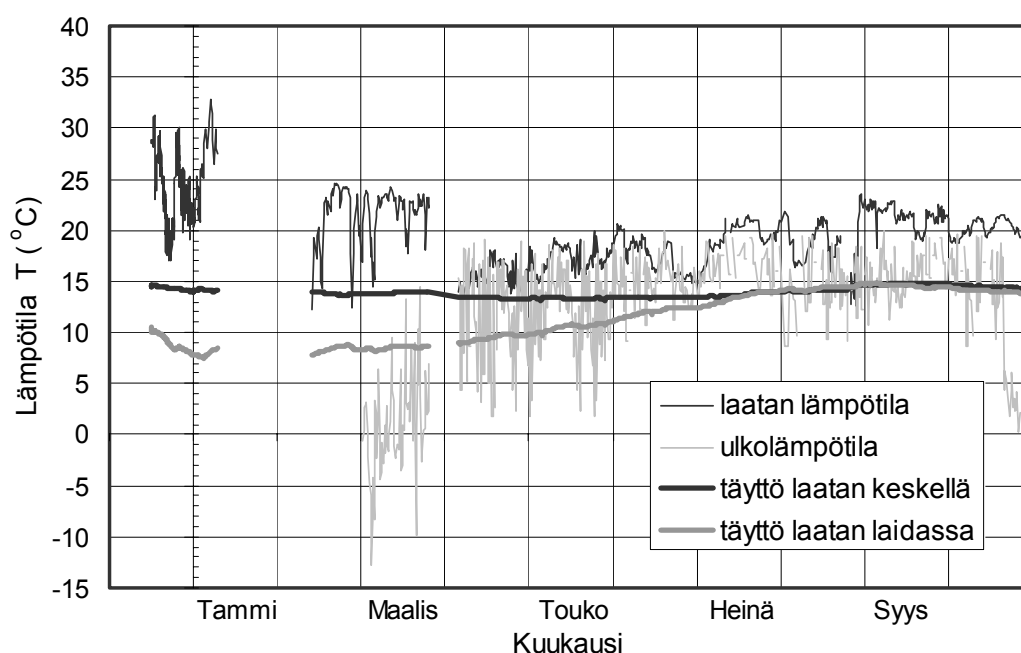
2.1 Täyttökerrosten olosuhteet

TTY:n talonrakennustekniikan laboratoriossa ja muualla suoritettujen aiempien seuranta- ja laboratoriotutkimusten perusteella voidaan arvioida rakennuksen maanvastaisen laatan alapuolisiin täyttö- ja maakerrokseen muodostuvia lämpötila- ja kosteusolosuhteita (Leivo ja Rantala 2000, Leivo ja Rantala 2003a, Leivo ja Rantala 2003b, Leivo ja Rantala 2005, Rantala 2005a, Rantala 2005 b). Tutkimusten tulosten perusteella voidaan todeta, että laatan alapuoliset täyttö- ja pohjamaakerrokset ovat lämpimiä ja kosteita. Sekä lämpötila- että kosteustasot vaihtelevat jonkin verran ympäristöolosuhteiden ja vuodenaikojen mukana, mutta etenkin laattojen keskiosissa olosuhteet pysyvät vuoden ympäri melko vakaina.

Lämpötila

Lämmitetyn rakenteen alapuolisen maamassan lämpötilaan vaikuttavia tekijöitä ovat rakenne- ja maakerrosten lämpöparametrien lisäksi sitä ympäröivät reunalämpötilat: rakennuksen sisälämpötila tai lämmitetyn laatan lämpötila, ulkoilman lämpötila sekä perusmaan lämpötila.

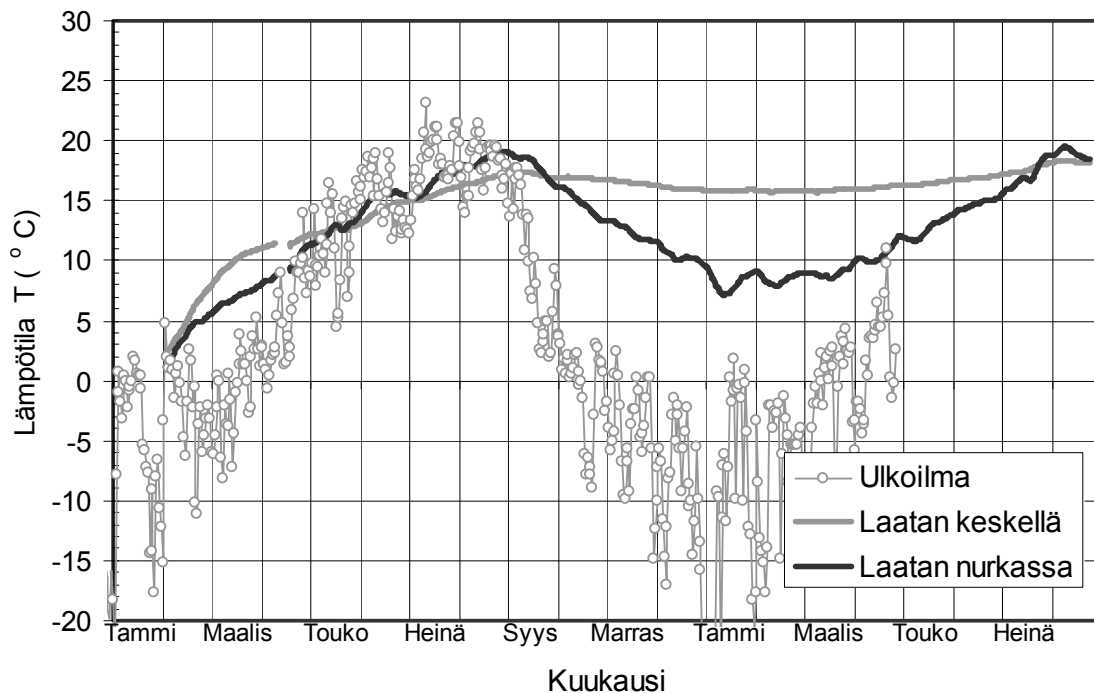
Seurantamittausten perusteella on havaittu, että lämpötasapaino rakennuksen ja pohjamaan välillä saavutetaan melko nopeasti, noin yhden vuoden kuluessa rakennuksen valmistumisesta, minkä jälkeen täyttöjen lämpötilamuutokset riippuvat lähinnä rakennuksen ja ulkoilman lämpötilojen muutoksista (Rantala 2005b). Laatan reunaosalla ulkolämpötilan vaikutus on huomattava, riippuen sokkelin ja routaeristyksen tehokkuudesta. Sen sijaan laatan keskiosissa, jo noin 1,5...2 metrin etäisyydellä ulkoseinälinjoista täyttökerrosten lämpötilat pysyvät ympäri vuoden melko vakaina, mikäli rakennuksen sisälämpötila on vakaa.



Kuva 2.1 Lattialämmitetyn laatan täyttökerrosten lämpötilat laatan keskellä ja laidassa. Laatan eristeenä 200 mm EPS.

Kuvassa 2.1 on esitetty aiemmissa tutkimuksissa mitattuja mursketäytön lämpötiloja lattialämmitetyn laatan alapuolelta läheltä laatan ulkoseinälinjaa, sekä laatan keskeltä, noin 4 metrin etäisyydeltä lähimmästä ulkoseinälinjasta (Leivo ja Rantala 2003a). Laatasta oli 200 mm EPS -eristekerros ja täyttönä noin 300 mm paksu hienorakeinen murskekerros. Kuvasta 2.1 näkyy selvästi lämpötilakehityksen erot laatan laidalla, jossa talvella täytön lämpötila putoaa selvästi alle $+10\text{ °C}$ -asteen, ja laatan keskellä, jossa lämpötila on korkeimmillaan lämmityskaudella, $T = +15\text{ °C}$, ja laskee vain muutaman asteen lämmityskauden päättyessä noin $+13\text{ °C}$ -asteeseen. Loppukesällä elo-syyskuun vaihteessa lämpötilat täyttökerroksessa ovat melko tasaisia ja korkeita koko pohjan alalla, $T \approx +15\text{ °C}$ (Leivo ja Rantala 2003a).

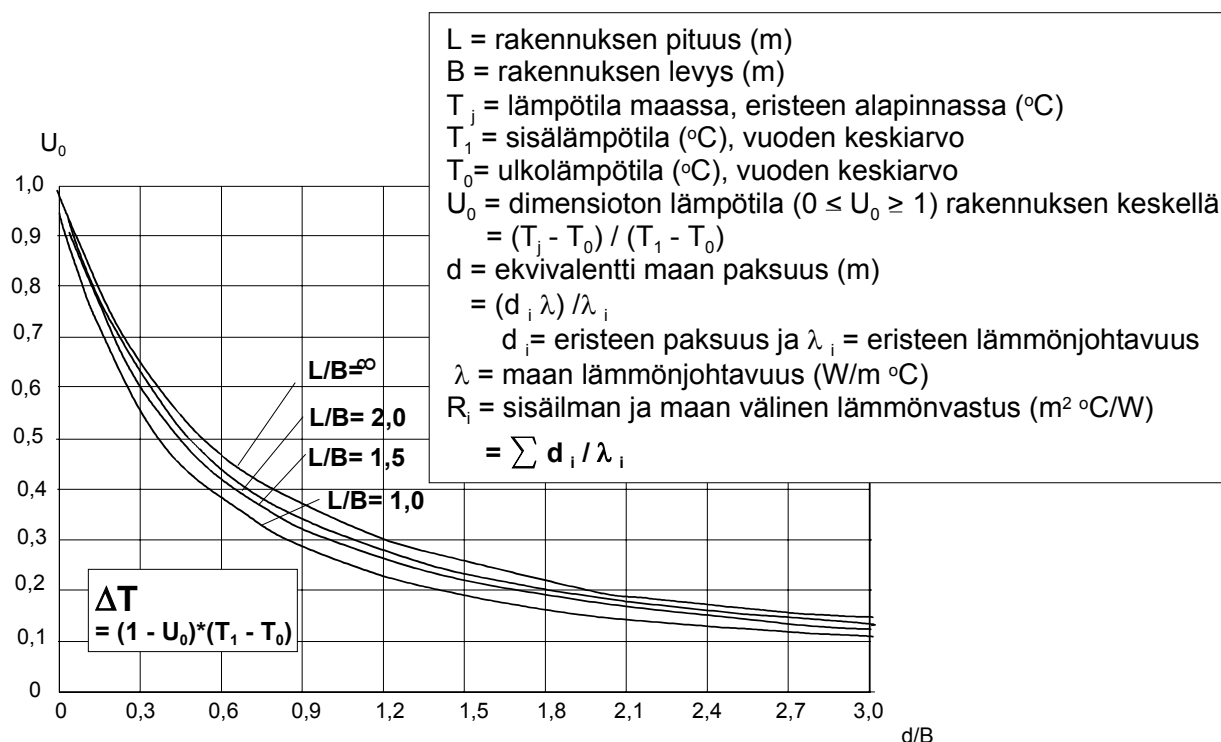
Kuvassa 2.2 on esitetty tavanomaisen radiaattorilämmitteisen rivitalon täytön lämpötiloja laatan keskiosassa ja lähellä laatan ulkonurkkaa. Täyttökerroksena oli lähes yhden metrin paksuinen sorapatja ja laatan alapuolella $d = 100\text{ mm}$ EPS -eriste metrin levyisellä reunakaistalla ja $d = 50\text{ mm}$ EPS -eriste laatan keskiosalla.



Kuva 2.2 Radiaattorilämmitteisen rakennuksen laatan alapuoliset täyttölämpötilat laatan keskellä ja ulkonurkassa. Alapuolisena eristeenä metrin reunakaistalla oli 100 mm EPS -eristys ja laatan keskellä 50 mm EPS -eristys.

Radiaattorilämmitteisen rakennuksen sisälämpötila on talvikautena hieman kesäkautta alempi, mikä näkyy myös mitatuissa täyttölämpötiloissa laatan keskellä. Kesällä elokuun lopulla mitattu maksimilämpötila $T = +18\text{ °C}$ putoaa talvella muutamalla asteella $T = +16\text{ °C}$. Laatan ulkonurkassa ulkolämpötilan vaikutus näkyy voimakkaana. Lämpötilavaihtelu kesän $+19\text{ °C}$ ja talven $+8\text{ °C}$ välillä on yli kymmenen astetta (Leivo ja Rantala 2003a).

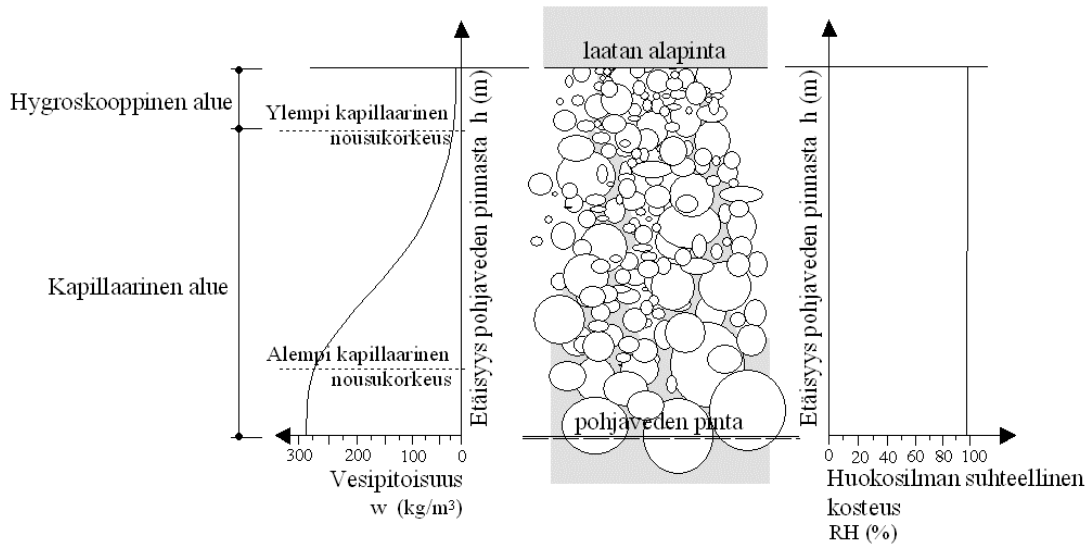
Täyttökerroksen lämpötiloja laatan keskiosissa voidaan arvioida kuvan 2.3 käyrästä avulla, mikäli rakennuksen leveys, B , ja laatan rakennekerrosten sekä pohjamaan lämmönjohtavuudet, λ ja λ_i , tunnetaan (Harderup 1993).



Kuva 2.3 Alapohjan lämmöneristykseen valintakäyrästä.

Kosteus

Täyttö- ja pohjamaakerrosten kosteus- ja vesipitoisuus riippuu monesta tekijästä, joista rakennuksen pohjan etäisyys pohjaveden pinnasta tai muista vapaan veden lähteistä, pintavesien tunkeutuminen täyttökerroksiin sekä etenkin täyttökerrosten kapillaarisuus ovat tärkeimmät. Hyvin usein lattian alapuolisissa täyttökerroksissa on riittävästi hienoainesta kuljettamaan vettä kapillaarisesti ainakin jossakin määrin syvemmistä maakerroksista lähelle alapohjarakenteita. Suomessa monet pohjamaatyypit, moreenit, siltit ja savikot, voivat nostaa kapillaarisesti huomattavia määriä vettä pohjaveden pinnan yläpuolelle. Tästä syystä täyttö- ja pohjamaakerrosten rajapintaa voidaan pitää vesilähteenä yläpuolisille kerroksille. Lisäksi kaikki maamateriaalit, myös karkeahkot kapillaarikatkokerrosmateriaalit, ovat jossain määrin kapillaarisia. Tämä tarkoittaa sitä, että kerroksesta määritetty vesipitoisuus voi vaihdella huomattavasti riippuen siitä, millä etäisyydellä vesilähteen tai pohjamaan pinnasta pitoisuuksia mitataan (kuva 2.4). Täyttökerroksen yläpuolisen rakenteen kannalta olennaista on se, kuinka suuren määrän vettä kerros pystyy nostamaan alapohjalaatan rakennekerroksiin asti. Yleensä täyttö- ja kapillaarikatkokerroksen yläosassa vesimäärät ovat alhaiset ja kerros toimii hygroskooppisella alueella.



Kuva 2.4 Täyttökerroksen vesipitoisuusjakauma osittain kapillaarisessa karkearakeisessa materiaalissa.

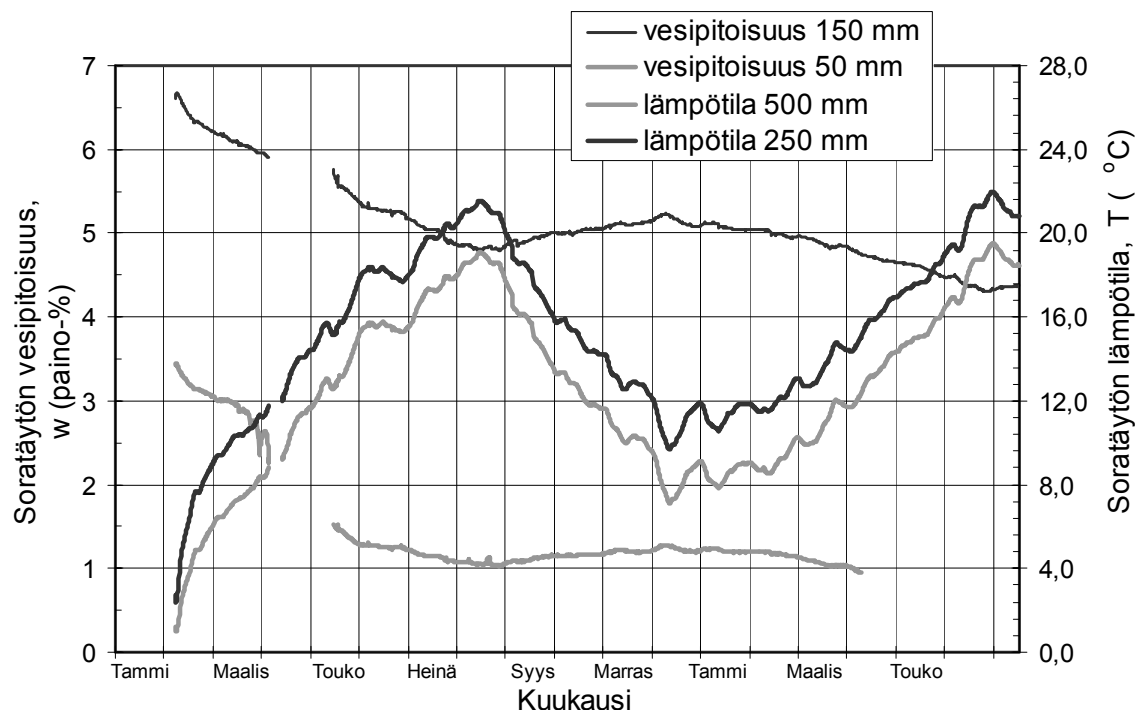
Täyttökerroksen vesipitoisuuden vaihtelu näkyy myös kuvan 2.5 mittaustuloksista (Leivo ja Rantala 2003a). Vesipitoisuuden ja lämpötilan muutoksia mitattiin kahdessa tasossa laatan alapuolisessa soratäytössä rakennuksen laitaosalla. Kuvan 2.5 tasot tarkoittavat etäisyyttä laatan alapinnasta. Mittaus aloitettiin heti rakennuksen valmistuttua ensimmäisen lämmityskauden alussa ja sitä jatkettiin puolentoista vuoden ajan. Täyttökerroksen lämpeneminen kuivattaa nopeasti täyttökerrosta ensimmäisenä talvena, mutta kuivuminen pysähtyy kesään mennessä ja syksyllä runsaat sateet nostavat täytön vesipitoisuutta koko kerroksessa, myös hyvin lähellä eristeen alapintaa (taso 50 mm).

Kuvan 2.5 käyrissä on selvästi havaittavissa kuvassa 2.4 esitetty vesipitoisuusjakauma osittain kapillaarisessa täyttökerroksessa. Alempaa täyttökerroksesta tasolta 150 mm mitattu vesipitoisuus on pysyvästi korkeampi kuin kerroksen yläosissa, mikä johtuu kerroksen osittaisesta kapillaarisuudesta. Lähellä laatan eristekerroksia täyttö pysyy suhteellisen kuivana, vaikka syksyn lisäkosteus rakennusta ympäröivissä maakerroksissa nostaakin kosteustasoa hieman myös siellä. Vesipitoisuudet lähellä laatan alapintaa ovat niin alhaisia, että kerros toimii lähes kokonaan hygroσκοoppisella alueella.

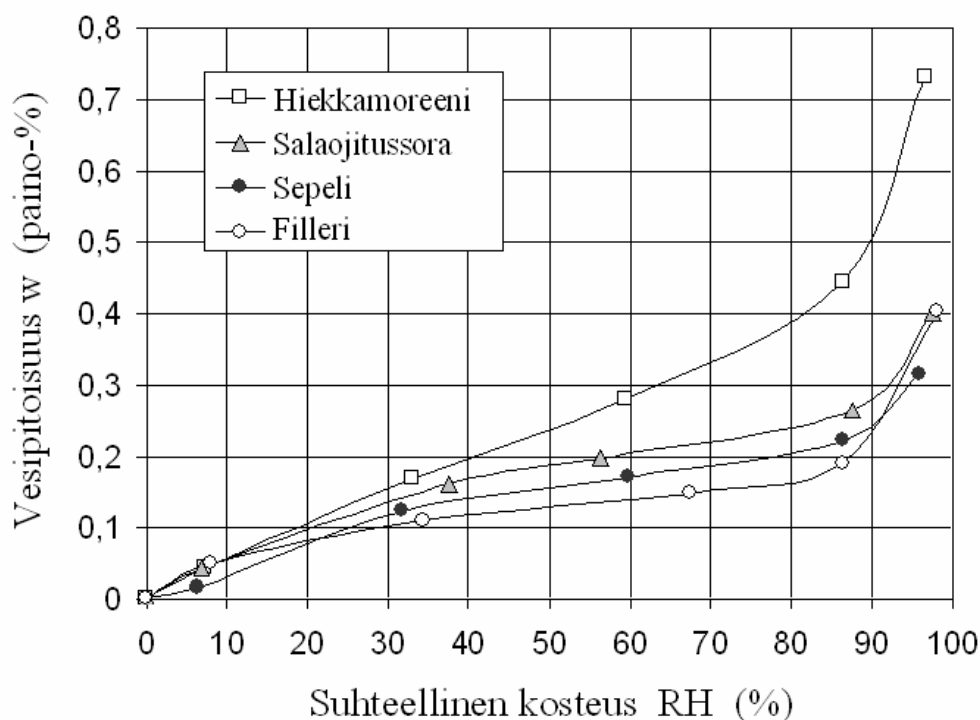
Hygroσκοoppisella alueella vesi ei enää kulkeudu materiaalissa kapillaarisesti, vaan materiaalin vesipitoisuus määräytyy hygroσκοoppisen tasapainokosteuden perusteella.

Karkearakeisten täyttö- ja salaojitusmateriaalien hygroσκοoppinen tasapainokosteus on yleensä melko pieni. Kuvassa 2.6 on esitetty neljälle karkearakeiselle maamateriaalille määritetyt hygroσκοoppiset tasapainokosteuskäyrät (Leivo ja Rantala 2000). Kaikilla materiaaleilla tasapainokosteus lähellä $RH = 100\%$ oli alle yhden painoprosentin. Suurin lukema saatiin hiekkamoreenille, joka rakeisuuskäyränsä perusteella sisältää suhteellisen paljon hienoainesta.

Materiaalin ollessa hygroskooppisella alueella huokosten ilman suhteellinen kosteus on alle RH 100%. Hygroskooppisuuden ylärajalla RH on 100%. Hygroskooppisella alueella kosteuden siirtyminen materiaalissa tapahtuu pääosin diffuusiovirtauksena.



Kuva 2.5 Soratäytöstä rakennuksen laitaosilta mitattuja täyttökerroksen lämpötiloja ja vesipitoisuuksia puolentoista vuoden mittausjaksolla. (Leivo ja Rantala 2003a).



Kuva 2.6 Karkearakeisten maamateriaalien hygroskooppiset tasapainokosteudet lämpötilassa $T = 20\text{ °C}$. (Leivo ja Rantala 2000)

Kenttäkokeissa täyttökerroksen vesipitoisuus ilmaisee parhaiten sen mittausaikaisia olosuhteita. Huokosilman kosteuspitoisuuden tai suhteellinen kosteuden perusteella ei voida sanoa, toimiiko kerros näytteenottokorkeudella kapillaarisella vai hygroskooppisella alueella, koska molemmissa tapauksissa mitattu ilmankosteus on hyvin korkea, RH = 100 % (kuva 2.4). Sen sijaan kerroksen vesipitoisuus vaihtelee huomattavasti riippuen siitä, toimiiko kerros kapillaarisella vai hygroskooppisella alueella (kuva 2.4). Täyttömateriaalien tasapainokosteus kyllästystilassa (RH = 100 %) on suhteellisen alhainen, joten melko pienetkin täyttökerroksesta mitatut vesipitoisuudet tarkoittavat käytännössä korkeaa huokosilman suhteellista kosteutta.

2.2 Mikrobit

Mikrobit ovat silminnäkymättömiä eliöitä. Tällaisia mikroskooppisen pieniä eliöitä ovat mm. virukset, bakteerit, sienet, levät ja alkueläimet. Mikrobeja on kaikkialla maapallolla ja niille on ominaista hyvin voimakas kyky sopeutua erilaisiin olosuhteisiin. Ne pystyvät muuntumaan ympäristöolosuhteiden mukana. Mikrobeilla on erinomainen lisääntymiskyky.

Mikrobiryhmät poikkeavat toisistaan. Virus ei selviä ilman elävää isäntäsolua, jonka sisällä lisääntyessään infektiokykyinen virus aiheuttaa infektion. Bakteerit ja sienet pystyvät elämään ilman isäntäsolukkoa. Sienet ovat bakteereita kehittyneempiä, sillä niillä on kalvon erottama tuma, jossa perimäainne sijaitsee, toisin kuin bakteereilla, joilla tällaista kalvon erottamaa tumaa ei ole. Kosteusvaurioituneen rakennuksen mikrobeista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä bakteereita ja sieniä.

Bakteerit

Bakteerit ovat dimensioiltaan pienempiä kuin sienet, bakteerisolujen läpimitta on noin 1 mikrometri. Joillakin Gram-positiivisilla bakteereilla on kyky muodostaa itiöitä. Itiö kestää mm. kuivuutta, lämpöä ja säteilyä paremmin kuin muu bakteerisolu. Bakteerit ovat yleensä yksisoluisia, mutta aktinomykeetit eli sädesienet ovat bakteereita, joilla on jossain elinkierron vaiheessa rihmasto ja ne muistuttavat siten hyvin paljon sieniä. Niiden itiöitä muodostaville rakenteille löytyy vastineet sienimaailmassa. Aktinomykeetteihin kuuluvat *Streptomyces*-lajit näyttävät liittyvän kosteusvaurioihin. *Streptomyces*-lajeille on tyypillistä mullan ja maakellarin haju, joka kuuluu ns. mikrobien haihtuviin aineenvaihduntatuotteisiin (MVOC).

Sienet

Sienet muodostavat rihmastoa ja lisääntyvät itiöiden avulla. Sienet voivat lisääntyä suvullisesti (kanta-, kotelo- ja leväsienten kanta-, kotelo- ja yhtymäitiöt) tai suvuttomasti (epätäydellisten sienten kuromaitiöt). Sienirihmaston muodostamassa pesäkkeessä itiöt muodostuvat erilaistuneissa rakenteissa, joita on yleensä erittäin paljon. Yhdessä sienipesäkkeessä voi olla sekä suvullista että suvutonta lisääntymistä ja itiöiden tuotto näin hyvin tehokasta. Yksi sienipesäke voi muodostaa satoja tuhansia itiöitä.

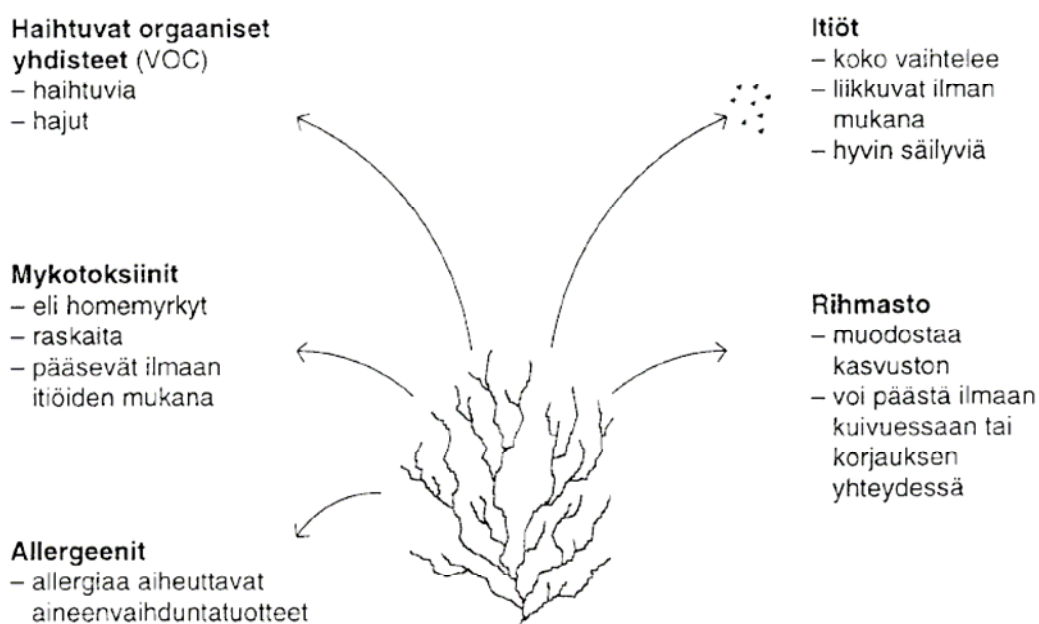
Homeet

Home on yleiskielen nimitys rihmastoa muodostavalle sienelle, joka näkyy kasvualustallaan nukkamaisena pesäkkeenä. Suurin osa tavallisista homeeksi nimitetyistä sienistä on epätäydellisiä sieniä, jotka lisääntyvät ainoastaan suvuttomasti kuromaitiöidensä avulla. Homeiden rihmasto on joko vaalea tai tummaa. Kirkkaat

vihreän, sinisen, keltaisen, kullanruskean tai punaisen sävyt ilmaantuvat tavallisesti itiöinnin alkaessa ja ovat seurausta valtaisan itiömassan yksittäisten itiöiden väreistä.

Homeille on tyypillistä se, että ne tavallisimmin kasvavat elatusaineen, esim. puun, pinnalla. Sahatavaran pinnalla voi joskus nähdä sinertävän harmaata nukkaa, joka on hometta ja jonka saa harjaamalla tai kemiallisten käsittelyjen avulla siitä pois. Jotkut tummarihmastoiset homesienet voivat kasvattaa rihmaston puun sisään aiheuttamalla värivirheitä heikentämättä puun teknisiä ominaisuuksia. Tällaisia sieniä sanotaan sinistäjäseniksi.

Kosteus- ja homevaurio-ongelma voi tulla esiin rakennuksen rakenteissa näkyvinä muutoksina, epämääräisen tunkkaiseksi koettuna ilmaana, homeen hajuna tai rakennuksessa olevien ihmisten oireiluna tai sairasteluna. Oireita tai sairauksia aiheutuu itse mikrobien osista, mm. itiöistä, mahdollisesti rihmastoista sekä mikrobien erittämistä mykotoksiineista (kuva 2.7). Mikrobeista (*MVOC*) ja vaurioituneista rakennusmateriaaleista (*VOC*) haihtuu myös orgaanisia yhdisteitä, nämä antavat mm. homeen tyypillisen hajun. Osa mikrobien molekyyleistä on allergiaa aiheuttavia proteiineja eli allergeeneja. Mikrobilajeja, homeita, hiivoja ja 'sädesieniä' eli homeiden kaltaisia, itiöitä muodostavia bakteereita, joiden tiedetään viihtyvän kosteus- ja homevaurioissa, tunnetaan 20...30 kappaletta. Niiden spesifeistä terveysvaikutuksista ei ole riittävästi tietoa.



Kuva 2.7 Homekasvusto tuottaa useita tekijöitä, joilla voi olla terveysvaikutuksia (Seuri ja Reiman 1996).

Mikrobipitoisuuksien raja-arvot

Sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeessa (Sisäilmaohje 2003) on annettu mikrobipitoisuuksille raja-arvoja, joiden voi ylittäminen voi aiheuttaa terveyshaittoja rakennuksessa oleskeleville. Raja-arvot eri mikrobilajeilla ja erilaisilla näytteidenottomenetelmillä on esitetty taulukossa 2.1. Raja-arvot ovat ohjeellisia ja niitä sovellettaessa on otettava huomioon paikalliset tekijät.

Taulukko 2.1 Sisäilmaohjeessa annetut raja-arvot mikrobimäärille (Sisäilmaohje 2003, STM).

Näytteenotto- menetelmä	Raja-arvo sieni-itiö- pitoisuudelle	Raja-arvo sädesieni- pitoisuudelle	Huom.
Pintanäyte	- yli 1000 cfu/cm ² tai - 100 kertaa suurempi kuin vertailu- näytteessä	- 10 kertaa suurempi kuin vertailu- näytteessä	
Rakennus- materiaalinäyte	- 100 kertaa suurempi kuin vertailu- näytteessä tai - 10 ⁴ – 10 ⁵ cfu/g	- 10 kertaa suurempi kuin vertailu- näytteessä	
Ilmanäyte (impaktori)	- yli 500 cfu/m ³ taajamassa talviaikaan - yli 2 kertaa suurempi kuin vertailu- rakennuksessa	- yli 10 cfu/m ³	Yksinomaan ilmanäytteen sieni- itiö –pitoisuuksista ei voi tehdä johtopäätöksiä mikrobikasvustosta, lisäksi on tarkasteltava sienilajistoa.
Laskeumamaljat	- yli 10 cfu/6 maljaa/h	- yhteensä yli 3 pesä- kettä, talviaikana	Ylitettäessä sieni- itiöiden raja-arvo (10 cfu/6 maljaa/h), suositellaan mikrobinäytteen- ottoa impaktorilla

Sisäilmaohjeen mukaan rakennusmateriaaleihin, jotka ovat kosketuksissa maaperän tai ulkoilman kanssa, kuten alapohjarakenteet ja lämmöneristeet, ei voida soveltaa taulukossa 2.1 mainittuja tulkintaperiaatteita, varsinkaan jos niiden kautta ei tapahdu ilmavuotoja sisätiloihin.

Indikaattorilaji tarkoittaa sellaista mikrobia, jota ei yleensä tavata terveessä, vauriottomassa rakennuksessa ja jonka esiintyminen rakennuksesta otetussa näytteessä viittaa kosteusvaurioon. Jokaisella analyysilaboratoriolla on käytössä hieman erilainen indikaattorilajilista. Pääosan listasta muodostavat Baarnissa 1992 käydyssä ja WHO:n 2002 kokouksessa määritellyt lajit sekä ja STM:n vuonna 2003 määrittelemät lajit. Lisäksi jokainen laboratorio on lisännyt listaan lajeja, jotka kokemusten mukaan ovat kosteusvaurioituneissa rakennusmateriaaleissa tyypillisiä.

Kosteusvaurioindikaattoreina Turun Yliopiston Aerobiologian yksikön lausunnoissa käytetään seuraavia lajeja:

- *aktinomykeetit*
- *Acremonium* *M
- *Acremonium* *M
- *Aspergillus fumigatus* *B *STM
- *Aspergillus sydowii* *W
- *Aspergillus versicolor* *B *STM
- *Aureobasidium* *M
- *Chaetomium* *M *STM
- *Eurotium* *B
- *Exophiala* *B
- *Fusarium* *B *STM
- *Hormonema* *M
- *Memnoniella* *W
- *Oidiodendron* *M
- *Peacilomyces variotii* *M
- *Phialophora* *B *STM
- *Phoma* *M
- *Rhodotorula* *B
- *Sporobolomyces* *M
- *Stachybotrys* *B *STM
- *Stemphylium* *M
- *Trichoderma* *B *STM
- *Tritirachium* *M
- *Ulocladium* *B
- *Wallemia* *B

*B = Baarn 1992 (Samson et al. 1994)

*W = WHO:n lista 2002

*M = kokemusperäinen

*STM = STM 2003

Toksiineja tuottavia sieniä listassa ovat *aktinomykeetit*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus versicolor*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Stachybotrys*, *Trichoderma*.

2.3 Mikrobikasvun vaatimat olosuhteet

Kosteus

Vesi on mikrobien kasvulle välttämätöntä. Täysin kuivassa ympäristössä mikään mikrobi ei kasva. On huomattavaa, että vapaata vettä ei tarvita, vaan vähempikin kosteus riittää. Rakennus- ja pintamateriaalien paikallisella kosteudella on suuri merkitys mikrobikasvun kannalta. Hygroskooppiset materiaalit voivat lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa imeä ilmasta vettä niin paljon, että homehtuminen lähtee käyntiin. Jos huoneilman kosteus on jatkuvasti yli 70 %, kuivassa viihtyvät kserofiiliset sienet voivat aloittaa kasvunsa huokoisen materiaalin pinnalla tai huonepölyssä. Esimerkki tällaisesta sienestä on *Aspergillus versicolor*, jonka vesiaktiivisuusvaatimus on alle 0,80. Jos materiaalin vesiaktiivisuus on 0,92 tai enemmän, se tarjoaa mahdollisuuden kasvuun ja lisääntymiseen melkein päälle tahansa mikrobille.

Lämpötila

Lämpötilan suhteen mikrobit voivat olla hyvinkin tarkkoja. Tavallisempaa kuitenkin on, että optimilämpötila-alue on varsin leveä ja sen lisäksi esiintyy toleranssia joko matalia tai korkeita lämpötiloja kohtaan. Psykrofiileiksi kutsutaan kylmässä viihtyviä lajeja; esim. ulkoilmamme yleisin homesieni *Cladosporium* kasvaa vielä pienessä pakkasessakin. Mesofiileiksi sanotaan lajeja, jotka kasvavat tavallisissa ympäristön lämpötiloissa ja joiden optimilämpötila on 20...30 °C. Tähän ryhmään kuuluu mm. tavallinen *Penicillium*. Termotoleranteille mikrobeille on tyypillistä, että ne kasvavat

hyvin suhteellisen korkeissakin lämpötiloissa, esim. 40 °C:ssa. Erinomaisia esimerkkejä tällaisista mikrobeista ovat sahalaitosten kuivaamoissa esiintyvät homeet, jotka lisääntyvät erityisesti kuivaamon häiriötilanteissa ja tuottavat uuden sienisukupolven jo parissa kymmenessä tunnissa. *Aspergillus fumigatus*, *Rhizopus nigricans* ja *Paecilomyces variotii* ovat sahojen termotolerantteja homeita. Aktinomykeettien joukosta löytyy sellaisia lajeja, jotka ovat todellisia termofiilejä ja tarvitsevat kasvaakseen korkean lämpötilan, 50...60 °C.

Muut ympäristötekijät

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen myös happea ja ravinteita.

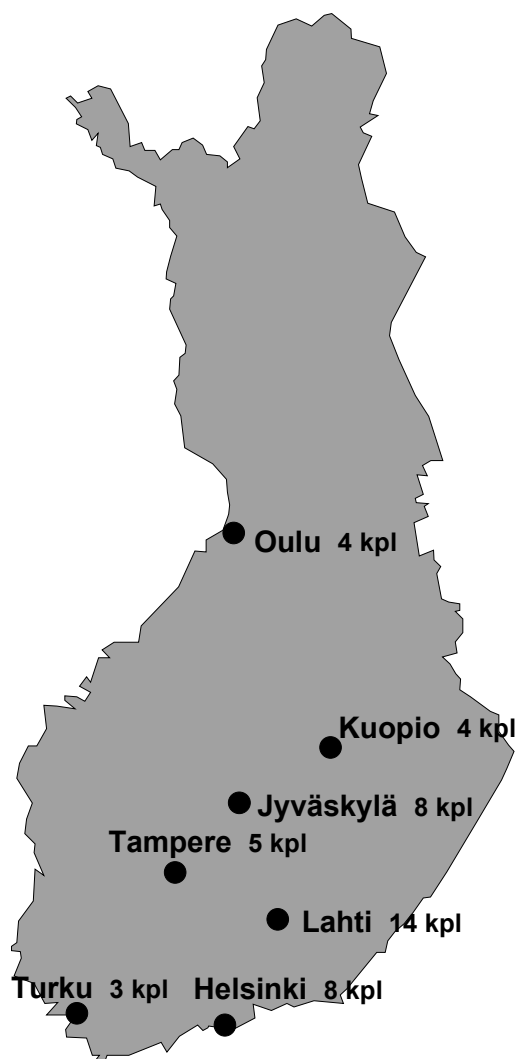
Hapensaanti rakenteissa ei yleensä ole ongelma eikä sen saantia rajoittamalla voida vaikuttaa homehtumisriskiin.

Ravinteiden suhteen homeet ovat varsin vaatimattomia, koska lähes kaikki eloperäinen materiaali kelpaa energianlähteeksi. Puu, kipsilevyn pahvi, tapetti ja muut selluloosapitoiset materiaalit sopivat monille mikrobeille, mutta useille riittää jopa tavallinen huonepöly.

3 TÄYTTÖKERROSTEN KOSTEUS- JA MIKROBIPITOISUUS: KENTTÄMITTAUKSET

3.1 Koekohteet ja rakenteet

Tutkimuskohteina oli 43 erillistä rakennusta eri puolilta Suomea (kuva 3.1). Kohteet valittiin seitsemästä kaupungista: Helsingistä, Turusta, Lahdesta, Tampereelta, Jyväskylästä, Kuopiosta ja Oulusta. Suurimmassa osassa kohteista ei ollut koskaan havaittu alapohjarakenteisiin liittyviä kosteus- tai homeongelmia.

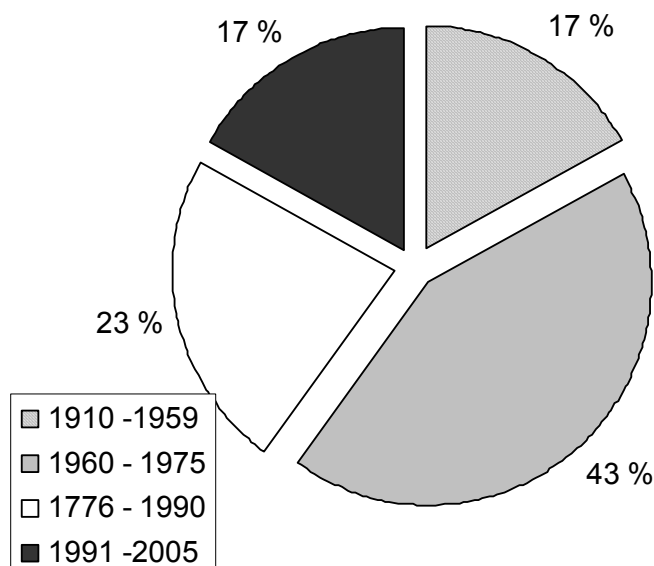


Kuva 3.1 Kohteiden ja yksittäisten näytteiden jakauma valtakunnallisesti. Kohteiden kokonaismäärä oli 46 kpl ja yksittäisten näytteiden 49 kpl.

Rakennusten valmistumis- tai käyttöönottovuosi vaihteli välillä 1910 – 2005 (kuva 3.2). Valtaosa tutkituista kohteista (43 %) oli valmistunut vuosina 1960 – 1975.

Tutkittavien rakennusten käyttötarkoitusta ei ollut rajattu etukäteen, mutta käytännössä suurin osa kohteista oli julkisessa käytössä, kuten päiväkotina, kouluina ja terveyskeskuksina sekä asuinrakennusten julkisina tiloina, kuten porras- ja

eteistiloina, varastoina tai teknisinä tiloina. Muutamassa kohteessa näytteet otettiin varsinaisista asuintiloista.



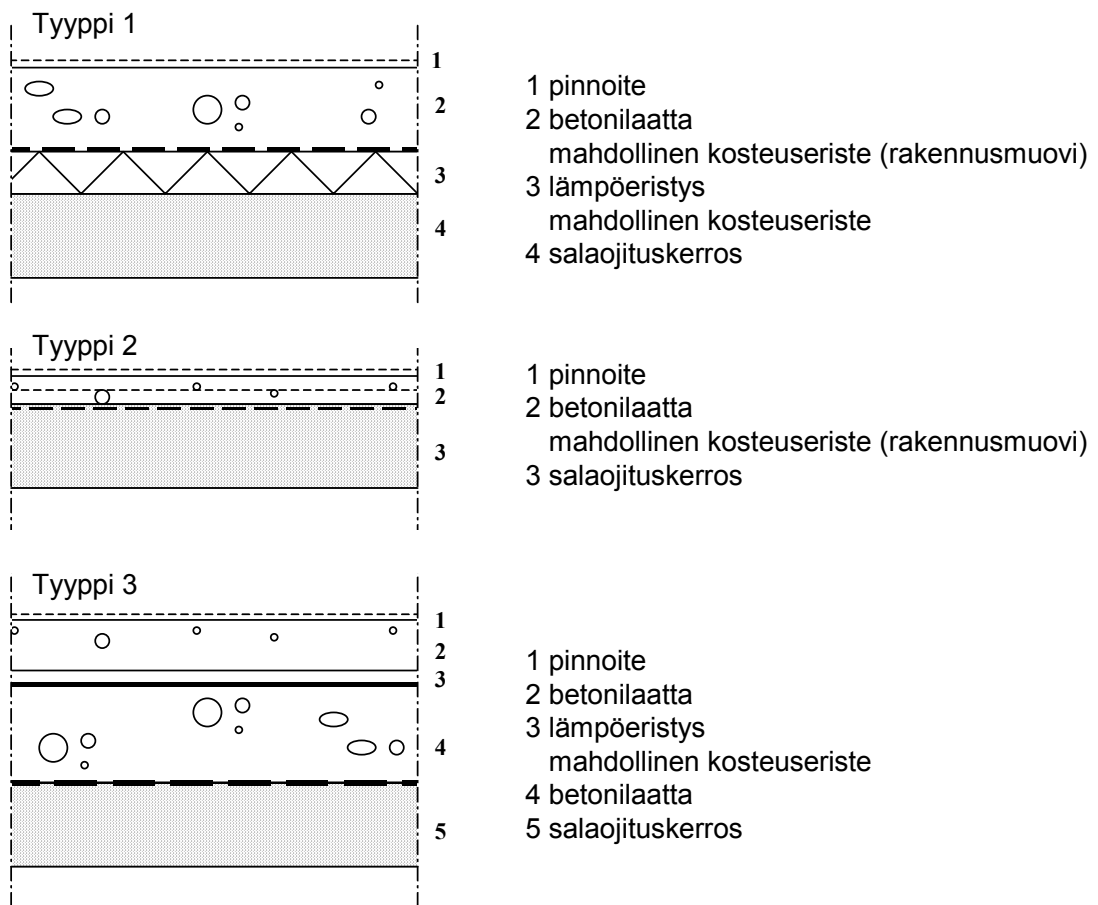
Kuva 3.2 Rakennusten prosentuaalinen ikäjakauma. Kohteiden kokonaismäärä oli 46 kpl.

Alapohjien rakenteiden yksityiskohdat vaihtelivat kohteittain, mutta pääsääntöisesti ne voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin:

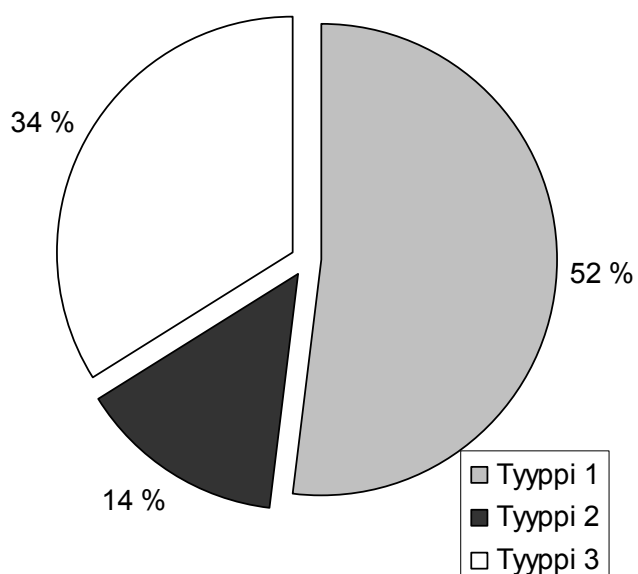
Tyyppi 1 alapohjarakenteet olivat alapuolelta lämpöeristettyjä paikalla valettuja betonilaattoja, joita käytetään nykyisin yleisesti sekä Suomessa että muualla Pohjoismaissa (kuva 3.3 a). Nykyisen Suomen Rakentamismääräyskokoelman mukaan rakenteeseen ei tarvitse asentaa erillistä höyrynsulkua, mutta joissakin kohteissa höyrynsulkumuovia oli kuitenkin käytetty kohteesta riippuen joko eristekerroksen ylä- tai alapuolella. Useimpien kohteiden eristemateriaalina oli solupolystyreeni (EPS). Muutamassa tapauksessa oli käytetty mineraalivillaa. Kaikissa uusimmissa tutkituissa rakennuksissa alapohjarakenne oli tyyppiä 1, tai jokin sen muunnoksista.

Tyyppi 2 rakennetta oli käytetty etenkin vanhimmissa kohteissa (kuva 3.3 b). Tässä tyyppissä alapohjalaatta on valettu suoraan täyttö- tai pohjamaan päälle ilman eristekerroksia.

Tyyppi 3 käsitti kaksoislaatta-alapohjat, joissa alempi paksumpi laatanosa oli yleensä valettu suoraan täytön päälle ja toimi kuormia jakavana rakenteena pohjamaalle tai paaluperustuksille (kuva 3.3 c). Pohja- ja pintalaatan välissä oli käytetty lukuisia eri yhdistelmiä lämmön- ja kosteudeneristyksiä. Useimmiten oli käytössä EPS -eriste, vuorivilla, höyrynsulkumuovi tai bitumieristys tai jokin näiden yhdistelmä.



Kuva 3.3 Tutkittujen alapohjien kolme päätyyppiä.



Kuva 3.4 Kohteiden prosentuaalinen jakauma alapohjatyypeittäin.

Laatan alapuolisina täyttömateriaaleina oli käytetty silttiä, hiekkaa, soraa ja joissain tapauksissa myös karkeaa murskettä. Silmämääräisen arvioinnin perusteella lähes kaikissa tutkituissa rakenteissa materiaali oli liian hienorakeista estääkseen täydellisesti kosteuden kapillaarisen kulkeutumisen laatan tai eristekerroksen alapintaan. Tämä siitäkkin huolimatta, että kerroksille tarkoitettujen materiaalien ohjekäyrät ovat olleet olemassa jo 30 vuotta (RIL –126, 1979).

Yksityiskohtaiset tiedot kohteista, näytteenottopisteiden rakenneleikkauksista ja materiaaleista on esitetty liitteessä 1.

3.2 Mittausmenetelmät

Tutkimuksen ensimmäinen osa toteutettiin kenttätutkimuksena ottamalla 49 näytettä eri puolilta Suomea alapohjalaattojen alapuolisista täyttökerroksista. Näytteet otettiin kahdesti: talvella ja loppukesällä. Pääosa näytteistä otettiin vuonna 2005, osa vuonna 2006. Näytteistä määritettiin sekä materiaalin vesipitoisuus että siinä esiintyvä mikrobikasvusto.

Näytteenotto

Ensimmäinen näytteenotto koekohteista suoritettiin helmi-huhtikuussa 2005. Kohteet kierrettiin alkaen Helsingistä helmikuun lopulla ja päätyen Ouluun huhtikuun alkupäivinä. Kohteiden maanvastaisiin betonilaattoihin porattiin Ø 100 mm reiät, joista otettiin materiaalinäytteet sekä laatan alapuolisesta täyttökerroksesta että mahdollisista eristekerroksista. Poraukset ja näytteenotto pyrittiin suorittamaan kaikissa kohteissa vähintään kahdesta pisteestä, läheltä rakennuksen ulkoseinälinjaa sekä laatan keskiosista. Suurin osa tutkituista rakennuksista oli kuitenkin aktiivisessa käytössä ja käytännössä poraukset jouduttiin suorittamaan pisteistä, joista rakennuksen toiminnolle aiheutui mahdollisimman vähän haittaa. Tästä syystä näytteenottopisteiden paikat eri rakennuksissa vaihtelivat suuresti. Rakennuksen sijoittuminen maastossa, näytteenottopisteiden sijainnit rakennuksessa, samoin kuin alapohjarakenteiden materiaalit ja kerrospaksuudet kirjattiin huolellisesti ylös jokaisen porauksen yhteydessä. Yksittäisten kohteiden tiedot on eritelty tarkemmin liitteessä 1.

Poraus suoritettiin vesijähdytteisellä timanttiporalla, jolla betonilaatta ja pinnoitemateriaalit puhkaistiin halutuista kohdista. Porauksessa pyrittiin jättämään laatan alapuoliset lämpö- ja kosteuseristekerrokset ehjiksi. Porausta ei jatkettu eristekerroksen läpi, jolloin poran jäähdytysvesi ei kastellut alapuolista täyttöä. Irrotettu laatan kappale nostettiin ylös ja rakenteiden kerrospaksuudet mitattiin ja kuvattiin huolellisesti. Porareikä kuivattiin teollisuusimurilla ennen eristekerrosten avaamista. Mikäli rakenteessa ei ollut betonin ja täyttökerroksen toisistaan eristävää vedenpitävää kerrosta (eristettä tai rakennusmuovia) tai ne vahingoittuivat porauksen yhteydessä, ensimmäisellä näytteenottokerralla ei täyttökerroksesta mitattu vesipitoisuuksia lainkaan.



Kuva 3.5 Poraus ja näytteenotto kenttäkokeissa.

Täyttökerroksen pinnasta otettiin steriloiduilla näytteenottimilla mikrobinäyte (10 ... 50 g), joka suljettiin tiiviisti ilmanpitävään pussiin. Näytteitä varastoitettiin kylmälaukuissa ja myöhemmin jääkaapissa korkeintaan muutamia päiviä ennen lähettämistä analysoitaviksi Turun yliopiston Aerobiologian yksikköön.

Mikrobinäytteenoton jälkeen täyttökerroksesta nostettiin 100 ... 600 g suuruinen näyte-erä vesipitoisuuden määrittämistä varten. Näytteet suljettiin ilman- ja vedenpitäviin pusseihin ja niitä säilytettiin korkeintaan 1 vrk ajan kylmälaukussa ennen ensimmäistä punnitusta. Näytteet kuvattiin ja niiden rakeisuusmäärittäminen suoritettiin silmämääräisesti kuivatuista näytteistä.

Joissakin tapauksissa eristekerroksista ja muista rakennekerroksista otettiin materiaalinäytteet, jotka lähetettiin mikrobianalyysiin maanäytteiden mukana. Myös näitä näytteitä säilytettiin samalla tavoin kylmälaukuissa ja jääkaapissa ennen analysointiin lähettämistä. Mikäli täyttökerroksen yläpuolinen eristekerros ei ollut porauksen yhteydessä kastunut esimerkiksi laatan ja eristeen eristävän muovin tai kahden päällekkäisen eristekerroksen takia, eristemateriaaleista otettiin näytteet (100 ... 250 g) kosteuspitoisuuden määrittämistä varten.

Näytteenoton jälkeen vahingoittuneet eristekerrokset korvattiin uusilla EPS-kappaleilla. Porareikä suljettiin irti poratulla laatan holkkikappaleella, joka tiivistettiin vedenpitävästi paikalleen kosteudenkestävällä silikonilla.

Uusintänäytteet samoista pisteistä otettiin puoli vuotta myöhemmin elokuussa 2005. Toisella näytteenottokerralla määritettiin ainoastaan täyttökerroksen vesi- ja mikrobipitoisuudet. Tällä kertaa tiivistetyt tulppakappaleet irrotettiin kuivamenetelmillä, joten vesipitoisuudet voitiin luotettavasti määrittää kaikista näytepisteistä.

Näytteiden analysointi:

Mikrobit

Mikrobiologiset analyysit kaikille maa- ja materiaalinäytteille tehtiin Turun yliopiston Aerobiologian yksikössä. Menetelmänä käytettiin kvantitatiivista analyysia, jossa suoritettiin viljelyyn perustuva suku- tai lajitason tunnistus. Kvantitatiivisessa menetelmässä materiaalinäytteestä punnitaan esimerkiksi 1 g:n osanäyte, joka laitetaan laimennosveteen. Ravistelemalla tai ultraäänikäsittelyn avulla irrotetaan mikrobit, itiöt ja rihmaston kappaleet nesteeseen. Nesteestä tehdään laimennossarja, jonka kustakin laimennoksesta tehdään viljelyt eri elatusalustoille kasvatusta varten. Kasvatuksen jälkeen pesäkkeet lasketaan ja tunnistetaan. Tulos ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden (*pmv*) määränä näytegrammaa kohti ($pmv/g = cfu/g$).

Kasvatusalustoina käytettiin tryptoni-hiivauute-glukoosiagarua (THG) bakteerien ja aktinomykeettien kasvatuksessa ja mallasuuteagarua (MEA) mesofiilisten hiiva- ja homesienten sekä basidiomykeettien kasvatuksessa. Inkubointilämpötila oli +25 °C. Inkubointiaika oli 7 vrk kokonaisbakteeri- ja sienikoloniamäärien määrittämisessä, 7-14 vrk sienilajien määrittämisessä ja 10-14 vrk aktinomykeettien tyypityksessä. Analyysitulokset ilmoitettiin kasvuston muodostavien yksiköiden määränä yhdessä grammassa tutkittavaa materiaalia, *cfu/g*.

Vesipitoisuus

Maanäytteiden vesipitoisuusanalyysit suoritettiin TTY:n rakennetekniikan laboratoriossa. Menetelmänä käytettiin yksinkertaista punnitus-kuivatus-punnitus – menetelmää, jossa kostean näytteen painosta vähennetään uunikuivatun näytteen paino. Vaakana käytettiin elektronivaakaa vakioituissa olosuhteissa, jonka tarkkuus oli gramman tuhannesosa. Punnitusten välillä karkearakeisia näytteitä kuivattiin vähintään 12 tunnin ajan 105° -asteisessa kiertoilmauunissa. Täyttökerrosten maalajimääritykset tehtiin silmämääräisesti näytteenottoaikalla tai otettujen maanäytteiden perusteella.

Eriste- ja rakennekerrosten kosteuspitoisuuden määritykset tehtiin maanäytteiden tapaan punnitus-kuivatus-punnitus – menetelmällä. Maanäytteistä poiketen eristeiden kuivatus tehtiin silicalla ilmatiiwiissä rasiassa, jossa näytekappaleita säilytettiin, kunnes niiden painossa ei enää kontrollipunnituksissa havaittu muutoksia.

3.3 Täyttökerrosten vesipitoisuudet

Täyttökerroksista otetuista näytteistä määritetyt vesipitoisuudet *w* on annettu painoprosentteina näytteen kuivapainosta:

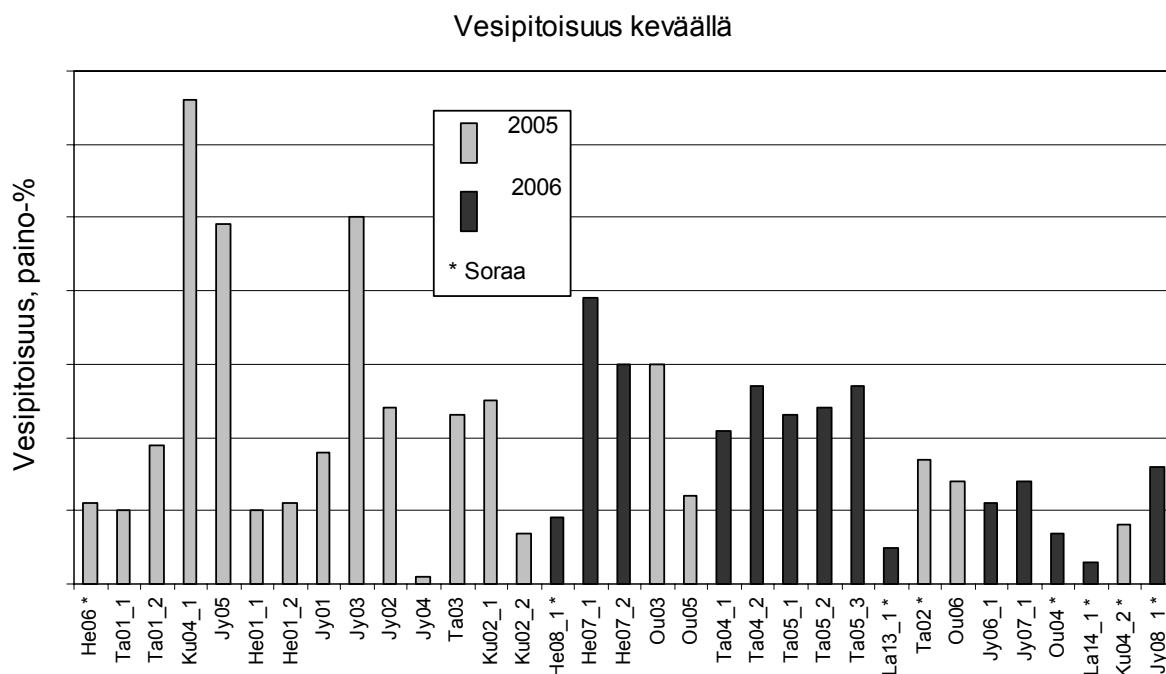
$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100\%$$

missä M_w on näytteestä kuivatuksen aikana poistunut vesimäärä $M_w = M - M_s$, M on näytteen alkuperäinen kokonaispaino ja M_s on näytteen kuivapaino.

Suomen olosuhteissa pohjaveden taso on alimmillaan kevättalvella ennen roudan sulamista. Pohjaveden pinnan taso vaihtelee yleisesti jopa useilla metreillä syksyn ja kevättalven välillä, mikä osaltaan voi aiheuttaa muutoksia täyttökerrosten vesipitoisuuksissa vesilähteen etäisyyden muuttuessa mittaustasosta (kuva 2.4).

Lämmityskaudella lämpövirta alapohjan läpi aiheuttaa täyttökerroksiin lämpögradientin kerrosten yläosien ollessa jonkin verran alaosia lämpimämpiä. Lämpögradientti aiheuttaa täyttökerrokseen diffuusiivirtauksen, joka suuntautuu kohti alempia ja viileämpiä maakerroksia. Lämmityskaudella diffuusio voi kuivattaa etenkin täyttökerrosten yläosia lähellä lämpimiä alapohjarakenteita, mikäli kerros toimii hygroskooppisella alueella. Mikäli täyttökerros ja sen yläosat toimivat kapillaarisella alueella, veden kapillaarinen siirtyminen kerroksessa ylöspäin on yleensä aina voimakkaampaa kuin lämpötilagradientin aiheuttama kuivattava diffuusiivirtaus (Raudkivi ja Van U'u 1976).

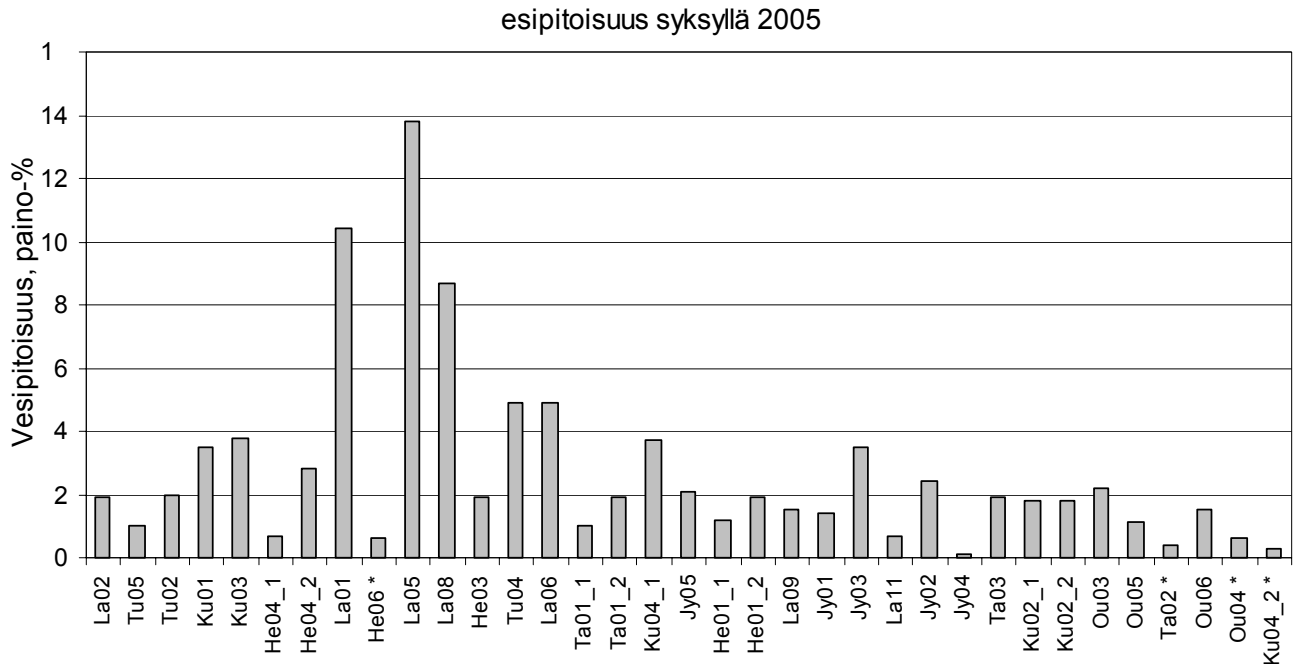
Kuvassa 3.6 on esitetty vesipitoisuudet määritettyinä 33 tutkitusta maanäytteestä kevättalven 2005 tai 2006 mittauskierroksella. Kuvassa 3.7 on esitetty kohteista mitatut vesipitoisuudet elokuussa 2005 ja 2006.



Kuva 3.6 Täyttökerroksista otetuista maanäytteistä määritetyt vesipitoisuudet 33 mittauspisteessä. Mittausajankohta helmi - maaliskuu 2005 tai 2006.

Laboratoriokokeiden perusteella karkeiden täyttökerrosten hygroskooppinen tasapainokosteus korkeassa suhteellisessa kosteudessa ($RH \approx 100\%$) on alle 1

painoprosenttia (kuva 2.6). Kuvan 3.6 mittaustulosten perusteella täyttökerrosten yläosien vesipitoisuudet ylittävät lähes kaikissa mitatuissa kohteissa tämän raja-arvon. Käytännössä tämä merkitsee, että täytön huokosilman suhteellinen kosteus on vastaavasti hyvin korkea $RH \approx 100\%$. Tapauksissa, joissa vesipitoisuus on selvästi yli hygroskooppisen tasapainokosteuden, täytön yläosat toimivat ainakin osittain kapillaarisella alueella (kuva 4).



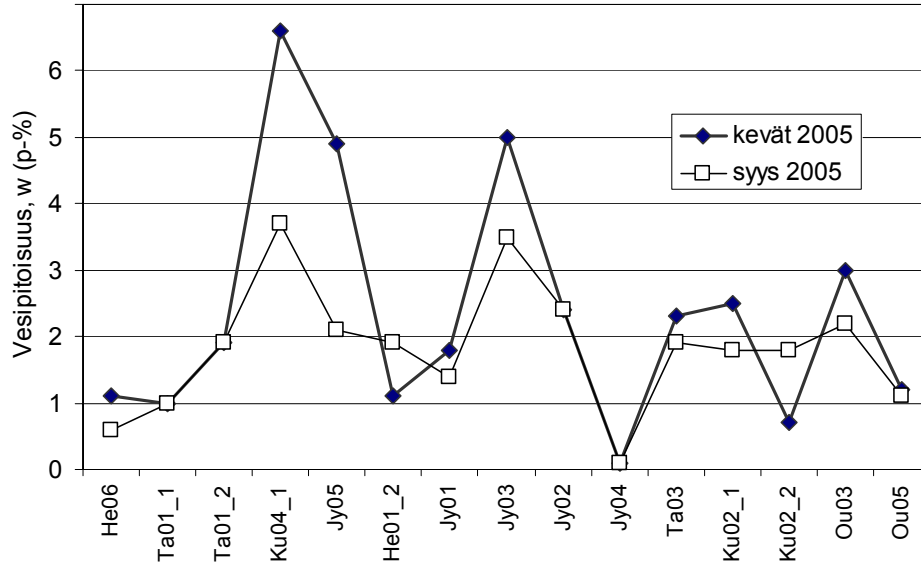
Kuva 3.7 Täyttökerroksista otetuista maanäytteistä määritetyt vesipitoisuudet 35 mittauspisteessä. Mittausajankohta elokuu 2005.

Vain kohteesta Jy04 saatiin mittauksissa erittäin alhainen vesipitoisuus sekä keväällä että syksyllä (kuvat 3.6, 3.7 ja 3.8). Kohteen Jy04 mittaukset suoritettiin lämmönjakohuoneen lattiasta, jonka alta läheltä mittauspistettä kulki kaukolämpöverkon syöttölinja. Tutkittu hiekkänäyte oli otettaessa erittäin kuiva ja lämmin johtuen kaukolämpöputken läheisyydestä. Lisäksi rakennus oli korkean harjun päällä, jossa pintavedet oli tehokkaasti johdettu pois rakennuksen perustuksista. Näistä syistä molemmat kohteesta otetut näytteet olivat poikkeuksellisen kuivia (kuvat 3.6 ja 3.8).

Vesipitoisuuden muutokset täyttökerroksessa kahden näytteenottokerran välillä voitiin luotettavasti kirjata vain 19 kohteesta (kuva 3.8). Täyttökerrosten keskimääräiset vesipitoisuudet riippuvat monesta eri rakenteisiin ja olosuhteisiin vaikuttavasta tekijästä, kuten rakennuksen sijainnista maastossa, täyttökerrosten rakeisuudesta ja rakennepaksuuksista, salaojituksen toimivuudesta ja pinta- ja kattovesien ohjautumisesta pois rakennuspohjasta. Tämän lisäksi yksittäisellä ajanhetkellä mitattuihin vesi- ja kosteuspitoisuuksiin vaikuttavat pitkä- ja lyhytaikaiset ilmasto- ja säätekijät: routa ja sen sulaminen, sademäärä, pohjaveden pinnankorkeus ja pintavesien tunkeutuminen rakennuspohjaan.

Kausittaisia muutoksia täyttökerrosten vesipitoisuuksissa on havaittu sekä aiemmin suoritetuissa pitkäaikaisseurannoissa (kuva 2.5) että tämän tutkimuksen yhteydessä

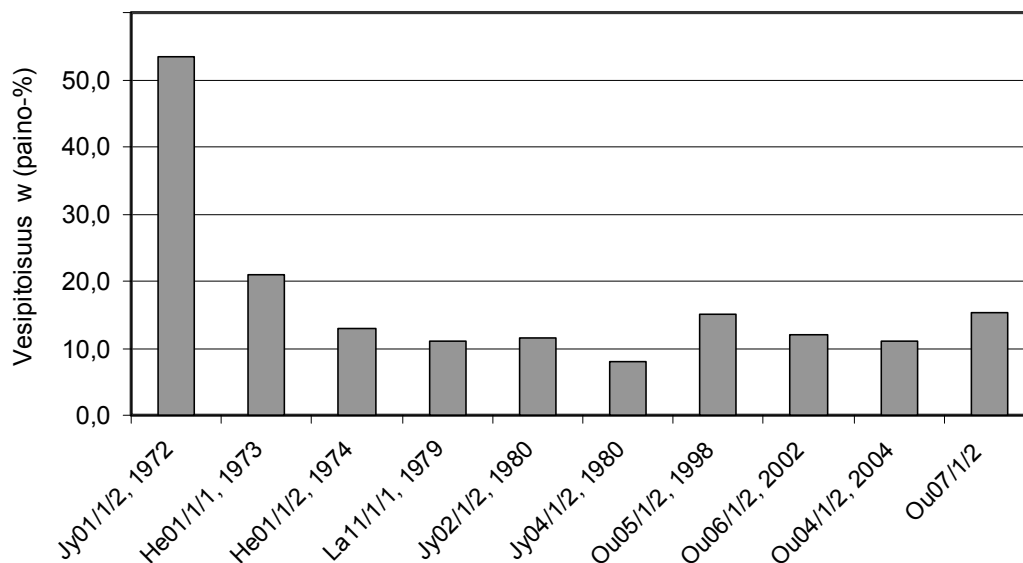
kevättalven ja loppukesän mittausten välillä (kuva 3.8). Muutokset voivat joissain tapauksissa olla useiden painoprosenttiyksikköjen suuruisia, jolloin kyse on todennäköisesti kapillaarisesti tai painovoimaisesti rakennuspohjaan nousevan tai kulkeutuvan veden lisääntymisestä ja vähenemisestä. Mittauksissa muutokset olivat yleensä melko pieniä.



Kuva 3.8 Muutokset täyttökerrosten vesipitoisuuksissa kevättalven ja loppukesän 2005 näytteenotokertojen välillä.

3.4 Eristekerrosten vesipitoisuudet

Eristekerrosten vesipitoisuudet määritettiin ensimmäisellä näytteenotokerralla kohteista, joista näytepalat saatiin kerättyä ilman, että porausvedet kastelivat näytteet. Eristekerroksista määritetyt vesipitoisuudet on esitetty painoprosentteina näytteen kuivapainosta kuvassa 3.9.



Kuva 3.9 Eristekerroksista (EPS) määritetyt vesipitoisuudet painoprosentteina näytteen kuivapainosta.

EPS –eristeistä mitatut vesipitoisuudet vaihtelivat yleensä 8...20 painoprosentin välillä. Rakenteen iällä ei ollut suurtakaan vaikutusta eristekerroksista mitattuihin kosteuspitoisuuksiin. Lisäksi vesipitoisuudet vanhoissakin kohteissa olivat yleensä niin pieniä, ettei niillä ole käytännön vaikutusta kerrosten toimintaan lämmöneristeinä (McFadden 1986, 1988).

Kohteen ja näytteen Jy01/1/2 kohdalla kyseessä oli poikkeustapaus, jossa rakennuksen ilmastointilaitetuoneen lattiarakenteeseen oli eristekerroksen alle asennettu tiivis rakennusmuovi. Laitetuoneen sisäilman kosteus ja lämpötila ovat rakennuksen koko elinkaaren ajan olleet korkeat, ja kosteusvirran suunta pysyvästi sekä kuivuvasta laatasta että myöhemmin sisäilmasta kohti pohjamaata. Tiivis muovi eristekerroksen alla on estänyt kosteuden siirtymisen pohjamaahan ja eristekerros on päässyt kostumaan melko pahoin kuluneiden 30 vuoden aikana. Mitattu kosteuspitoisuus eristeessä oli yli 50 painoprosenttia.

3.5 Täyttökerrosten mikrobipitoisuudet

Kohteiden täyttökerroksista otetuista maanäytteistä viljeltyjen kvantitatiivisten analyysien tulokset on seuraavassa esitetty erikseen aktinomykeetti –bakteerien ja indikaattorihomeiden, sekä muiden bakteeri- ja homelajien osalta.

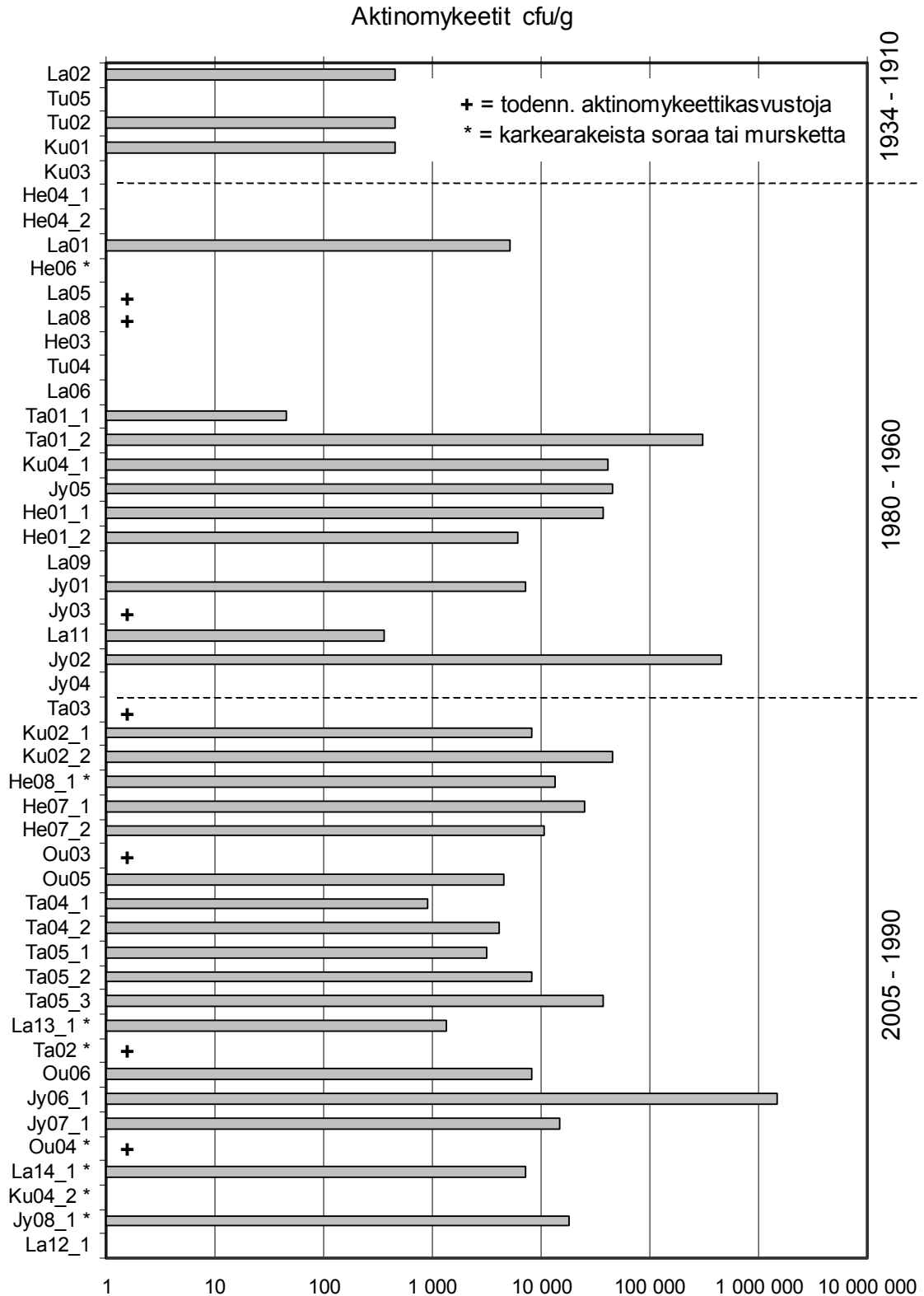
Aktinomykeetit

Kuvassa 3.10 on esitetty maanäytteistä lasketut aktinomykeetti –bakteerikolonioiden lukumäärät 10 ... 14 vuorokauden viljelyn jälkeen THG -kasvualustalla. Inkibointilämpötila oli +25 °C. Pitoisuudet on annettu kolonioiden lukumääränä yhdessä grammassa materiaalinäytettä, *cfu/g*. Pienin analyyseissä havaittava pitoisuus vaihteli välillä 45 ... 89 *cfu/g*.

Maanäytteet on otettu kevättalvella 2005. Joissakin näytteissä bakteeripesäkkeiden kokonaisuudet nousivat niin suuriksi (esim. La05, La08, Jy03, Ta03, Ou03 ja Ta02, vrt. kuva 16), ettei aktinomykeettikolonioita voitu varmuudella erottaa muusta bakteerikasvustosta. Näissä tapauksissa kuvaan 15 on lisätty '+' –merkki ilmaisemaan näytteen suurta todennäköisyyttä sisältää aktinomykeettikolonioita muun bakteerikasvuston lisäksi.

Aktinomykeettikasvustot osoittautuivat hyvin yleisiksi täyttökerroksissa. Kolonioita löytyi 75 % kaikista otetuista näytteistä (kuva 15). Kasvustojen runsaudessa oli suuria eroja. Suurin pitoisuus määritettiin näytteestä Jy06_1, jossa pitoisuus oli 1 484 000 *cfu/g*.

Sosiaali- ja terveysministeriön rakennusmateriaaleja koskevien ohjeiden mukaan näytteessä voidaan katsoa esiintyvän aktinomykeettikasvustoa, jos näytteen pitoisuus ylittää 500 *cfu/g*. Tämä raja-arvo ylittyi lähes kaikissa näytteissä, joista aktinomykeettejä tavattiin. Rakennusmateriaaleja koskevia ministeriön raja-arvoja ei kuitenkaan voida soveltaa maanäytteisiin.



Kuva 3.10 Maanäytteistä viljelemällä määritetyt aktinomykeetti -bakteerikolonioiden lukumäärät yhdessä grammassa näyttemateriaalia (cfu/g). Maanäytteet on lueteltu rakennuksen käyttöönottovuoden mukaisessa järjestyksessä vanhimman rakennuksen ollessa ylimpänä.

Muu bakteerikasvusto

Kuvassa 3.11 on esitetty maanäytteistä viljelemällä määritetyt bakteeripitoisuudet. Kokonaisbakteerimäärät määritettiin 7 vuorokauden viljelyn jälkeen THG-kasvualustalla inkubointilämpötilassa +25 °C.

Bakteerikasvustoa löytyi käytännössä kaikista tutkituista eli noin 97 % näytteistä mutta pitoisuudet vaihtelivat huomattavasti. Alin havaittu pitoisuus analyyseissä vaihteli välillä 45 ... 89 cfu/g. Joissakin näytteissä (La05, La08, Jy03, Jy02, Ta03, Ou03) pitoisuudet olivat erittäin suuria, yli 10 000 000 cfu/g (kuva 16).

Näytteen Ou03 pitoisuus oli yli 25 000 000 cfu/g. Kohde Ou03 oli keskusta-alueella asuinrakennuksen kellarissa sijaitseva parkkihalli. Kahden metrin päässä mittauspisteestä oli rakennuksen jätteenkeruupiste ja sadevesiviemäri, joiden läheisyys saattoi vaikuttaa korkeisiin bakteeripitoisuuksiin täyttökerroksissa.

Indikaattorihomeet

Kuvassa 3.12 on esitetty maanäytteistä määritetyt indikaattorihomepitoisuudet 7...14 vuorokauden viljelyn jälkeen MEA –kasvualustalla ja inkubointilämpötilassa +25 °C. Turun Yliopiston Aerobiologian yksikön käyttämät indikaattorilajit on lueteltu kappaleessa 2.2.

Indikaattorihomeita löydettiin 55 % maanäytteistä. Noin 20 % näytteistä sisälsi toksiineja tuottavia homesieniä. Yleisimpiä tavattuja indikaattorilajeja olivat *Acremonium*, jota esiintyi 34 % näytteistä, *Fusarium* (14 %), *Oidiodendron* (10 %), *Aspergillus versicolor* (6 %), *Exophiala* (4 %), *Phialophora* (4 %) sekä *Rhodotorula* ja *Trichoderma* (2 %). *Acremonium* ja *Oidiodendron* ovat tutkimuslaboratorion (Turun Yliopisto, Aerobiologian yksikkö) omia indikaattorihomeisiin lisäämiä lajeja. Nämä lajit perustuvat laboratorion pitkäaikaiseen kokemukseen kosteusvaurioituneiden rakennusmateriaalien mikrobeista.

Indikaattorihomeita löytyi vain satunnaisesti 1960-, 70- ja 80 –luvuilla rakennetuista kohteista, kun taas tätä uudemmissa rakennuksissa indikaattorihomeet olivat hyvin yleisiä ja toksiineja tuottavia lajeja löytyi 30 % tutkituista kohteista.

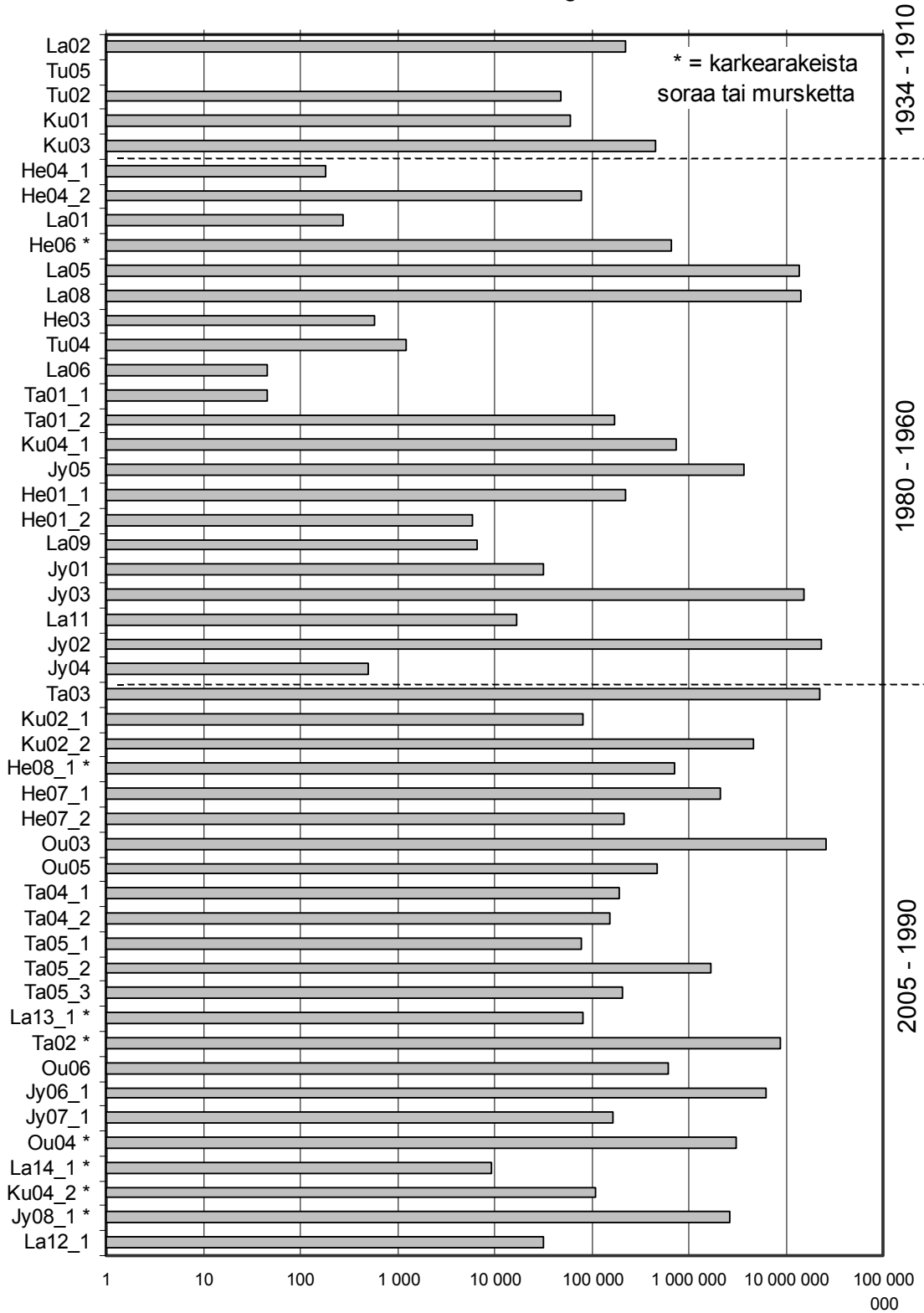
Muu homekasvusto

Kuvassa 3.13 on esitetty maanäytteiden homekasvustopitoisuudet 7 vuorokauden kasvatuksen jälkeen MEA –kasvatusalustalla ja inkubointilämpötilassa +25 °C.

Homekasvustoja löytyi 59 % tutkituista näytteistä. Homesienten esiintyminen näyttäisi olevan ainakin jossain määrin riippuvainen rakennuksen iästä. Kasvusto oli vähäisempää vanhimmissa rakennuksissa, eikä 1930-luvulla rakennettujen tai sitä vanhempien rakennusten näytteistä löydetty lainkaan homesienikasvustoja. Täyttökerroksen olosuhteet, lämpötila ja vesipitoisuudet (kuva 12), olisivat mahdollistaneet kasvun.

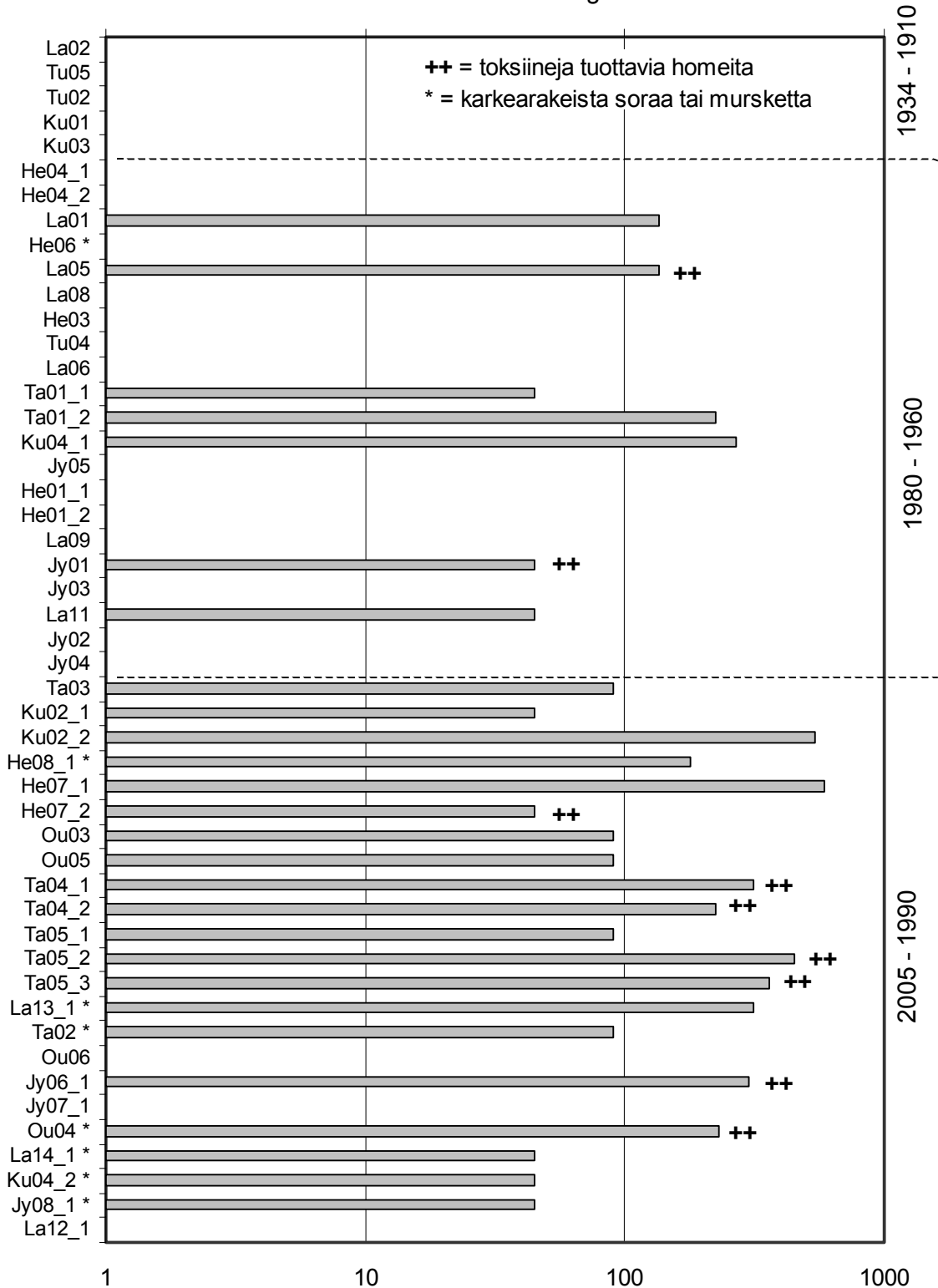
1960-, 70 – ja 80 –luvuilla rakennetuissa alapohjissa homesienikasvustoja esiintyi vain satunnaisesti. 1990 –luvulla rakennetuissa ja sitä uudemmissa kohteissa homesienikasvustot olivat varsin yleisiä ja niiden pitoisuudet yleensä runsaita.

Muut bakteerit cfu/g



Kuva 3.11 Näytteistä viljelemällä mitatut bakteerikolonioiden kokonaismäärät yhdessä grammassa näyttemateriaalia (cfu/g).

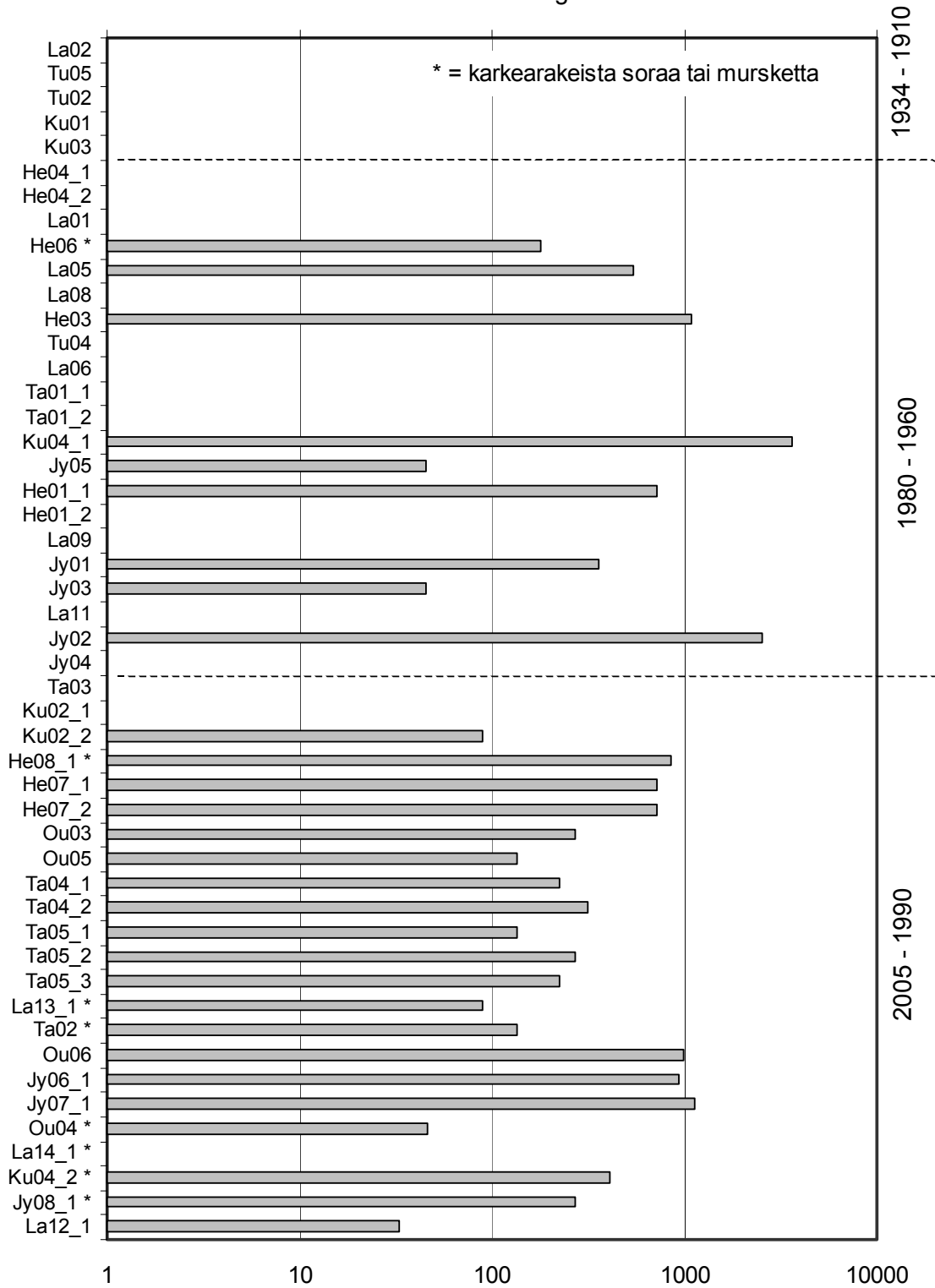
Indikaattorihomeet cfu/g



Kuva 3.12

Näytteistä viljelemällä mitatut indikaattorihomepitoisuudet yhdessä grammassa näytemateriaalia (cfu/g). '++' -merkityissä näytteissä havaittiin toksiineja tuottavia indikaattorihomelajeja.

Muut homeet cfu/g



Kuva 3.13 Näytteistä viljelemällä mitatut muiden kuin indikaattorilajien homekolonioiden lukumäärät yhdessä grammassa näytemateriaalia (cfu/g).

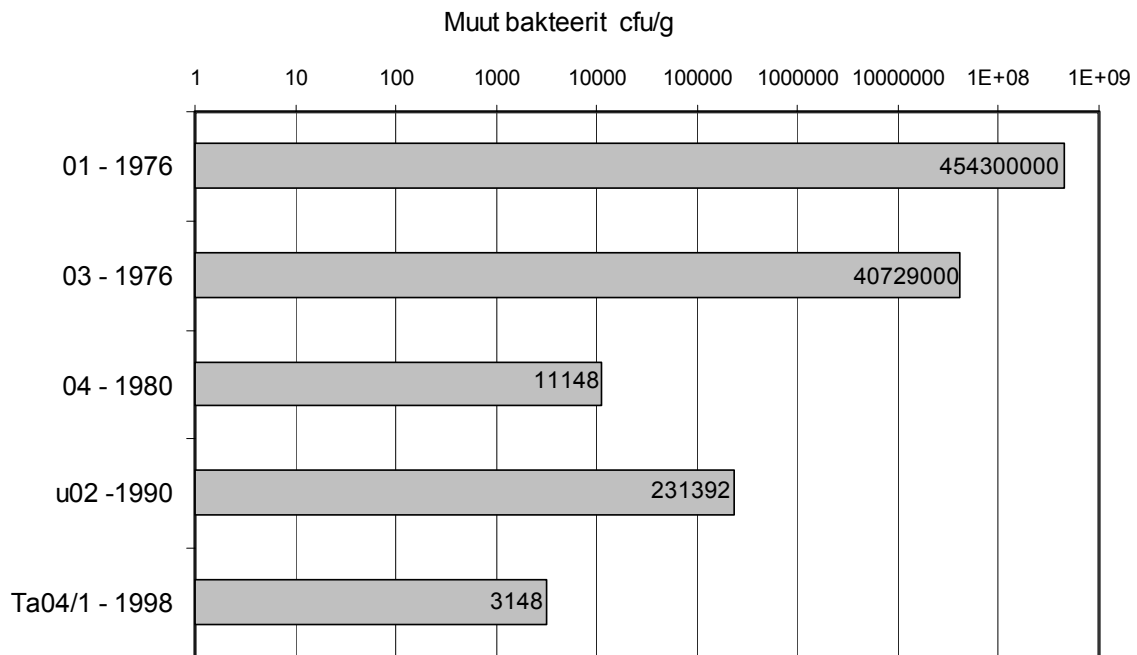
3.6 Eristekerrosten mikrobipitoisuudet

Joistakin otetuista eristenäytteistä (EPS) määritettiin bakteri- ja homesienipitoisuudet maanäytteiden tapaan viljelyn ja kvantitatiivisen analyysin avulla. Eristekerrosten bakteripitoisuudet vaihtelivat huomattavasti kohteesta riippuen. Kuvassa 3.14 on esitetty viiden eristenäytteen bakteripitoisuudet kevättalven mittauskierrokselta.

Kohteen Jy01 bakteripitoisuus oli yli 450 000 000 cfu/g. Tämä johtui eristekerroksen poikkeuksellisen korkeasta kosteuspitoisuudesta (kuva 3.9) ja huonetilan korkeasta lämpötilasta ilmastointikonehuoneessa. Kohteessa Jy03 tilanne oli saman tapainen (> 40 000 000 cfu/g). Myös täällä eristekerroksen alla oli rakennusmuovi, mikä estää kosteusvirran eristekerroksen läpi pohjamaahan ja nostaa eristeen kosteuspitoisuutta.

Kuvan 3.14 tutkituista eristenäytteistä tavattiin sekä homesienikasvustoja että indikaattorilajeja kohdetta Jy04 lukuunottamatta. Kohde Jy04 oli lämmityshuoneen lattiassa, jossa lattian alapuolella kulki kaukolämpöverkon syöttöputki. Tästä syystä täyttökerros oli erittäin kuiva ja myös kohteesta otetuissa maanäytteissä (kuvat 3.10, 3.11, 3.12 ja 3.13) tavattiin poikkeuksellisen vähän mikrobikasvustoa.

EPS-eristeistä tavattuja indikaattorilajeja olivat *Acremonium*, *Fusarium*, *Aspergillus versicolor*, *Oidiodendron* ja *Rhodotorula*.



Kuva 3.14 Bakterikasvustot eristenäytteissä (EPS).

Kohteen Ta04/1 EPS -eristeestä (h = 100mm) otettiin erilliset näytteet sekä eristeen yläpinnasta välittömästi laatan alapuolelta että alapinnasta hiekkatäyttöä vasten olevasta kerroksesta. Laattaa vasten eristeen yläosasta ei löydetty lainkaan mikrobeja, kun taas täyttöä vasten olevasta kerroksesta löydettiin runsaasti aktinomykeettejä (20 236 cfu/g) ja muita bakteereja 3148 cfu/g, sekä homesienten indikaattorilajeja

Fusarium 13 491 cfu/g ja *Acremonium* 11 242 cfu/g. Samassa pisteessä täyttökerroksessa sekä aktinomykeettipitoisuudet (900 cfu/g) että homesienipitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat (*Fusarium* 135 cfu/g, *Acremonium* 180 cfu/g). Täyttöhiekkan vesipitoisuus oli 2,1 paino-%.

Joissakin tapauksissa EPS-eristeiden olosuhteet näyttävät olevan jopa pohjamaata otollisemmat mikrobikasvulle, varsinkin jos kerrosten kosteuspitoisuus on jostain syystä päässyt kohoamaan, esimerkiksi alapuolisen höyrünsulun takia. Mikrobikasvua on erityisesti eristekerrosten alaosissa, jotka ovat kontaktissa täyttökerrosten kanssa ja jossa eristeen kosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus on korkein.

3.7 Alapohjarakenteiden materiaalien pitkäaikaiskestävyys

Näytteenoton yhteydessä tutkittiin silmämääräisesti myös alapohjien rakennekerrosten ja -materiaalien kunto.

EPS –eristekerrokset vaikuttivat kaikissa tutkituissa kohteissa hyväkuntoisilta. Ne olivat säilyttäneet hyvin muotonsa myös kaikkein vanhimmissa tutkituissa sovelluskohteissa, jotka oli rakennettu 1970 –luvun alussa.

Myös rakenteissa käytetyt rakennusmuovit olivat kaikissa kohteissa säilyneet hyväkuntoisina. Vanhimmat kohteet olivat yli 30 vuoden ikäisiä.

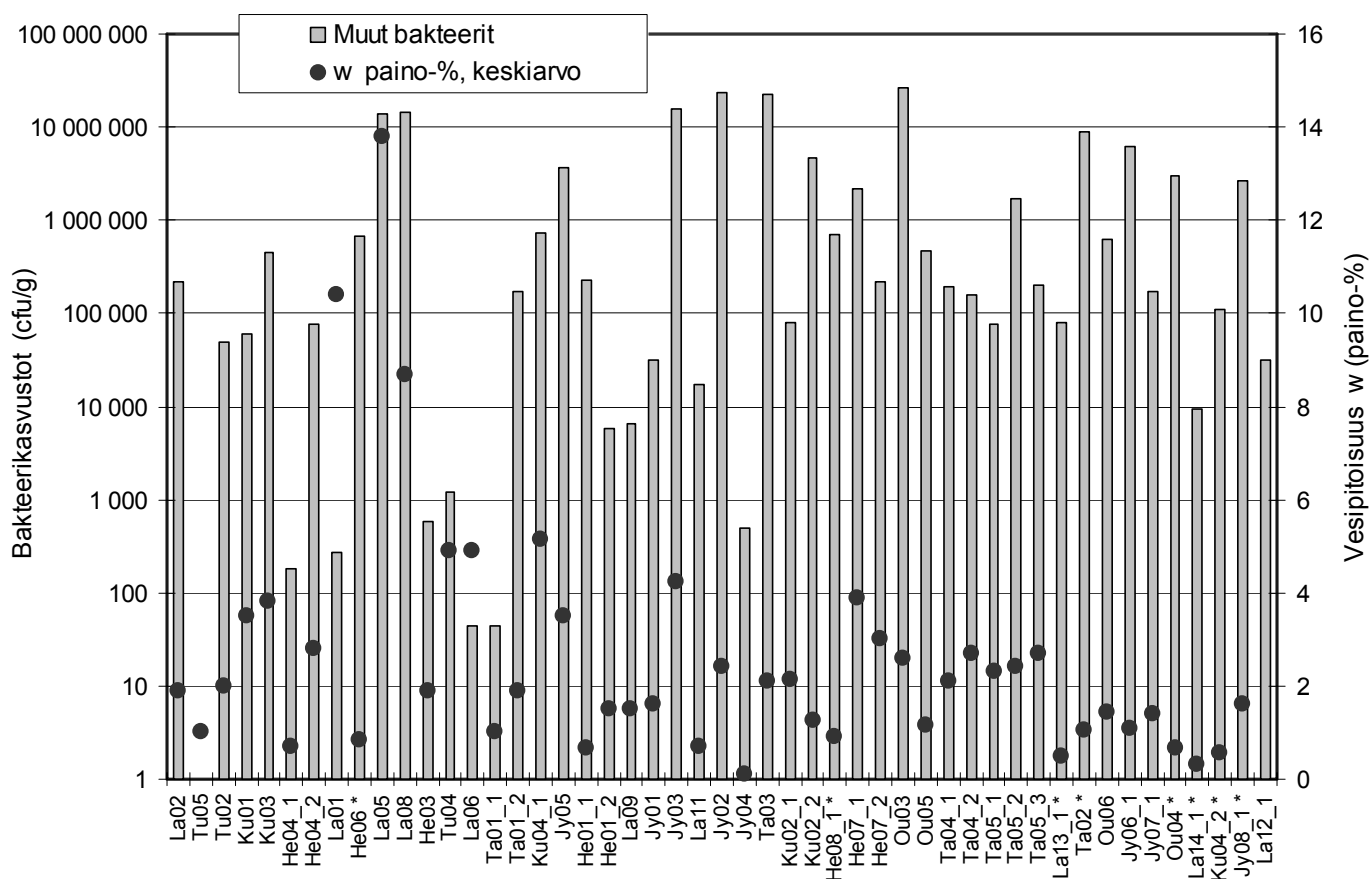
Kaksoislaattarakenteissa eristekerroksina käytetyt Tojax –levyt olivat pahasti vaurioituneet, joissain tapauksissa jopa maatuneet.

3.8 Kenttäkokeiden vertailu ja yhteenveto

Seuraavassa kenttäkokeiden näytteistä mitattuja mikrobipitoisuuksia on verrattu näytteiden keskimääräisiin vesipitoisuuksiin ja alapohjan valmistumisajankohtaan.

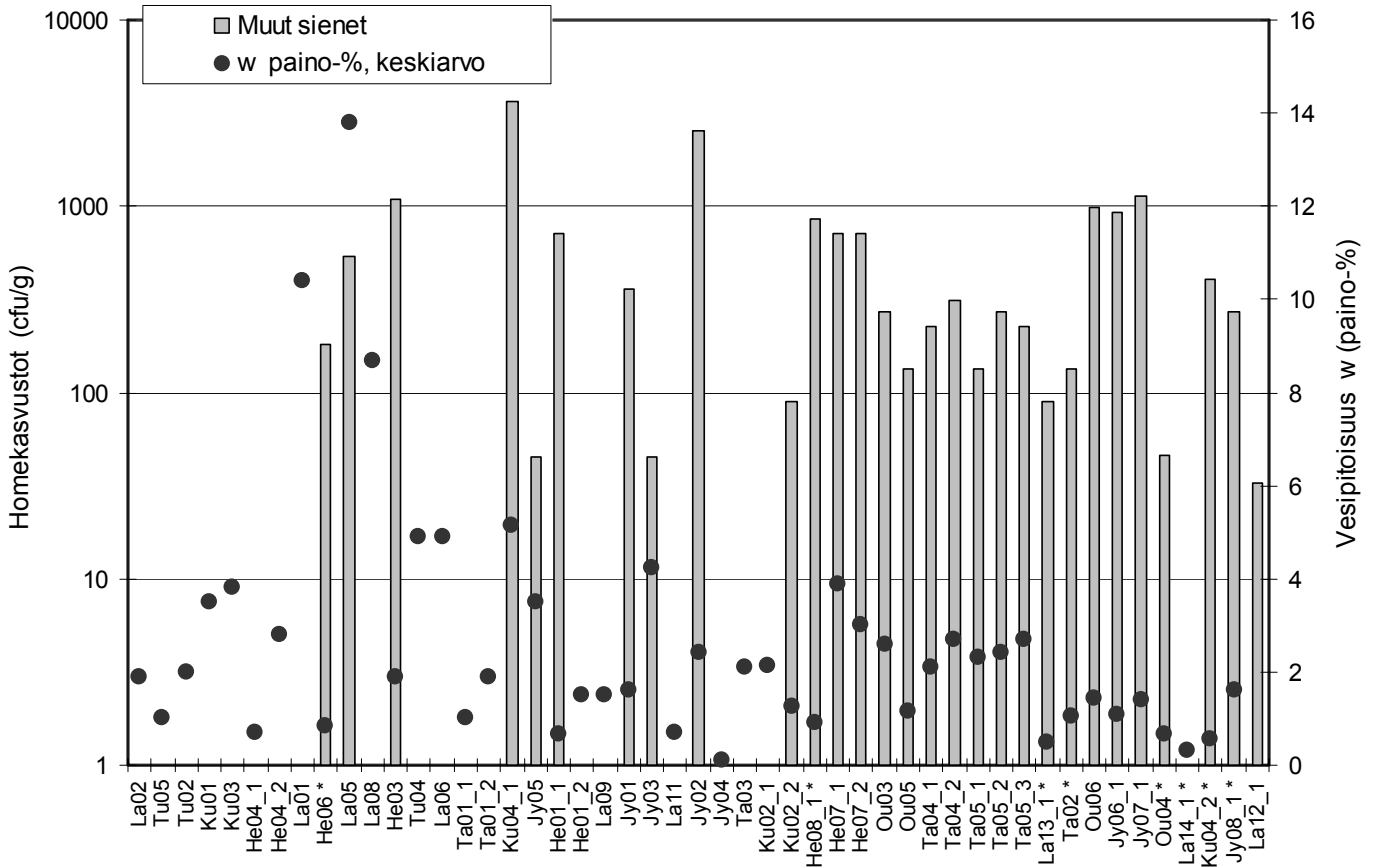
Bakteerikasvustoa samoin kuin aktinomykeettejäkin löydettiin lähes kaikista otetuista näytteistä rakennuksen iästä tai täytön vesipitoisuudesta riippumatta (kuvat 3.15 ja 3.17). Lähes kaikkien näytteiden kosteuspitoisuuksien perusteella, $w > 0,5$ paino-%, huokosilman suhteellinen kosteus täyttökerroksessa on riittävän korkea ylläpitämään bakteerikasvustoa. Erittäin runsaista kantoja, $> 100\ 000$ cfu/g, löydettiin näytteistä, joiden keskimääräinen vesipitoisuus ylitti $w > 1$ paino-%. Runsaista aktinomykeettikantoja, > 1000 cfu/g, löydettiin sekä kuivemmista että kosteimmista näytteistä. Myöskään rakennuksen iällä ei ollut vaikutusta aktinomykeettien esiintymiseen, joskin vanhimmissa kohteissa esiintyminen oli satunnaisempaa ja pitoisuudet keskimäärin pienempiä kuin uusissa kohteissa (kuva 3.10).

Näytteiden keskimääräisellä vesipitoisuudella ja sienikasvuston määrällä ei näyttänyt olevan suoraa yhteyttä. Samoin indikaattorilajeja ja toksiineja tuottavia homekasvustoja löydettiin näytteiden kosteustasosta riippumatta (kuvat 3.16 ja 3.18).

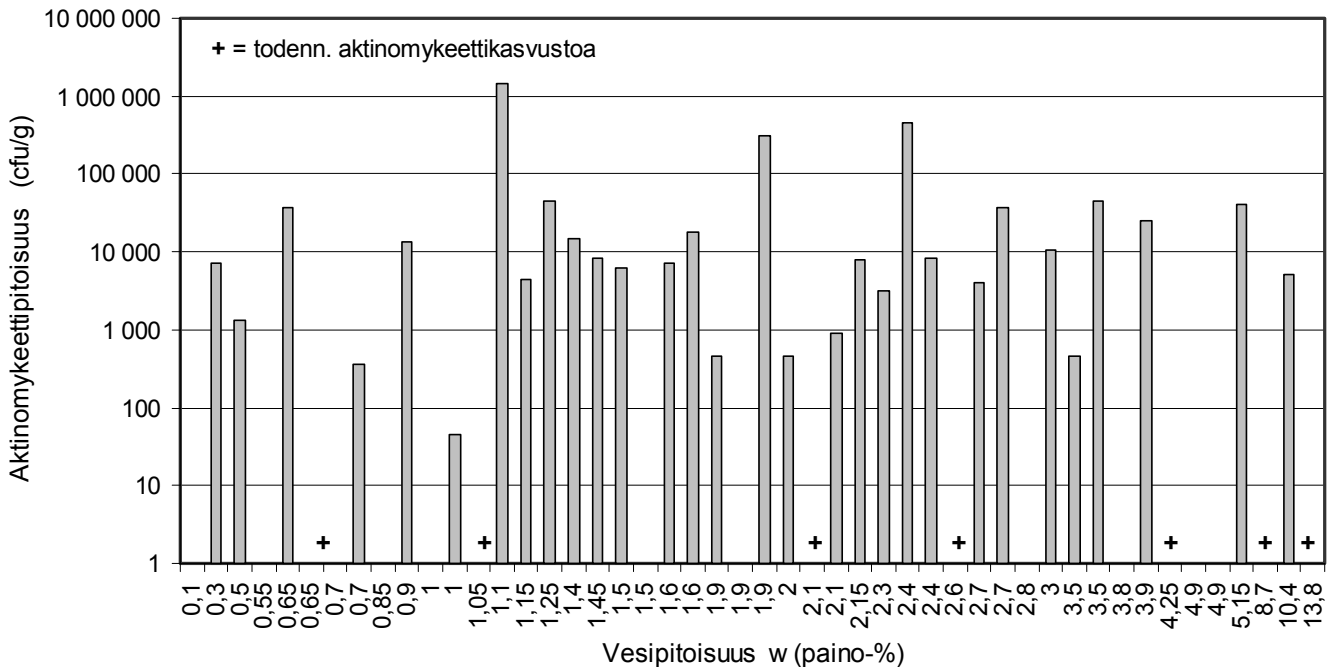


Kuva 3.15 Täytön vesipitoisuuden ja bakteeripitoisuuksien vertailu. Analysoidut näytteet lueteltuna rakennuksen ikäjärjestyksessä vasemmalta oikealle.

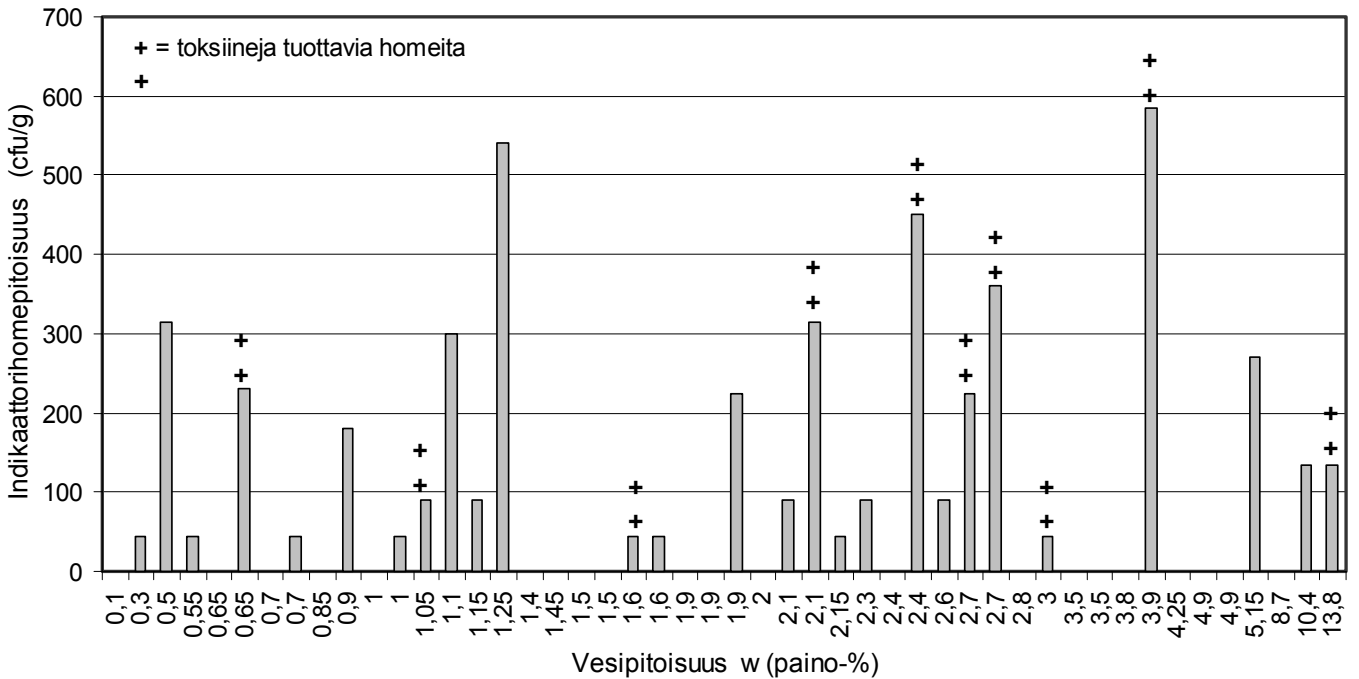
Vanhimmissa rakennuksissa täytön homesienikasvustopitoisuus oli selvästi alempi kuin uudemmissa rakennuksissa (kuva 3.13). Samoin indikaattorihomeiden esiintyminen vanhimmissa kohteissa oli satunnaisempaa kuin uusissa rakennuksissa (kuva 3.12). Yli 70 vuotta vanhoista rakennuksista ei tavattu homesienikasvustoja lainkaan ja vielä 1960- ja 70-luvuilla rakennetuissa kohteissa esiintyminen oli satunnaista. Sen sijaan 1990-luvulla rakennetuissa ja sitä nuoremmista rakennuksissa jonkin asteista homekasvustoa havaittiin lähes kaikista otetuista näytteistä (kuvat 3.12 ja 3.13).



Kuva 3.16 Täytön vesipitoisuuden ja sienikasvustojen välinen yhteys. Näytteet lueteltuna rakennuksen ikäjärjestyksessä vasemmalta oikealle.



Kuva 3.17 Täytön keskimääräisen vesipitoisuuden ja aktinomykeettikasvuston vertailu. '+'-merkityissä näytteissä ei muun bakteerikannan korkean pitoisuuden takia voitu varmuudella tunnistaa aktinomykeetti-lajeja, mutta kasvustojen esiintyminen on erittäin todennäköistä.



Kuva 3.18 Täytön keskimääräisen vesipitoisuuden ja indikaattorihomekasvuston vertailu. Kuvaan on merkitty myös toksiineja tuottavien indikaattorilajien esiintyminen – '++'.

Jonkin asteista mikrobikasvustoa löydettiin 98 % kaikista maanäytteistä. Kosteusvauriota indikoivia lajeja, joko homesienien indikaattorilajeja tai aktinomykeetti –bakteereja, löytyi 79 % näytteistä. Taulukossa 3.1 on esitetty näytteistä määritetyt keskimääräiset mikrobipitoisuudet ja pitoisuuksien maksimiarvot. Bakteeri- ja aktinomykeettipitoisuudet ovat täyttökerrosten maanäytteissä huomattavia ja ylittävät selvästi Sosiaali- ja terveysministeriön rakennusmateriaaleille antamat raja-arvot kosteusvaurio –kohteille (aktinomykeettipitoisuus > 500 cfu/g ja kokonaisbakteeripitoisuus > 10 000 cfu/g). Samoin homeiden ja indikaattorihomeiden keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeita. Suurimmassa osassa tutkituista kohteista ei kuitenkaan ollut koskaan havaittu alapohjiin liittyviä kosteusvaurioita. Täyttökerroksista mitattu korkea suhteellinen kosteus ja mikrobikasvu eivät siis ole merkki alapohjalaatan kosteusvaurioista vaan ne ilmaisevat täyttökerroksen luonnolliset olosuhteet, jotka on tiedostettava ja otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa.

Taulukko 3.1 49 maanäytteestä määritetyt mikrobipitoisuudet ja mitattujen pitoisuuksien maksimiarvot verrattuna kolmen referenssinäytteen keskiarvoon seulotuista raakamateriaaleista (salaojatorista hiekkakuoppaolosuhteissa).

cfu/g	Aktinomykeetit	Muut bakteerit	Indikaattorihomeet	Muut homeet
Keskiarvo (49 kpl)	61 776	3 245 879	61	350
Max.	1 484 000	25 960 000	540	36 44
Referenssinäytteen, (keskia. 3 kpl)	45 158	1 233 439	248	1554

Taulukossa 3.1 on lisäksi esitetty kolmesta ns. referenssinäytteestä määritettyjen mikrobipitoisuuksien keskiarvot. Referenssinäytteet otettiin Etelä-Suomesta kolmelta käytössä olevalta hiekkakuopalta seulotusta salaojasorasta noin 1 metrin syvyydeltä läjituskasan pinnasta. Näiden salaojitusmateriaalien raakanäytteiden mikrobipitoisuudet olivat vain hieman alhaisemmat kuin alapohjanäytteistä määritettyjen mikrobipitoisuuksien keskiarvot. Luonnontilaisten täyttömateriaalien mikrobipitoisuudet voivat siis olla suurelta osin peräisin täyttökerrosten raakamateriaalista ja mikrobipitoisuudet kasvavat ennestään alapohjatäytöissä, joissa lämpö- ja kosteusolosuhteet ovat otollisia mikrobien kasvulle vuoden ympäri.

Täyttökerroksen rakeisuudella ei näytä olevan suurta vaikutusta mikrobikasvuun ja –pitoisuuksiin. Karkeista sora- ja murskenäytteistä tavattiin yhtä suuria bakteeri- ja homepitoisuuksia kuin hienorakeisemmistakin täyttökerroksista. Mursketäyttöjen olosuhteet, kosteus ja lämpötila, ovat yhtä otolliset mikrobikasvulle kuin enemmän hienoainesta sisältävien hiekkojen ja salaojitusorienkin.

Havaittu mikrobikasvu näyttää olevan ainakin jossain määrin riippuvainen rakennuksen iästä. Pitoisuudet olivat alempia vanhimmissa rakennuksissa, eikä 30 – luvulla rakennettujen tai sitä vanhempien kohteiden näytteistä tavattu homesienikasvustoja lainkaan. Samoin vanhimpien rakennusten näytteiden bakteeripitoisuudet olivat keskimäärin alhaisempia ja aktinomykeettien esiintyminen täyttökerroksissa satunnaisempaa kuin uudemmissa rakennuksissa. Koska täyttöjen lämpö- ja kosteusolosuhteet ovat mikrobeille otollisia rakennuksen iästä riippumatta, pitoisuuksien lasku voidaan selittää ravinnon loppumisena suhteellisen rajoitetuissa olosuhteissa alapohjan alapuolella. Lisäksi kymmenien vuosien kuluessa myös sienitiöiden itävyys laskee, eikä kasvustoja enää havaita näytteiden laboratorioviljelyissä.

1960-, 1970- ja 1980 –lukujen rakennusten näytteissä homesienikasvustoja esiintyi vain satunnaisesti, ja sinänsä yleisten bakteerikasvustojen kokonaismäärät olivat jonkin verran nuoremmissa rakennuksista tavattuja pitoisuuksia alempia. Sen sijaan aktinomykeettipitoisuudet olivat näissä kohteissa keskimäärin yhtä korkeita kuin uudemmissakin rakennuksissa ja niiden löytymisen todennäköisyys täyttökerroksista lähes yhtä suuri rakennuksen iästä riippumatta 1960 –luvulta lähtien.

1990 –luvulla rakennetuissa ja sitä uudemmissa kohteissa mikrobikasvustot, sekä homesienet että bakteerit, olivat hyvin yleisiä ja niiden keskimääräiset pitoisuudet selvästi korkeampia kuin iäkkäämmissä rakennuksissa.

Näytteiden vesipitoisuudella ei näyttänyt olevan vaikutusta mikrobikasvun esiintymiseen tai pitoisuuksiin. Kaikki otetut maanäytteet olivat riittävän kosteista ylläpitämään mikrobikasvua, ja homesieniä ja bakteereja tavattiin sekä kaikkein kuivimmista että kosteimmista näytteistä.

Suppean otoksen perusteella näyttää siltä, että mikrobikasvu on varsin yleistä myös laatan alapuolisissa EPS-eristeissä. Eristeiden mikrobikasvu näyttää keskittyvän kerrosten alaosiin, jotka ovat kontaktissa alapuolisten maakerrosten kanssa ja missä eristekerroksen suhteellinen kosteus on korkein. Eristekerroksen kohonnut kosteuspitoisuus, esimerkiksi alapuolisen höyrynsulun takia, parantaa mikrobien kasvuolosuhteita ja nostaa mikrobipitoisuuksia huomattavasti.

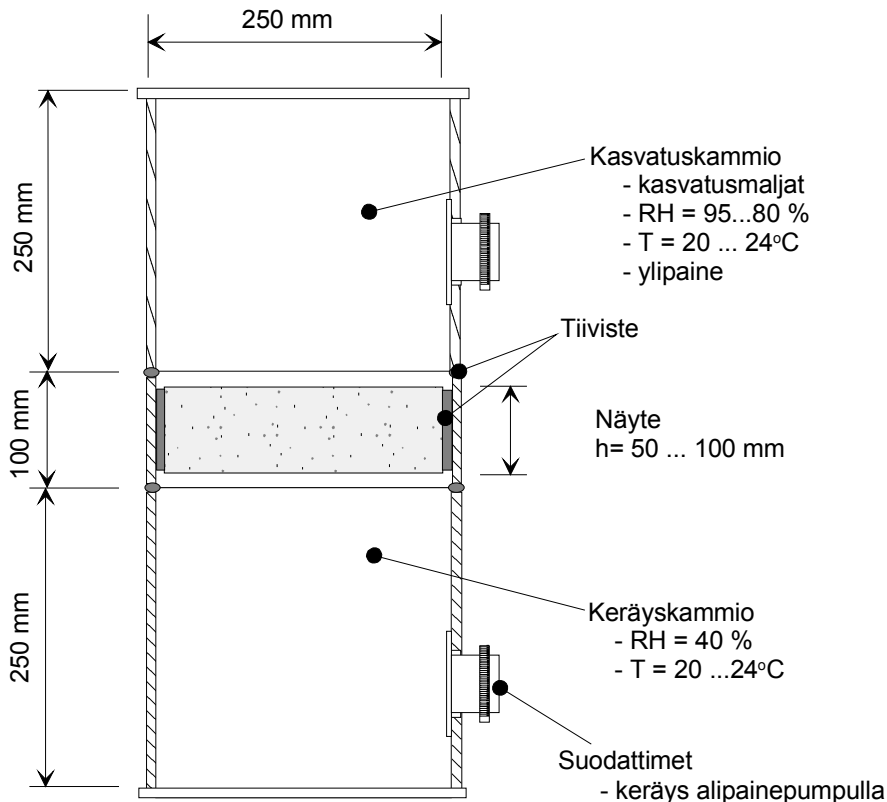
4 RAKENTEIDEN ILMANPITÄVYYS: LABORATORIOKOKKEET

4.1 Koejärjestelyt

Tutkimuksen rakenteiden mikrobiläpäisevyyksiä ja tiiviyksiä käsittelevä osa toteutettiin valvotuissa laboratorio-olosuhteissa. Kokeissa tutkittiin laatoissa tavanomaisten rakennusmateriaalien, kuten massiivisen betonilaatan ja eristekerrosten (EPS, SPU) mikrobiläpäisevyyksiä. Lisäksi tutkittiin laatan epäjatkuvuuskohtien, kuten valu- ja liikuntasauvojen mikrobiläpäisevyyksiä.

Alapohjalaattojen ja niiden epäjatkuvuuskohtien mikrobiläpäisevyys

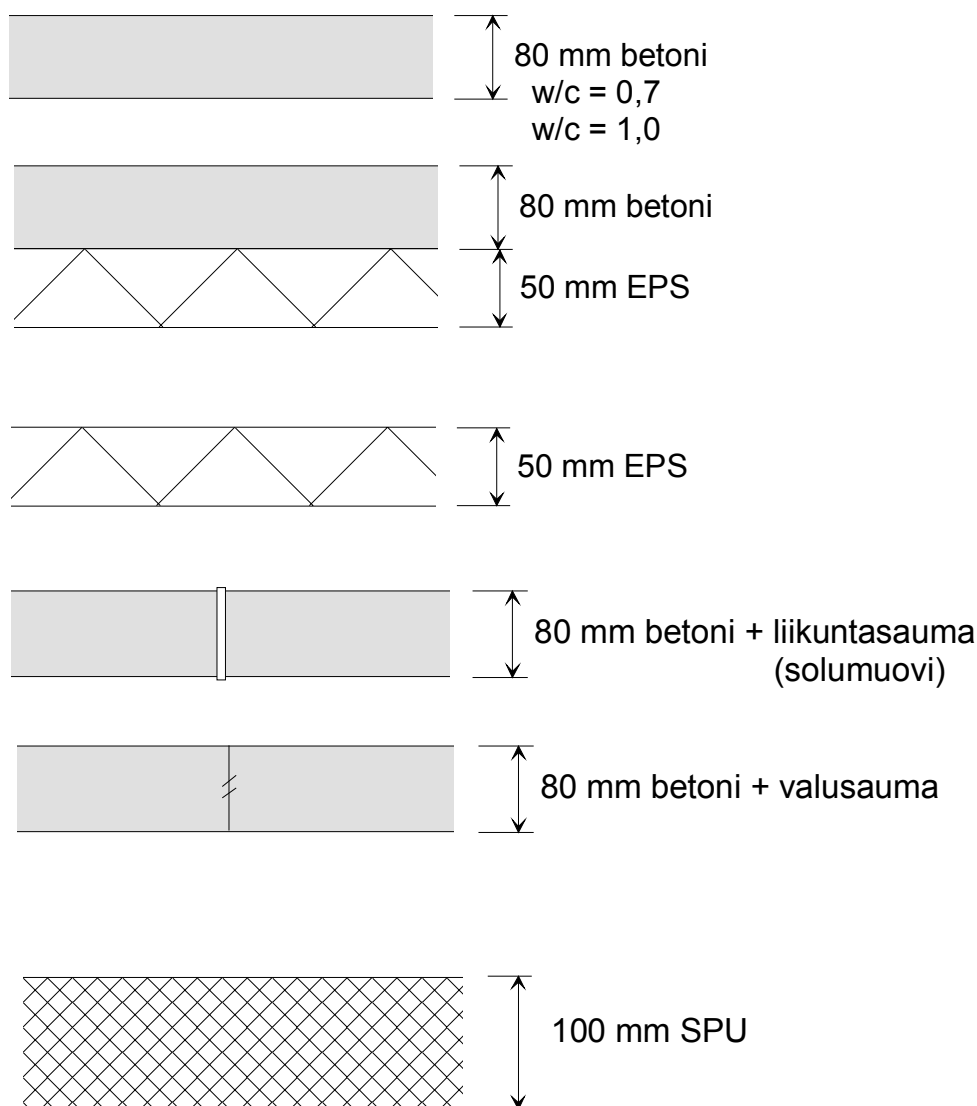
Laattojen ja laatan epäjatkuvuuskohtien mikrobiläpäisevyyksiä tutkittiin kuvan 4.1 mukaisella koejärjestelyllä. Tutkittava rakenne asennettiin ja tiivistettiin kaksiosaiseen koekammioon, jonka yläosassa kylläisten suolojen ja raitisilmapuhalluksen avulla ylläpidettiin mikrobikasvulle suotuisia olosuhteita. Kokeen alkaessa yläpuoliseen kasvatuskammioon istutettiin ravinneliuoksessa *Aspergillus versicolor*-lajin homesieni kasvustoa. Laji valittiin itiöidensä koon perusteella, joka vastaa keskimääräistä indikaattorihomesien itiökokoja. Lisäksi homelaji on havaittu kenttämittauksissa hyvin yleiseksi. Laatan alapuolinen kontrollikammio steriloidtiin ja suljettiin ilmatiiviisti. Kokeiden aikana seurattiin jatkuvana seurantana molempien kammioiden ilmatilan lämpö- ja kosteusolosuhteita, sekä kammioiden välistä ilmanpaine-eroa. Raitisilmapuhalluksen takia kasvatuskammioon muodostui kontrollikammioon verrattuna lievä 1 ...20 Pa ylipaine. Kuukauden kasvatusjakson jälkeen sekä ylä- että alakammioista otetuista ilmanäytteistä määritettiin itiö- ja mikrobimäärät.



Kuva 4.1 Laattarakenteiden mikrobiläpäisevyyksien määrittäminen laboratorio-olosuhteissa.

Mikrobiläpäisevyytutkimuksissa tarkasteltiin seitsemää alapohjarakennetta, P1 ...P7. Rakenne P1 oli tavanomainen laattarakenne, jossa $h = 80$ mm paksuisen betonilaatan ($w/c = 0,7$) alla oli 100mm EPS-eriste (EPS 100 Lattia) (kuva 4.2). Samaa betonikoostumusta ja vesi-sementti-suhdetta käytettiin muissakin betonilaattojen saumoja ja epäjatkuvuuskohtia sisältävissä koekappaleissa. Rakenne P2 oli peruslaatta, jossa oli pelkkä $h = 80$ mm betonilaatta. Rakenne P3 oli $h = 120$ mm paksu SPU –eristekappale, josta oli poistettu eristelevyn pintamateriaaleina käytetyt alumiinipaperit. Vertailuna koekappale P7 oli pelkkä $h = 100$ mm paksu EPS –levy (EPS 100 Lattia). Kappale P4 oli vertailulaatta, jossa $h = 80$ mm betonilaatan vesi-sementti-suhde oli $w/c = 1,0$.

Kappale P5 oli $h = 80$ mm betonilaatta, jonka keskellä kulki solumuovinen $l = 10$ mm liikuntasauমানauha (kuva 4.2). Kappale P6 oli $h = 80$ mm paksu laatta, joka oli valettu kahdessa osassa muutaman viikon välein ja kappaleen keskelle oli jätetty pystysuora valusauma.



Kuva 4.2 Tutkitut laattarakenteet ja –saumat.

Ilmatilan mikrobianalyysit

Kasvatus- ja kontrollikammion ilmatilan itiöpitoisuusanalyysit suoritettiin CAMNEA-menetelmällä. Menetelmä soveltuu erityisesti niihin tilanteisiin, joissa voidaan olettaa esiintyvän suuria itiöpitoisuuksia. Ilmanäyte kerätään suodattimelle, joka jatkokäsitellään laboratoriossa analyysijä varten. Parhaita puolia CAMNEA:ssa on, että näytteestä voidaan analysoida sekä elinkykyiset mikrobit että kokonaisitiömäärä. Suodattimelle kerätyt mikrobit siirretään nesteeseen, josta osa viljellään.

4.2 Laattojen tiiviyskokeet

Mikrobiläpäisevyudet

Alipainepumpulla nitroselluloosasuodattimelle kerätyille näytteille suoritettiin Turun Yliopiston Aerobiologian yksikössä viljelyyn perustuva kvantitatiivinen analyysi. Suodattimista leikattiin paloja laimennusliuokseen (Asumisterveysohje 2003), joille tehtiin 30 min ultraäänikäsittely ja 60 min ravistelu ennen viljelyä. Liuosta viljeltiin kasvatusalustoilla laimennussarjana siten, että jokaisesta laimennoksesta oli 2 kpl toistoja. Analyysin tulokset on ilmoitettu cfu -määrinä koko suodattimella (cfu = kasvuston muodostama yksikkö). Kaikista näytteistä viljeltiin 6,0 cm² eli 43,3 % suodattimen kokonaispinta-alasta.

Kasvatusalustoina käytettiin *Aspergillus versicolor*-lajin kasvatukseen soveltuvaa mallasuuteagarina (MEA). Inkubointilämpötila oli +25 °C ja inkubointiaika 7 vrk kokonaisbakteeri- ja sienikolonoiden laskennassa, ja 14 vrk aktinomykeettien laskennassa. Pienin havaittu pitoisuus laskennoissa oli 7 cfu/g.

Suodatinnäytteet otettiin sekä koelaitteistojen ylä- että alakammioista (kuva 4.1). Näyte kerättiin suodattimelle pumppaamalla ilmaa kammioista 5 minuutin ajan noin 50 Pa alipaineella. Seitsemän koekammion ilmanäytteille suoritettiin kvantitatiiviset analyysit, joiden tulokset on esitetty taulukossa 4.1. Mikäli otetuista ilmanäytteistä tavattiin mitattavia määriä *Aspergillus versicolor* -lajin itiöitä, taulukon sarakkeessa on merkintä '+'. Puhtaitten näytteiden kohdalla merkintänä on '-'. Mitatut itiömäärät vaihtelivat huomattavasti etenkin kasvatuskammioista otetuissa näytteissä. Homesienikasvuston tuottamat itiömäärät riippuvat voimakkaasti kasvuston elinkaaren ajankohdasta ja muutoksista kasvatusolosuhteissa. Vaikka kasvatuskammioiden olosuhteet pyrittiin pitämään mahdollisimman tasaisina, joitakin muutoksia etenkin kammioiden kosteuspitoisuuksissa tapahtui pitkäkestoisten kokeiden aikana. Homesienten itiöiden tuotto on korkeimmillaan juuri ennen kasvuston siirtymistä lepotilaan ympäristöolosuhteiden alkaessa heikentyä. Tämä itiötuotannon luonnollinen vaihtelu havaittiin myös otetuissa näytteissä. Kaikissa tapauksissa itiöitä oli kuitenkin selvästi yli pienimmän havaittavan pitoisuuden 7 cfu/g.

Suoritettujen laboratoriokokeiden perusteella ehjät yhtenäiset rakennekerrokset eivät läpäise homesieniä tai niiden itiöitä. Koekappaleilla P1, P3, P4 ja P7, joissa kaikissa oli yhtenäinen betoni tai eristekerros, keräyskammioista otetut ilmanäytteet olivat puhtaita.

Solumuovilla tiivistetyn liikuntasauma tapauksessa keräyskammioista ei tavattu homeitiöitä. Koekappaleiden kovettuvan betonin jälkihoito hoidettiin hyvin kosteissa olosuhteissa ($RH \approx 95 \dots 100 \%$), jolloin betonin kutistuma saatiin pidettyä mahdollisimman vähäisenä. Lisäksi liikuntasauman tiivisteenä käytetty solumuovikaista oli riittävän joustava mukautumaan betonin vähäiseen kutistumaan ja sauma saatiin pysymään tiiviinä.

Koekappaleessa P6 oli tiivistämätön, kahdessa eri osassa valetun betonilaatan väliin jäävä pystysuora valusauma. Laatan osien valujen välillä oli 7 vrk ja molempien laatanosien jälkihoito suoritettiin mahdollisimman kosteissa olosuhteissa ($RH \approx 90 \dots 100 \%$) kutistuman minimoimiseksi. Silmämääräisesti liitos näytti täysin tiiviiltä, mutta sekä kokeiden suorituksen yhteydessä että ilmanäytteitä analysoitaessa kävi selväksi, ettei sauma ollut tiivis. Kokeita suoritettaessa kammioiden välille ei saatu syntymään yrityksistä huolimatta kuin 1...1,5 Pa pysyvä paine-eron. Mikrobianalyysit vahvistivat liitoksen vuotavan ja keräyskammion ilmanäytteessä havaittiin huomattavia määriä homeitiöitä.

Taulukko 4.1 Lämpäisevyyskammioiden ilmanäytteiden kvantitatiivisten analyysien tulokset. Tutkittava laji oli Aspergillus versicolor –home ja sen itiöt.

Koekappale		Kasvatuskammio <i>Aspergillus versicolor</i>	Keräyskammio <i>Aspergillus versicolor</i>
P1	laatta + EPS $h_1 = 80 \text{ mm}$ $h_e = 100 \text{ mm}$	+	-
P3	SPU $h_e = 120 \text{ mm}$	+	-
P4	laatta $h_1 = 80 \text{ mm}$ $w/c = 1,0$	+	-
P5	laatta $h_1 = 80 \text{ mm}$ liikuntasauma solumuovi	+	-
P6	laatta $h_1 = 80 \text{ mm}$ valusauma	+	+
P7	EPS $h_e = 100 \text{ mm}$	+	-

VOC -näytteet

Koekappaleiden P1 ja P7 kasvatus- ja keräyskammioista otettiin myös näytteet, joista määritettiin VOC –pitoisuudet. Tarkoituksena oli selvittää homesienten erittämien MVOC –yhdisteiden tunkeutumista ehjien laattarakenteiden läpi. Alustavien tutkimusten mukaan kerrokset ovat riittävän tiiviitä estämään myös kaasumaisten MVOC eritteiden tunkeutumisen ehjien kerrosten läpi.

Korvausilmareittien tukkiminen alapohjasta rakenneosien liitoksissa ja läpivienneissä ehkäisee tehokkaasti myös mikrobien ja aineenvaihduntatuotteiden tunkeutumisen rakenteisiin ja sisäilmaan. Näin ollen täyttökerrosten mikrobikasvuston haittavaikutusten ehkäisemiseksi riittävät samat keinot kuin alapohjalaatan radon-tiivistyksessäkin.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Alapohjarakenteiden olosuhteet

Täyttökerrokset

Maanvastaisen alapohjan alapuoliset täyttö- ja salaojituskerrokset ovat ympäri vuoden lämpimiä ja kosteita.

Lämpötila maanvastaisten lämmitettyjen rakennusten alapuolella etenkin laattojen keskiosissa on suhteellisen korkea ja tasainen ympäri vuoden (Leivo ja Rantala 2000, 2003a, 2005). Lämpötilat ovat riittävän korkeita mahdollistamaan runsaan mikrobikasvun sekä mesofiilisille homeille että bakteereille.

Tässä ja aiemmissa tutkimuksissa (Leivo ja Rantala 2003a, 2005) suoritettujen kenttäkokeiden perusteella täyttökerrosten yläosien suhteellinen kosteus on hyvin korkea. Täytöistä mitattujen vesipitoisuuksien perusteella kerrosten rakenteiden vastaiset yläosat toimivat vähintäänkin hygroskooppisessa kyllästystilassa, eli RH \approx 100 %. Kerroksen rakeisuudella ei ole vaikutusta asiaan, vaan mitatut vesipitoisuudet ovat korkeita niin karkeissa murskeissa kuin hienoissa hiekoissakin. Vesipitoisuudet olivat 1 painoprosentin luokkaa suurimmassa osassa tutkituista näytteistä ja samankaltaisia lukemia on saatu myös aiemmissa pitkäaikaisseurannoissa täyttökerrosten yläosista (Leivo ja Rantala 2003a). Sepelien, hiekkojen ja sorien hygroskooppinen tasapainokosteus täyttökerrosten lämpötiloissa vaihtelee 0,3 ... 0,8 paino-% välillä (kuva 2.6). Monet hienoaineksia sisältävät täyttökerrokset ovat ainakin osittain kapillaarisia ja niistä mitatut vesipitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti sään ja vuodenaikojen mukana. Tällaisista kerroksista mitatut vesipitoisuudet voivat olla useita painoprosentteja (kuvat 3.6 ja 3.7). Vesipitoisuuksilla 2 ... 4 paino-% kapillaarinen nousu on vielä suhteellisen vähäistä, eikä välttämättä aiheuta ongelmia yläpuolisille rakenteille.

Kenttämittausten perusteella täyttöjen kosteus- ja vesipitoisuudet ovat lähes poikkeuksetta riittävän korkeita mahdollistamaan runsaat bakteeri- ja homekasvustot.

Eristekerrokset

EPS –eristeistä mitatut vesipitoisuudet vaihtelivat yleensä 8 ...20 painoprosentin välillä. Rakenteen iällä ei ollut vaikutusta eristekerroksista mitattuihin kosteuspitoisuuksiin. Vesipitoisuudet vanhoissakin kohteissa olivat niin pieniä, ettei niillä ole kuitenkaan käytännön merkitystä kerrosten lämmöneristävyydelle.

Tiivis muovi eristekerroksen alapinnassa nostaa ainakin jonkin verran eristeestä mitattuja kosteuspitoisuuksia. Tiivis höyrönsulku paikalla valetun laatan ja eristeiden alla estää laatan kuivumisvaiheessa rakennuskosteuden kuivumisen pohjamaahan ja eristekerrokseen tiivistyy jonkin verran enemmän kosteutta kuin höyrönsuluttomissa rakenteissa.

5.2 Mikrobikasvu täyttö- ja eristekerroksissa

Täyttökerrokset

Edellä kuvatuista suotuisista olosuhteista johtuen mikrobikasvu täyttökerroksissa on erittäin yleistä.

Täyttökerroksista otettujen maanäytteiden kvantitatiivisten analyysien perusteella jonkin asteista mikrobikasvustoa esiintyi 98 % täyttökerroksista. Lajeja, joiden yleisesti pidetään indikoivan kosteusvaurioita, joko homesienien indikaattorilajeja tai aktinomykeetti –bakteereja, löytyi 79 % näytteistä.

Bakteerikasvustoa samoin kuin aktinomykeettejäkin löydettiin lähes kaikista otetuista näytteistä rakennuksen iästä tai täytön vesipitoisuudesta huolimatta (kuvat 3.15 ja 3.17). Erittäin runsaita kantoja löydettiin näytteistä, joiden keskimääräinen vesipitoisuus ylitti $w > 1$ paino-%. Runsaita aktinomykeettikantoja, > 1000 cfu/g, löydettiin sekä kaikkein kuivimmista että kosteimmista näytteistä. Rakennuksen iällä ei ollut vaikutusta aktinomykeettien esiintymiseen, joskin vanhimmissa kohteissa esiintyminen oli satunnaisempaa ja pitoisuudet keskimäärin pienempiä kuin uusissa kohteissa.

Näytteiden vesipitoisuudella ja sienikasvuston pitoisuuksilla ei näytä olevan suoraa yhteyttä. Samoin indikaattorilajeja ja toksineja tuottavia lajeja löydettiin näytteiden kosteustasosta riippumatta (kuvat 3.16 ja 3.18). Vanhimmissa rakennuksissa täytön homesienikasvustopitoisuus oli selvästi alempi kuin uudemmissa rakennuksissa (kuva 3.13). Samoin indikaattorihomeiden esiintyminen vanhimmissa kohteissa oli satunnaisempaa kuin uusissa rakennuksissa. Yli 70-vuotiaissa rakennuksissa ei tavattu homesienikasvustoa lainkaan ja vielä 1960- ja 70 –luvuilla rakennetuissa kohteissa esiintyminen oli satunnaista. Sen sijaan 1990 –luvulla rakennetuissa ja tätä nuoremmissa rakennuksissa jonkin asteista homekasvustoa tavattiin lähes kaikista otetuista näytteistä (kuvat 3.12 ja 3.13). Koska täyttöjen lämpö- ja kosteusolosuhteet ovat mikrobeille otolliset rakennuksen iästä riippumatta, pitoisuuksien lasku voidaan selittää ravinnon vähenemisellä suhteellisen rajoitetuissa olosuhteissa alapohjan alapuolella. Lisäksi kymmenien vuosien kuluessa myös sieni-itiöiden itävyys laskee, eikä kasvustoja enää havaita näytteiden laboratorioviljelyissä.

Täyttökerroksen rakeisuudella ei näytä olevan suurta vaikutusta mikrobikasvuun ja –pitoisuuksiin. Karkeista sora- ja murskenäytteistä tavattiin yhtä suuria bakteeri- ja homepitoisuuksia kuin hienorakeisimmistakin täyttökerroksista. Mursketäyttöjen yleiset olosuhteet, lämpötila ja kosteus, ovat yhtä otolliset mikrobikasvulle kuin enemmän hienoainesta sisältävien hiekkojen ja salaojitussorienkin.

Eristekerrokset

Olosuhteet alapohjalaatan alapuolisissa eristekerroksissa, myös EPS –eristeissä, ovat otolliset mikrobikasvulle. Homeita, indikaattorihomeita, bakteereja ja aktinomykeetteja esiintyy erityisesti eristekerroksen alaosissa, jotka ovat kontaktissa täyttökerrosten kanssa ja jossa eristeen kosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus on korkein. Joissakin tapauksissa eristeiden olosuhteet näyttävät olevan jopa pohjamaata otollisempia mikrobikasvulle, varsinkin jos kerrosten kosteuspitoisuus on jostain syystä päässyt kohoamaan, esimerkiksi eristekerroksen alapuolisen höyrynsulun takia.

5.3 Maanvastaisten laattojen mikrobiologiset olosuhteet ja toimivuus vallitsevissa olosuhteissa

Maanvastaisen alapohjan alapuoliset täyttö- ja salaojituskerrokset ovat ympäri vuoden lämpimiä ja kosteita.

Tässä tutkimuksessa suoritettujen kenttämittausten perusteella täytöissä kasvaa lähes aina homesieniä ja bakteereja, myös lajeja, joita yleisesti pidetään kosteusvaurioita indikoivina mikrobeina. Mikrobien viihtyminen lämpimässä ja kosteassa täyttökerroksessa ei ole mikään yllätys, vaan on täysin normaalia täyttökerroksissa vallitsevissa olosuhteissa.

Täyttökerrosten korkea suhteellinen kosteus ja mikrobikasvustot eivät merkitse alapohjarakenteen kosteusvauriota, vaan ovat rakenteen suunnittelussa huomioon otettavia reunaehtoja.

Koska ne ovat laajojen tutkimusten perusteella todettu yleisiksi ja normaaleiksi vallitseviksi olosuhteiksi, niiden mittaaminen täyttökerroksista on käytännössä turhaa.

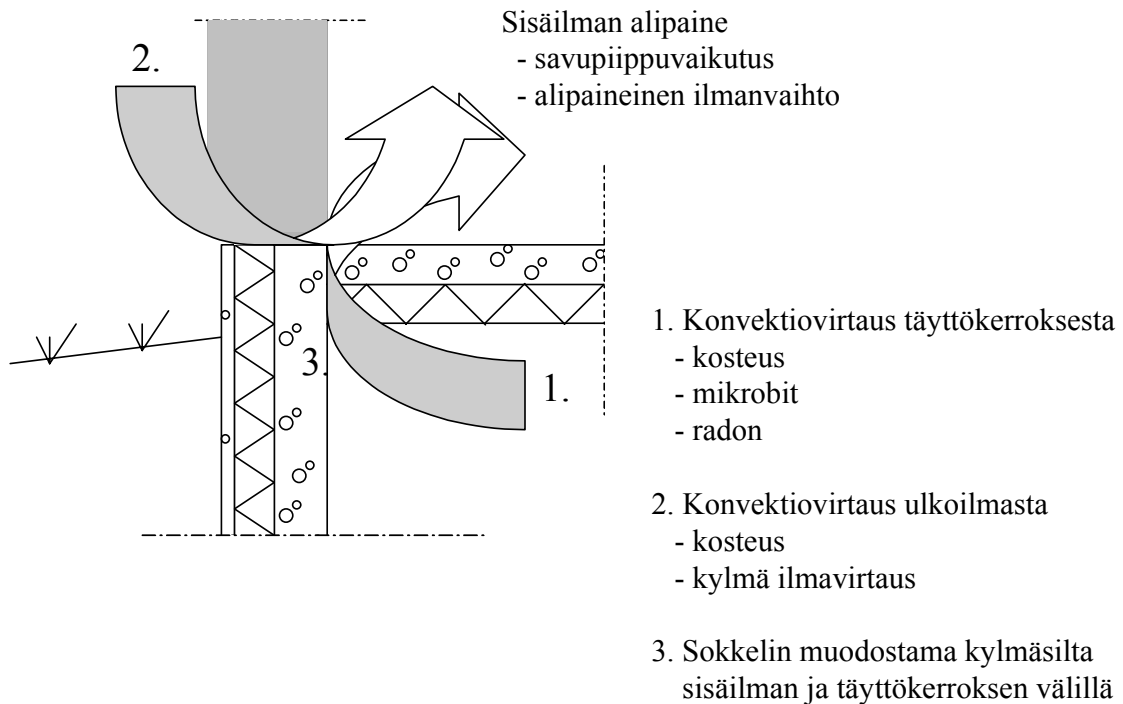
Tässä tutkimuksessa suoritettujen laboratorioskokeiden perusteella yhtenäinen betonilaatta ($h = 80 \text{ mm}$, $w/c = 0,7 \dots 1,0$) tai EPS (EPS 100 Lattia 100 mm) ja SPU –eristekerros eivät läpäise homesienten itiöitä (*Aspergillus versicolor*).

Sen sijaan rakenneosien väliset liitokset, valusaumat tai läpiviennit voivat muodostua itiöiden tunkeutumisreiteiksi alapohjatäytöstä sisäilmaan.

Savupiippuvaikutus tai alipaineiseksi säädetty ilmastointi avaavat huonosti tiivistettyyn seinän ja lattian liitokseen korvausilmareitin, josta konvektio kuljettaa täyttökerrosten kosteuden lisäksi haitallisia mikrobeja ja mikrobien aineenvaihduntatuotteita sisäilmaan (kuva 5.1). Samaa reittiä huoneistoon tunkeutuvat myös pohjamaan radon –kaasut. Laatan ja sokkelin liitoksen tiivistäminen on sisäilman puhtauden kannalta erittäin tärkeää.

Korvausilmareittien tukkiminen alapohjasta rakenneosien liitoksissa ja läpivienneissä ehkäisee tehokkaasti myös mikrobien ja aineenvaihduntatuotteiden tunkeutumisen rakenteisiin ja sisäilmaan. Näin ollen täyttökerrosten mikrobikasvuston haittavaikutusten ehkäisemiseksi riittävät samat keinot kuin alapohjalaatan radon-tiivistyksessäkin.

Seinän ja lattian liitosten lisäksi myös kaikki muut laatan puhkaisevat läpiviennit on tiivistettävä. Tällaisia ovat esimerkiksi vesijohtojen, viemärien, lämmitysputkien ja sähkövetojen läpiviennit sekä liikuntasaumamat. Sen sijaan laatan pinnan kutistumishalkeamat eivät puhkaise koko laattaa, eivätkä voi toimia korvausilmareittinä täyttökerroksesta.



Kuva 5.1 Laatan ja sokkelin sekä sokkelin ja alajuoksun liitosten tiivistysongelmia.

5.4 Alapohjalaatan ja täyttökerrosten olosuhteiden tutkiminen

Alapohjien kosteusvaurioiden syiden selvittämisessä tarvitaan rakennetta rikkovia menetelmiä. Vaurioiden syyt ovat yleensä aina syvemmillä laatasta tai laatan alapuolisissa täyttökerroksissa. Silmämääräisellä arvioinnilla tai pintakosteusmittareilla ei saada selville alapohjalaatassa vallitsevaa kosteustilaa tai laatan toimivuutta. Niiden avulla voidaan kirjata ylös näkyvät seuraukset ja määrittää tarkemmin tutkittavat kohdat.

Betonilaatan tilan voi tutkia mittaamalla sen suhteellisen kosteuden. Kosteusmittaukset on hyvä tehdä muutamalta eri syvyydeltä, jolloin saadaan selville laatan kosteusvaihtelut laatan koko poikkileikkauksessa.

Tarvittaessa rakenteen alapuolisen maan lämpötilaa voi arvioida lattiarakenteen lämmöneristyksen määrästä tai suoraan mittaamalla.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella maanvastaisten laattojen täyttökerrokset ovat lämpimiä ja kosteita, ja niissä tavataan yleisesti runsaita mikrobikasvustoja, mukaan lukien kosteusvaurioindikaattoreina pidettyjä bakteeri- ja homesienilajeja. Nämä olosuhteet ovat alapohjarakenteen kosteusteknisen toiminnan reunaehtoja, jotka on hyväksyttävä olemassaolevina tosiasioina rakenteita suunniteltaessa ja korjattaessa.

Korjauskohteissa näiden tunnettujen reunaehtojen, eli täytön kosteuspitoisuuden ja mikrobipitoisuuksien määrittäminen on turhaa. Täytön korkea suhteellinen kosteus ja mikrobikasvu eivät ole merkki rakenteen toimimattomuudesta.

Sen sijaan täytöstä otetusta materiaalinäytteestä voi määrittää vesipitoisuuden, josta voidaan arvioida täytön läpäisevän kapillaarisen kosteuden määrää ja rasiitusta yläpuolisille rakenteille. Pelkästään laboratoriossa määritellyn täyttömateriaalin kapillaarisen nousukorkeuden tai raekokojakauman perusteella ei voi arvioida kapillaarisen kosteuden aiheuttamaa kosteusrasitusta todellisessa kohteessa. Yleensä täyttökerrokseen imeytyy käytännössä vain murto-osa siitä vesimäärästä, joka siihen laboratorio-olosuhteissa saadaan kapillaarisesti sitoutumaan. Lisäksi kapillaarisesti nouseva kosteuden määrä voi vaihdella huomattavasti kerroksen eri osissa (kuva 2.4). Tästä syystä läheltä alapohjan rakennekerroksia otetusta materiaalinäytteestä määritetty vesipitoisuus antaa parhaan kuvan täyttökerroksen kosteusteknisestä toiminnasta vallitsevissa olosuhteissa.

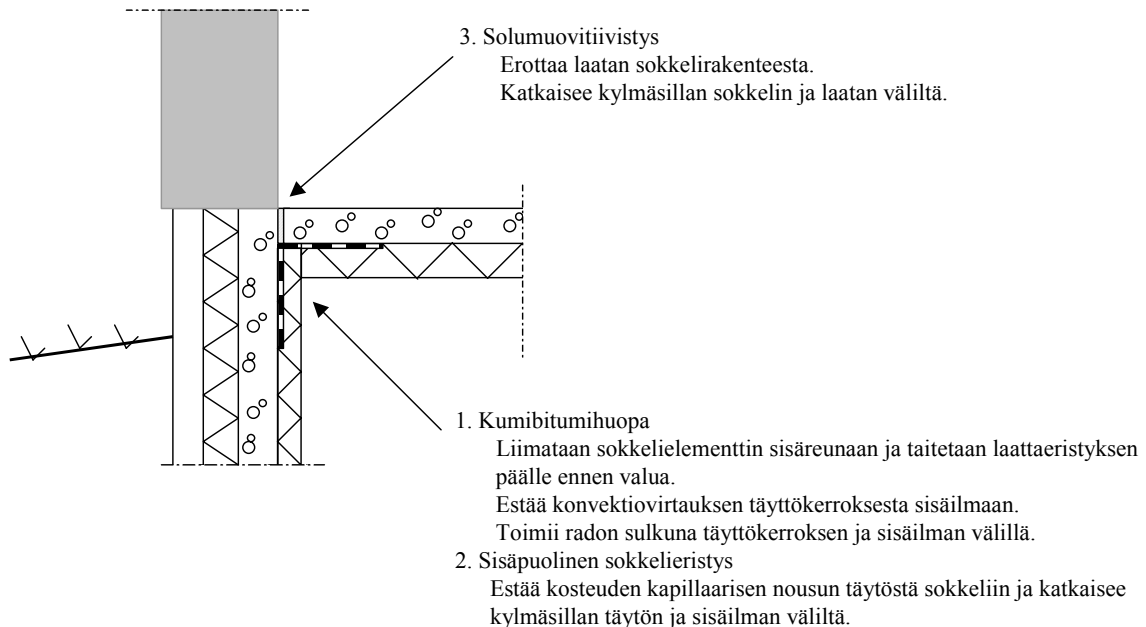
6 SUOSITELTAVAT RAKENNERATKAISUT

Rakenneratkaisujen pääperiaatteena on, että korvausilmareitit alapohjasta rakenneosien liitoksissa ja läpiviennissä tukitaan mahdollisimman tehokkaasti, jolloin myös mikrobin ja niiden aineenvaihduntatuotteiden tunkeutuminen rakenteisiin ja sisäilmaan estyy. Pääperiaate on sama kuin radon-tiivistyksissä ja samat jo kehitetyt rakenneratkaisut sopivat myös täyttökerrosten mikrobikasvuston haittavaikutusten ehkäisemiseen. Ohjeita rakennusten maanvastaisten alapohjarakenteiden radon-tiivistämiseen annetaan mm. RT-kortissa RT 81-10791. Tärkeimpiä tiivistettäviä kohtia alapohjassa ovat:

- Sokkelin ja alapohjarakenteen liitos
- Kantavan seinän ja alapohjalaatan liitos
- Laatan liikuntaaumamat
- Laatan putkiläpiviennit.

Laatan ja sokkelin välisten liitosten tiivistäminen

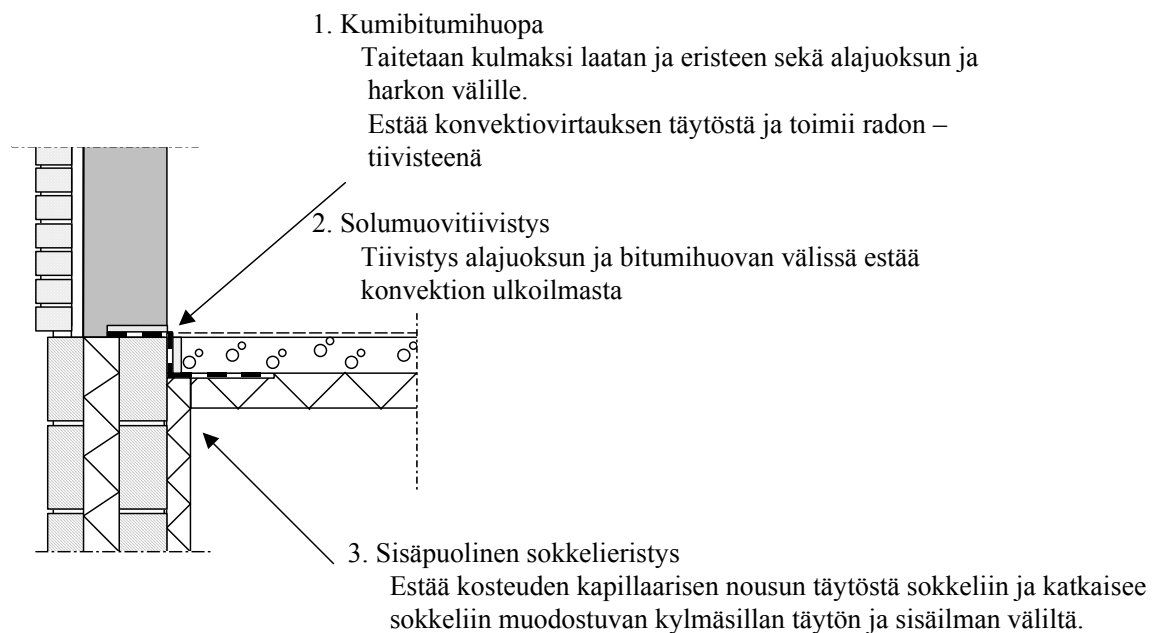
Kuvassa 6.1 on esitetty betonielementtisokkelin ja paikalla valetun laatan välisen liitoksen periaatteita. Sokkelielementin yläosaan liimataan kumibitumihuopa (1.), joka taitetaan eristekerroksen päälle ennen laatan valua. Huopakaista on riittävän joustava kestääkseen täytön ja lattian lievän painuman murtumatta ja estää tehokkaasti konvektiovirtauksen täyttökerroksesta sisäilmaan. Huopa toimii samalla tehokkaana radon-tiivisteenä. Sokkelin ja laatan väliin asennettu solumuovikaista tiivistää sokkelin ja laatan välisen raon, vaikka laattaa kuivuessaan hieman kutistuisikin (2).



Kuva 6.1 Sokkelin ja paikalla valetun laatan välisten liitosten tiivistäminen.

Pientaloissa sokkeli muurataan usein erilaisista lämpöharkoista. Huokoinen harkko voi kuitenkin itsessään toimia vuotoilmareittinä, ja tämä mahdollisuus pitää sulkea pois pelkän harkon ja laatan välisen liitokset tiivistämisen lisäksi. Harkkosokkelin tiivistystapa on esitetty kuvassa 6.2.

Kumibitumihiuopa taivutetaan laatan ja eristeen sekä sokkeliharkon ja alajuoksun väliin kuvan 6.2 osoittamalla tavalla. Porrastettu huopa kestää repeilemättä laatan ja sokkelin väliset liikkeet ja estää konvektiovirtauksen täyttökerroksesta sisäilmaan (1.). Solumuovikaista huovan ja alajuoksun välissä tiivistää seinän alareunan ja estää konvektiovirtaukset ulkoilmasta.

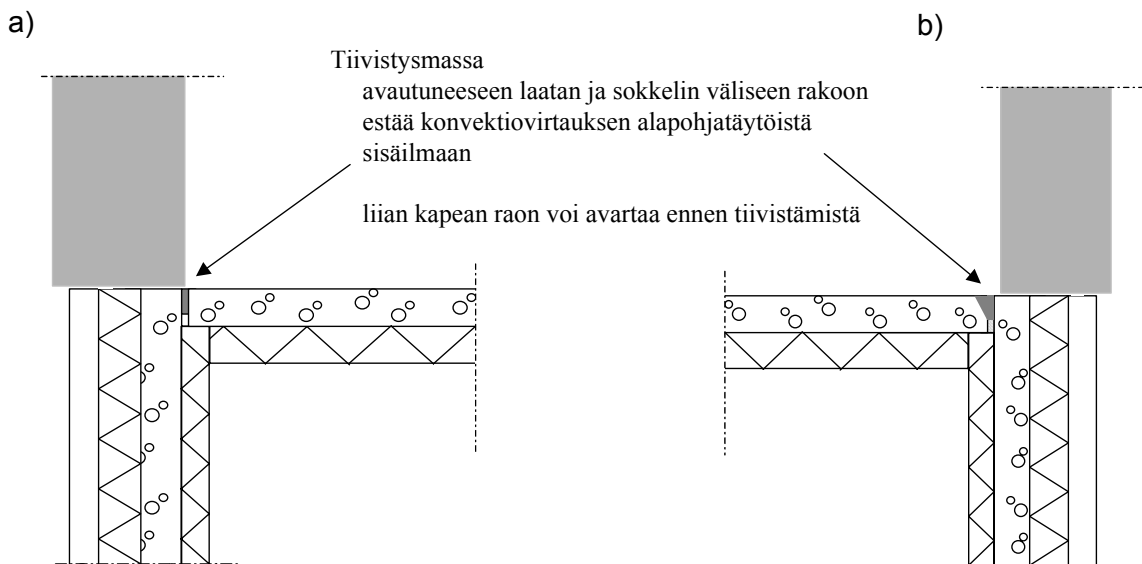


Kuva 6.2 Sokkelin ja paikalla valetun laatan sekä alajuoksun välisten liitosten tiivistäminen harkkomuurattujen sokkelien yhteydessä.

Korjauksissa täydellisen ilmanpitävien ja pysyvien liitosten tekeminen on haastavaa ja usein tiivistyksiä joudutaan korjaamaan ja uusimaan kunnes riittävä tiiviys on saavutettu. Korjausten yhteydessä tulee myös ilmanvaihdon toimivuus tarkastaa ja tehdä mahdollisesti säätötoimenpiteitä. Usein sisäilmaongelmien taustalla julkisissa rakennuksissa on, että rakennuksen tuloilmakone suljetaan yön ajaksi koneellisen poiston ollessa päällä koko ajan. Tällöin rakennukseen tulee alipainetta ja epäpuhtauksia imetään sisäilmaan muun muassa epätiiviyden alapohjaliitosten kautta. Mikäli ilmanvaihto voitaisiin pitää koko ajan toiminnassa hallitsemattomat ilmavuodot rakennusosien epätiiviyyskohtien kautta olisivat pienemmät. Alapohjarakenteen tiivistyskorjauksen jälkeen rakennuksen paineolot muuttuvat jonkin verran ja korvausilmareitiksi voivat muodostua muut rakennuksen epätiiviyyskohdat: ikkunatiivistykset, ulkoseinä- ja yläpohjaliitokset, jotka joudutaan myös tiivistämään. Sisäilmaongelmat voivat toisaalta ilmetä myös ilmavaihtokorjausten yhteydessä rakennuksen ilmanvaihtoa tehostettaessa, jolloin

korvausilmavirtaukset alapohjan epätiiviykskohdista voivat lisääntyä. Rakennusosien tiivistäminen tulee tehdä aina ilmanvaihtokorjausten yhteydessä.

Korjauskohteissa laatan kutistuman tai rakenteiden liikkeiden avaamat liitossaumat voi tiivistää tarkoitukseen soveltuvilla tiivistysmassoilla (kuva 6.3 a). Mikäli saumarako on liian kapea saumattavaksi sellaisenaan, rakoa voidaan avata leikkaamalla timanttilaikalla laatan yläkulma pois ja saumaamalla avarre halutulla massalla (kuva 6.3 b). Sopivan ja kestävä tiivistysmassan valinta riippuu useista tekijöistä: sauman suuruus ja muoto, liitoksessa tapahtuvat liikkeet, liitokseen tulevat rasitukset (mekaaniset ja siivouksesta johtuva kosteus). Jos saumattava rako on yli 10 mm leveä, saumauksessa kannattaa käyttää solumuovisaumanauhaa, jonka päälle tehdään saumaus massalla. Ennen saumausta rako tulee puhdistaa tartunnan varmistamiseksi. Joissakin tapauksissa voidaan rako käsitellä primerilla tartunnan parantamiseksi. Pienemmissä saumaustöissä käyttökelpoisimpia ovat patruunapakkauksissa olevat tuotteet. Suuremmissa tiivistyskorjauksissa isommissa kalvopakkauksissa olevat tuotteet ovat edullisempia. Akryyli- ja silikonimassat eivät välttämättä kiinnity pintoihin, vaan irtoavat ennen pitkää. Sen sijaan erilaiset uretaanipohjaiset tiivistysmassat (Sikaflex 11 FC tai vastaavat) ovat useissa kohteissa osoittautuneet kestäviksi. Myös palokatkomassoja voidaan haluttaessa käyttää.



Kuva 6.3 Laatan ja sokkelin liitossauman tiivistäminen tiivistysmassalla.

LÄHTEET

- Harderup, Lars-Erik. 1993. Golv på mark. fuktsäkerhet i byggnader. Byggeforskningsrådet. 68 s.
- Leivo V. ja Rantala J. (2000). Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. TTKK, Talonrakennustekniikka. Julkaisu 106. 124 s.
- Leivo V. ja Rantala J. (2003 a). Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK, Talonrakennustekniikka. Julkaisu 120. 106 s. + 13 liites.
- Leivo V. ja Rantala J. (2003 b). Maanvastaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. TTKK, Talonrakennustekniikka. Julkaisu 121. 33 s.
- Leivo V. ja Rantala J. (2005). Lattialämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. TTY, Talonrakennustekniikka. Tutkimusraportti 128. 140 s.
- Leivo V. and Rantala J. (2006). Seasonal Changes in Water Content of Subsoil Beneath Old Slab-on-ground Structures in Finland. *Journal of Building Physics*. April 2006. Vol. 29(4): 301-312.
- McFadden T. (1986). Moisture effects on extruded polystyrene insulation. 4th Internat. Specialty conf. On Cold Regions Eng., ASCE, 685-694.
- McFadden T. (1988). Thermal Performance Degradation of Wet Insulations in Cold Regions. *Journal of Cold Regions Engineering*, March 1988, Vol. 2(1): 25-34.
- Rantala J. and Leivo V. (2004). Thermal and Moisture Conditions of Coarse-grained Fill Layer Under a Slab-on-ground Structure in Cold Climate. *Journal of Thermal Envelope & Building Science*. July 2004. Vol. 28(1): 45-62.
- Rantala J. (2005a). Estimation of the Mean Temperature Distribution Underneath a Slab-on-ground Structure. *Journal of Building Physics*. July 2005. Vol. 29(1): 51-68.
- Rantala J. (2005b) Thermal Interaction between Slab-on-ground Structures and Subsoil in Finland. Dissertation Thesis. TUT, Publication 542. 150 p.
- Raudkivi A.J. ja Van U'u N. (1976). Soil Moisture Movement by Temperature Gradient. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. Vol. 102(12): 1225-1244.
- RIL-126. (1979). Rakennusten ja tonttialueiden kuivatus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.
- Seuri M. ja Reiman M. (1996). Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Rakennustieto.
- Sisäilmaohje. Helsinki (2003). Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. 93 s.

LIITTEET

Liite 1 Koekohdekortit 55 s.



Talonrakennustekniikan tutkimusraportit v. 1998 – 2006

- 139 Leivo, V, Rantala, J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. TTY 2006. 57 s. + 55 liites. 34,- €.
- 138 Heinisuo, M., Aalto, A., Stiffening of Steel Skeletons Using Diaphragms. TUT 2006. 31 p. 7 app. 34 €.
- 137 Kylliäinen, M., Talonrakentamisen akustiikka. TTY 2006. 205 s. 42 €.
- 136 Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Pentti, M., Conservation and Maintenance of Concrete Facades Technical Possibilities and Restrictions. TUT 2006. 29 p.
- 135 Heinisuo, M., Ylihärsilä, H., All metal structures at elevated temperatures. TUT 2006. 54 p. 37 app. 34 €.
- 134 Aho, H., Inha, T., Pentti, M., Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä. TTY 2006. 106 s. + 38 liites. 42 €.
- 133 Haukijärvi, M., Varjonen, S., Pentti, M., Julkisivukorjausten turvallisuus. TTY 2006. 25 s. + 111 liites.
- 132 Heinisuo, M., Kukkonen, J., Design of Cold-Formed Members Following New EN 1993-1-3. TUT 2005. 41 p. 34 €.
- 131 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J., Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. TTY 2005. 102 s. + 10 liites. 42 €.
- 130 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Valovirta, I. Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta diffuusion kannalta tarkasteltuna. 42 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 129 Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., Käkelä, P. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. TTY 2005. 101 s. + 211 liites. 42 €.
- 128 Leivo, V., Rantala, J., Lattialämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. TTY 2005. 140 s. 34 €.
- 127 Lahdensivu, J., Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. TTY 2003. 156 s. + 9 liites. 34 €.
- 126 Leivo, V., Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – vaikutus lämpöenergiankulutukseen. TTY 2003. 63 s.
- 125 Kylliäinen, M., Uncertainty of impact sound insulation measurements in field. TUT 2003. 63 p. + 50 app. 34 €.
- 124 Myllylä, P., Lod, T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli, toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari. TTY 2003. 143 s. + 6 liites. 34 €.
- 123 Mattila, J., Pentti, M., Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. TTY 2004. 69 s. 42 €.
- 122 Leivo, V., Rantala, J., Moisture Behavior of Slab-on-Ground Structures. TUT 2003. 100 p. + 12 app. 34 €.
- 121 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. TTKK 2002. 33 s. + 11 liites.
- 120 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK 2003. 106 s. + 13 liites. 34 €.
- 119 Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J., Paukku, E., Kosteusvirtatutkimus. TTKK 2002. 92 s. + 3 liites. 34 €.
- 118 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen, osa II. TTY 2003. 58 s. + 12 liites. 30 €.
- 117 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Comparison of the Moisture Behaviour of Timber-Framed Wall Structures in a One-Family House. 34 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 116 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. TTKK 2002. 54 s. + 11 liites. 34 €.



- 115 Junttila, T., Venäjän rakennusalan säädöstö ja viranomaishallinto, osa I ja II TTKK 2001. 97 s. 34 €
- 114 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakennusalan tuotekortit. TTKK 2001. 63 s. 34 €
- 113 Junttila, T., Lod, T., Aro, J., Rakennusinvestointihankkeen toteuttaminen Moskovassa. TTKK 2001. 112 s. + 11 liites. 34 €
- 112 Junttila, T., (toim.), Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa B: Talonrakennustekniikka. TTKK 2001. 174 s. 34 €
- 111 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa A: Liiketoimintaympäristö ja rakennushankkeen johtaminen. TTKK 2001. 173 s. + 21 liites. 34 €
- 110 Юнтила, Т. (под ред.), Управление недвижимостью в России. Теория и практические примеры. Технический университет Тампере 2001. 356 стр. + приложения на 33 стр. 34 €
- 109 Junttila, T., (toim.) Kiinteistöjohtaminen Suomessa ja Venäjällä. Edellytykset kiinteistöalan yhteistyölle. TTKK 2001. 293 s. + 54 liites. 34 €
- 108 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen. TTKK 2001. 80 s. + 7 liites. 34 €
- 107 Binamu, A., Lindberg, R., The Impact of Air Tightness of The Building Envelope on The Efficiency of Ventilation Systems with Heat Recovery. TTKK 2001. 62 p. + 7 app., 25 €
- 106 Leivo, V., Rantala, J., Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. TTKK 2000. 124 s. 34 €
- 105 Junttila, T. (toim.), Venäjän federaation kaavoitus- ja rakennuslaki. TTKK 2000. 49 s. 34 €
- 104 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Carbon Dioxide Permeability of Cellulose-Insulated Wall Structures. TUT 2000. 46 p. + 9 app. 25 €
- 103 Vinha, J., Käckelä, P., Water Vapour Transmission in Wall Structures Due to Diffusion and Convection. TUT 1999. 110 s. 34 €
- 102 Suonketo, J., Pessi, A-M., Pentti, M.,
- 101 Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Raunio-Lehtimäki, A. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. TTKK. 1999. 88 s. + 6 liites. 42 €
- 100 Pentti, M., Haukijärvi, M., Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. TTKK 2000. 2. täydennetty painos. 78 s. + 3 liites. 42 €
- 99 Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R., Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. TTKK 1999. 106 s. + 37 liites. 34 €
- 98 Mattila, J., Peuhkurinen, T., Lähiökerrostalon lisärakentamishankkeen tekninen esiselvitysmenettely. Korjaus- ja LVIS-tekninen osuus. TTKK 1999. 48 s.
- 97 Kylliäinen, M., Keronen, A., Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. TTKK 1999. 59 s. + 37 liites. 34 €
- 96 Vinha, J., Käckelä, P., Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK 2001. 3 painos. 81 s. + 29 liites. 34 €
- 95 Leivo, V. (toim.), Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. TTKK 1998. 157 s. 25 €
- 94 Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. TTKK 1999. 150 s. + 40 liites. 42 €
- 93 Lepo, K., Laatu järjestelmän kelpoisuus. TTKK 1998. 101 s. + 50 liites.
- 92 Berg, P., Malinen, P., Leivo, V., Internal Monitoring of The Technology Programme for Improving Product Development Efficiency in Manufacturing Industries – Rapid Programme. TUT 1998. 81 s. + 93 liites.
- 91 Berg, P., Salminen, K., Leivo, V., Nopeat tuotantojärjestelmät teknologiaohjelman painoalueet vuosille 1998-2000 sekä ohjelman arviointi- ja ohjaussuunnitelma. TTKK 1998. 55 s. + 37 liites.
- 90 Lindberg, R., Keränen, H., Teikari, M., Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. TTKK 1998. 34 s. + 26 liites.
- 89 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 42 €



- 88 Julkaisematon
87 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus.
Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 42 €

Tutkimusraportin hinta:

20 € + alv 8 %, ellei toisin ole mainittu. Oikeus hinnanmuutoksiin pidätetään.

Myynti:

**Tietokirjakauppa Juvenes, Korkeakoulunkatu 1, 33720 Tampere
Puh.(03) 3115 2351, faksi (03) 3115 2191 tai Tampereen teknillinen yliopisto,
Terttu Mäkipää puh. (03) 3115 4804, terttu.makipaa@tut.fi**

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1973
Käyttötarkoitus:	Koulu (poissa käytöstä kosteusongelmien vuoksi)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Luokkahuone, maanpinnan tasolla
Etäisyys ulkoseinästä (m):	0,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	0,1	1,2

Mikrobit

	15.3.2005	4.8.2005
Aktinomykeetit, cfu/g	37 720*	436 700**
Mesofiiliset sienet (yht.)	714	2 070
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05 Aureobasidium 225		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
betoni 80 mm
tervapaperi
EPS 50 mm
2-kertainen rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

Kantavien tiiliseinien alaosissa havaittu kosteusvaurioita.

*Muita bakteereja 223 870 cfu/g

**Muita bakteereja 1 233 500 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1973
Käyttötarkoitus:	Koulu (poissa käytöstä kosteusongelmien vuoksi)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Luokkahuone, maanpinnan tasolla
Etäisyys ulkoseinästä (m):	6
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	1,1	1,9

Mikrobit

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
Aktinomykeetit, cfu/g	6 155*	90 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	2 746***
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Aspergillus versicolor 225	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
betoni 85 mm
tervapaperi
EPS 50 mm
2-kertainen rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

Kantavien tiiliseinien alaosissa havaittu kosteusvaurioita.

*Muita bakteereja 5 888 cfu/g

**Muita bakteereja 6 125 000 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1978
Käyttötarkoitus:	Ammattikoulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Käytävä, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	Kevytsora	
Vesipitoisuus, paino-%		1,4

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	16 410*	2 607**
Mesofiiliset sienet (yht.)	315	1 843

Indikaattorilajit ja määrä

K-05 Aspergillus versicolor 180, Phialophora 45
 S-05 Aspercillus versicolor 989

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
 betoni 65 mm
 rakennusmuovi
 kevytsora >100 mm
 kantava laatta ??

Muita havaintoja:

Käytävässä havaittu 'maakellarin' hajua.

*Muita bakteereja 13 120 cfu/g

**Muita bakteereja 3 191 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1978
Käyttötarkoitus:	Ammattikoulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Käytävä, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	0,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	Kevytsora	
Vesipitoisuus, paino-%		3,2

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	847 800	459 200**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	30 620
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Tritirachium 13 960, Acremonium 13 060, Aspergillus versicolor 1 800, Aureobasium 1 350	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
betoni 100 mm
rakennusmuovi
kevytsora >100 mm
kantava laatta ??

Muita havaintoja:

Käytävässä havaittu 'maakellarin' hajua.

**Muita bakteereja 13 500 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1966
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		1,9

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	45 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	1082	24 250

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Aspercillus versicolor 1 350, Acremonium 450,
Chaetomium 450**Rakenne:** ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
betoni 80mm
hiekkä

Muita havaintoja:

*muita bakteereja 574 cfu/g.

**muita bakteereja 2 430 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1934
Käyttötarkoitus:	Koulu (vanha osa)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	7
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	17.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		0,7

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	148 700**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	50 030
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Aspercillus versicolor 450	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali, paikoitellen
betoni 70 mm
bitumi
betoni 70 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

*muita bakteereja 179 cfu/g.
**muita bakteereja 757 300 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1960???
Käyttötarkoitus:	Koulu (laajennus osa)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, pääosin maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	17.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		2,8

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	588 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	13 050
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Aspergillus versicolor 2 250, Acremonium 1 350, Exophiala 450, Fusarium 450	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali, paikoitellen
betoni 90 mm
bitumi
betoni 70 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 77 070 cfu/g
**Muita bakteereja 10 264 000 cfu/g

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1985
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Siivouskomero, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	8
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	17.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	Kevytsora	
Vesipitoisuus, paino-%		0,5

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0	0
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	0
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
betoni 120 mm
kevytsora >100 mm

Muita havaintoja:



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1962, peruskorjattu kouluksi 2000
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Siivouskomero, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	8
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	17.3.2005	4.8.2005
Maalaji:	sora	
Vesipitoisuus, paino-%	1,1	0,6

Mikrobit

	0*	72 100**
Aktinomykeetit, cfu/g		
Mesofiiliset sienet (yht.)	180	7 881

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Aspercillus versicolor 6 126, Fusarium 1 035
Scopulariosis 225**Rakenne:** ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 100 mm
EPS 50 mm
sora

Muita havaintoja:

Vanha teollisuuskiinteistö

*Muita bakteereja 670 600 cfu/g

**Muita bakteereja 441 400 cfu/g

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1961
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Kokoushuone, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	Pohjavesi hyvin lähellä

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	21.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		10,4

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	5 182*	229 700***
Mesofiiliset sienet (yht.)	135	454 900

Indikaattorilajit ja määrä

K-05 Acremonium, 135
S-05 Acremonium 454 900, Aspergillus versicolor, Fusarium

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 90 mm
Toja-levy, maatonut **
bitumi
betoni 80 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Tiloissa havaittu kosteusongelmia.

*Muita bakteereja 270 cfu/g

**Toja:ssa aktinomykettejä 6 350 000, bakteerit yht. 12 070 000 sekä sieniä 450 cfu/g, joista Aspergillus versicolor (45) Exophiala (45) ja Phialophora (45 cfu/g).

***Muita bakteereja 981 900 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1910, peruskorjaus 1982
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	2
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	21.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		1,9

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	450 *	270 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	90 000
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Acremonium 90 000, Trichoderma	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
 asfaltti 20 mm
 Betoni 100 mm
 hiekka

Muita havaintoja:
 Harjun kupeessa.

*Kokonaisbakteerit 222 510 cfu/g
 **Muita bakteereja 5 674 000 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1962
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Pyykinpesuhuone, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	0,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	23.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		13,8

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	180 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	676	9 782

Indikaattorilajit ja määrä

K-05 Trichoderma, 135
 S-05 Phialophora 1 578, Aspergillus vers. 1 037,
 Oidiodendron 225

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
 Tasoite
 65 mm
 bitumi (ohut)
 betoni 100
 hiekka

Muita havaintoja:

Korjattu vanhasta myymälästä.

* Kokonaisbakteerit 13 784 000 cfu/g

** Kokonaisbakteerit 4 959 000 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1970
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	21.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		4,9

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	1 320 200**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	757 000

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Acremonium 743 500, Aspergillus vers. 4 500,
Tritirachium 4 500**Rakenne:** ylhäältä alas

Muovimatto, laatat
betoni 60 mm
rakennusmuovi
betoni 80 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Louhittu kallioon. Ulkopuolisten routa- ja vedeneristysten parantaminen syksyllä 2005.

*muita bakteereja 45 cfu/g.

*muita bakteereja 992 200 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1954
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti (peruskorjattu)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Käytävä, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	23.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		8,7

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	0**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	1 485
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Acremonium 1 350	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 100 mm
bitumi
betoni 60 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Kellarin käyttötiloihin osaan tehty "tuulettuva lattia".

* Kokonaisbakteerit 14 330 000 cfu/g.

**Kokonaisbakteerit 2 746 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1974
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	10
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	23.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		1,5

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	324 100***
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	9 542

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Acremonium 3 871, Aspergillus vers. 540, Tritirachium 270, Fusarium 90

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 80 mm
tervapaperi
mineraalivilla 30 mm**
rakennusmuovi
betoni 70 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Lattioissa kosteusongelmia. Perustettu sorapatjalle (1,4 m)

*Muita bakteereja 6 676 cfu/g

**Villassa bakteereja 270 cfu/g.

***Muita bakteereja 2 057 100 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1979
Käyttötarkoitus:	Perhekeskus

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Pyykinkuivaushuone, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	2
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	23.3.2005	16.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		0,7

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	360*	27 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	45	12 125
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Oidiodendron, 45 S-05 Acremonium 10 953, Aspergillus vers. 316, Tritirachium 225, Fusarium 90	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto, kost.tilat
betoni 45 mm
EPS 50 mm
betoni 40 mm
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

* Kokonaisbakteerit 17 202 cfu/g.
** Kokonaisbakteerit 464 300 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1911
Käyttötarkoitus:	Paloasema

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	1.4.2005	11.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		2

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	450*	3 738**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	225
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Maali, paikoitellen
betoni 60 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Tiloissa havaittu kosteusongelmia, poistettu käytöstä.
Perustukset painuneet.

* Muita bakteereja 48 660 cfu/g.

** Muita bakteereja 1 981 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1969
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Portaiden alla, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	1.4.2005	11.8.2005
Maalaji:	ei saatu	
Vesipitoisuus, paino-%		

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g			
Mesofiiliset sienet (yht.)			
Indikaattorilajit ja määrä			
K-05			
S-05			

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto (laatat)
betoni 80 mm
rakennusmuovi
mineraalivilla 2x50 mm*
betoni 150 mm
muottilaudoitus**
ilmatila n. 1130 mm

Muita havaintoja:

*Mineraalivillassa muita bakteereja 947 ja indikaattorihiivasientä *Rhodotorula* 45 cfu/g.
**puussa aktinomykettejä 991 000, muita bakteereja 18 823 000 ja indik.homesieniä *Exophiala* 111 680 cfu/g ja *Fusarium*



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1969
Käyttötarkoitus:	Palloiluhalli

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Portaiden alla, maanpinnan alapuolella
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	1.4.2005	11.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		4,9

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	<450 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	6 616

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Acremonium 2 971, Phialophora 990, Aspergillus vers. 180,
Scopulariopsis 90, Phoma 45**Rakenne:** ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 135 mm
EPS 50 mm**
betoni 120
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

* Muita bakteerija 1 215 cfu/g.

** EPS:ssä ei bakteereja eikä sieniä.

*** Muita bakteerija 31 790 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1910
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	1.4.2005	11.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		1

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g		33 800***
Mesofiiliset sienet (yht.)		30 640
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 80 mm
Toja-levy**
hiekkä

Muita havaintoja:

** Tojassa ei bakteereja, eikä sieniä.

*** Muita bakteerija 10 820 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1963
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Halli, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	1.4.2005	
Maalaji:	hiekkä? ei saatu näytettä	
Vesipitoisuus, paino-%		

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g			Raja: > 500 cfu/g
Mesofiiliset sienet (yht.)			Raja: > 10 000 tai indik.lajeja
Indikaattorilajit ja määrä			
	K-05		
	S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Maali, paikoitellen
betoni
Toja-levy+ mineraalivilla*
betoni ?

Muita havaintoja:

*Tojassa bakteereja 17 217 000, sieniä yhteensä 149 130, josta indik. Tritirachium 69 390, Acremonium 43 700 ja Aspergillus versicolor 900 cfu/g

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Keittiö, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2005	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	1,0	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	45*	
Mesofiiliset sienet (yht.)	45	
Indikaattorilajit ja määrä	Cladosporium, 45	

Rakenne: ylhäältä alas

Ei pinn.
betoni 50 mm
EPS 50 mm
rakennusmuovi
betoni 70 mm
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

Tilat peruskorjauksessa.

*muita bakteereja 45 cfu/g.

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Autotalli, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2005	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	1,9	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	306 500*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	225		
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Acremonium, 225 S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Ei pinn.
betoni 130 mm
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 171 300 cfu/g.

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2001
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Ulkovälinevarasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	4.4.2005	28.7.2005
Maalaji:	sora	
Vesipitoisuus, paino-%	1,7	0,4

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	44 550**
Mesofiiliset sienet (yht.)	225	1 260
Indikaattorilajit ja määrä		
	K-05 Oidiodendron, 90	
	S-05 Acremonium 675, Fusarium 45	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali + tasoite
betoni 100 mm
EPS 100 mm**
sora

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 8 740 000 cfu/g

**EPS:ssä bakteereja 22 971 000, sieniä 72 524 cfu/g, joista indik. Rhodotorula 2 238, Acremonium 6 268 cfu/g.

***Muita bakteereja 50 400 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1990
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Ulkovälinevarasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	4.4.2005	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,3	1,9

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	?*	315 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	90	6 391
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Acremonium 45, Oidiodendron 45 S-05 Acremonium 5 221, Aspergillus vers. 45, Oidiodendron 45 Fusarium 45	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 70 mm
EPS 2x50 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

* Muita bakteereja 22 238 000 (voi peittää aktinomykeetit)

**Muita bakteereja 7 157 000 cfu/g



Kohteen tiedot	
Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta	
Tila:	Parkkihalli, maanpinnan alapuolella
Etäisyys ulkoseinästä (m):	15
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	8.4.2005	2.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	3,0	2,2

Mikrobit			
Aktinomykeetit, cfu/g	0*	8 200***	
Mesofiiliset sienet (yht.)	360	1 035	
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Acremonium, 90 S-05 Rhodotorula 135, Acremonium 450, Aspergillus vers. 450		

Rakenne: ylhäältä alas

Ei pinn.
betoni 140 mm
EPS 50 mm**
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 25 960 000 cfu/g.
**Bakteereja yht. 11 111, joista aktinomykettejä 2 744 sekä homesieniä 1 395, joista indik. Acremonium 720 ja Aspergillus versicolor 360 cfu/g
***Muita bakteereja 745 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2004
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	8.4.2005	2.8.2005
Maalaji:	murske	
Vesipitoisuus, paino-%	0,7	0,6

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	4 500***
Mesofiiliset sienet (yht.)	276	2 615
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05	Fusarium 184, Acremonium 46	
S-05	Fusarium 2 074	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 65 mm
EPS 100 mm**
murske

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 3 043 000 cfu/g.
** EPS:ssä muita bakteereja 1 613 cfu/g.
*Muita bakteereja 1 596 300 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	8.4.2005	2.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	1,2	1,1

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	4 500*	90 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	225	19 348
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Acremonium 45, Exophiala 45 S-05 Aspergillus ver. 5 399, Acremonium 3 150, Fusarium 450	

Rakenne: ylhäältä alas

Ei pinn.
betoni 80 mm
valupaperi
EPS 2x50 mm**
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 467 700 cfu/g.

**Muita bakteereja 64 025 000 cfu/g skeä sieniä 43 827, joista indik. Acremonium 24 709 ja Aspergillus versicolor 721 cfu/g.

***Muita bakteereja 2 340 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2002
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Porrashuone, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	8.4.2005	2.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	1,4	1,5

Mikrobit

	8 200*	180 000***
Aktinomykeetit, cfu/g		
Mesofiiliset sienet (yht.)	991	2 249
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Fusarium 135, Acremonium 45, Aurebasidium 45	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto (laatat)
betoni 95 mm
EPS 2x50 mm*
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 623 100 cfu/g.

**bakteereja 187 730, joista aktinomykeettejä 23 310 cfu/g sekä sieniä 9 994, joista indik. Acremonium 4 727 ja Phialpohora 675.

***Muita bakteereja 4 856 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2003
Käyttötarkoitus:	Asuinkiinteistö

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Ulkovälinevarasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	8.4.2005	
Maalaji:	? ei maahan asti	
Vesipitoisuus, paino-%		

Mikrobit

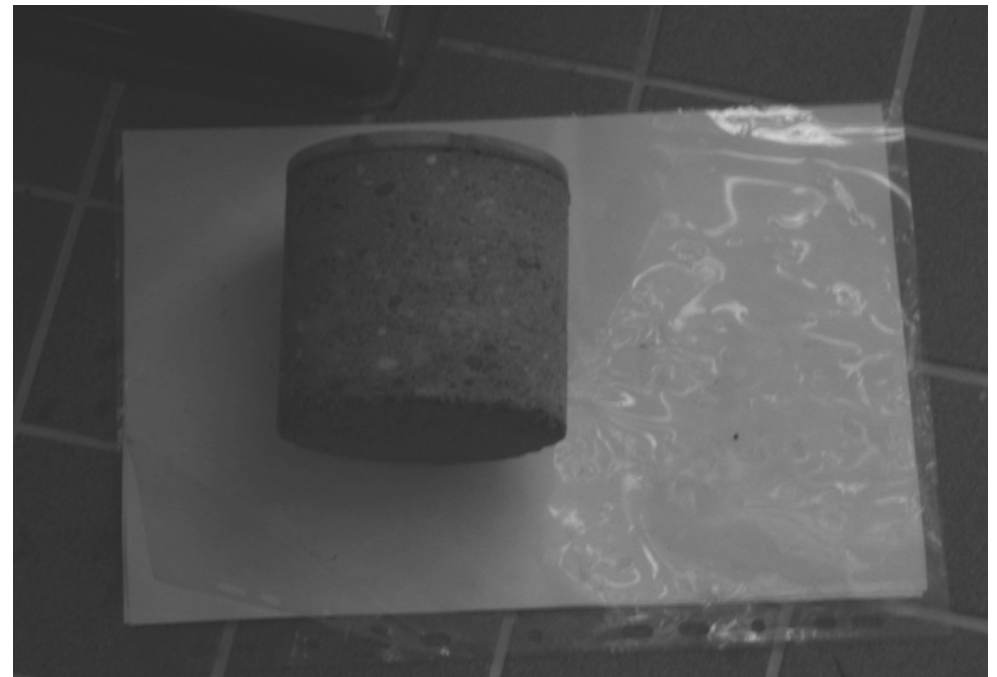
Aktinomykeetit, cfu/g			
Mesofiiliset sienet (yht.)			
Indikaattorilajit ja määrä			
K-05			
S-05			

Rakenne: ylhäältä alas

Keraamiset laatat
betoni 100 mm
EPS 100 mm**
kantava betonilaatta?

Muita havaintoja:

**EPS:ssä bakteereja 1 893 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1976
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Tekninen tila, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	8.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	1,8	1,4

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	7 200*	158 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	405	5 112
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Fusarium, 45 S-05 Acremonium 1 260, Fusarium 473, Aspergillus vers. 203 Phialophora 203	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
 betoni 80 mm
 EPS 50 mm**
 rakennusmuovi
 hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 31 950 cfu/g.

**Muita bakteereja 454 300 000 cfu/g. Sieniä 5 182, joista ind. Rhodotorula 585 ja Phoma 270 cfu/g.

***Muita bakteereja 1 350 000 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1980
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Lämmönjakuhuone, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	4
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	8.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,4	2,4

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	<450 000*	164 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	2 522	4 367

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Acremonium 1 396, Aspergillus vers. 45,
Aureobasidium 45, Tritirachium 45**Rakenne:** ylhäältä alas

Ei pinn.
betoni 100 mm
EPS 100 mm**
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 23 630 000 cfu/g.

**Muita bakteereja 447 080, sieniä 0 cfu/g.

***Muita bakteereja 12 372 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1976
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto, osittain maanpinnan alapuolella
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1 (maanpaineeseen)
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	8.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	5	3,5

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	142 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	45	9 090
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto (laatat)
betoni 80 mm
EPS 50 mm**
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

Kosteusongelmia, maanpaineeseiniä vesieristetty.

*Muita bakteereja 15 472 000 cfu/g.

**Muita bakteereja 40 729 000, sieniä 94 390 cfu/g, joista ind. Oidiodendron 36 410 ja Acremonium 5 390 cfu/g.

***Muita bakteereja 12 789 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1980
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Lämmönjakuhuone, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	8.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	0,1	0,1

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	90***
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	0
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05		

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 70 mm
EPS 100 mm**
hiekkä

Muita havaintoja:

Hiekkä huomattavan kuivaa, maassa kulkenee lämpöputki.

*Muita bakteereja 495 cfu/g.

**Muita bakteereja 11 148 cfu/g, sieniä 0.

*Muita bakteereja 1 171 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1972
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Kirjasto, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	4
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	8.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	4,9	2,1

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	45 000*	45 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	45	4 549
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Acremonium 3 184	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto (laatat)
betoni 70 mm
EPS 50 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Liikuntasauaman (ei eristettä) kohdalta laatat irronneet ja mitattu kohonneita kosteuksia, kesällä korjattaneen.

*Muita bakteereja 3 686 000 cfu/g.

***Muita bakteereja 2 524 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1930-l
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Käytävä, kellarissa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.4.2005	9.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		3,5

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	450*	270 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	17 570
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05		
S-05	Acremonium 1 350, Aspercillus vers. 450, Fusarium	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali, paikoitellen
betoni 50 mm
bitumi (ohut)
betoni 80 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 59 920 cfu/g
**Muita bakteereja 3 244 000 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1990
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Pukuhuone, pääosin maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	0,5 (maanpaineisestä)
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	9.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,5	1,8

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	8 100*	261 800**
Mesofiiliset sienet (yht.)	45	30 170
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05	Phialophora, 45	
S-05	Exophiala 90	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto (kostean tilan)
betoni 95 mm
EPS 50 mm
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 80 070 cfu/g.
**Muita bakteereja 106 400 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1990
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Leikkihuone, pääosin maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.4.2005	9.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	0,7	1,8

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	45 000*	738 000***
Mesofiiliset sienet (yht.)	630	30 170
Indikaattorilajit ja määrä	Acremonium, 540	
K-05	Acremonium 9 910, Aspergillus ver. 9 910,	
S-05	Aureobasidium 900	

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 110 mm
EPS 100 mm**
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

*Muita bakteereja 4 678 000 cfu/g.

**Muita bakteereja 231 392 cfu/g. Sieniä 270, joista ind. Aspergillus versicolor 90 cfu/g.

***Muita bakteereja 2 541 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1930-I
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Portaiden alta, kellarista
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	pohjavesi lähellä

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	14.4.2005	9.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%		3,8

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	6 360 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	0	26 120

Indikaattorilajit ja määrä

K-05

S-05

Aspergillus vers. 2 250, Chaetomium 1 800,
Fusarium 450, Acremonium 450**Rakenne:** ylhäältä alas

Maali
betasoite 20 mm
betoni 60 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Perustettu vanhaan järven pohjaan.

*Muita bakteereja 459 200 cfu/g.

**Muita bakteereja 3 180 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1920-l, peruskorjataan
Käyttötarkoitus:	Toimisto

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Portaiden alta, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.4.2005	9.8.2005
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	6,6	3,7

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	40 900*	3 425 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	3 914	64 880
Indikaattorilajit ja määrä	K-05 Acremonium, 270 S-05 Acremonium 2 700, Aspergillus vers. 1 350, Exophiala 900	

Rakenne: ylhäältä alas

Maali
betoni 50 mm
EPS 50 mm
rakennusmuovi
hiekkä

Muita havaintoja:

Vanhasta varuskuntakiinteistöstä tehdään toimisto.
Maanvarainen laatta uusittu (Ku04/1, 36) muulta paitsi portaikosta.

*Muita bakteereja 728 600 cfu/g.

**Muita bakteereja 2 388 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1920-l, peruskorjataan
Käyttötarkoitus:	Toimisto

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Tekninen tila, maanpinnan tasossa
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	15.4.2005	9.8.2005
Maalaji:	murske	
Vesipitoisuus, paino-%	0,8	0,3

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	18 000**
Mesofiiliset sienet (yht.)	451	692 300
Indikaattorilajit ja määrä		
K-05	Rhodotorula, 45	
S-05	Acremonium 238 300	

Rakenne: ylhäältä alas

Ei pinn.
betoni 80 mm
polystyreeni 100 `Finnfoam`
murske

Muita havaintoja:

Vanhasta varuskuntakiinteistöstä tehdään toimisto.
Maanvarainen laatta uusittu (Ku04/1, 36) muulta paitsi portaikosta.

*Muita bakteereja 109 510 cfu/g.

*Muita bakteereja 157 200 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1993
Käyttötarkoitus:	Koulu (luokkahuoneeksi muutettu juhlasali, kosteusongelmia)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Luokkahuone, n. 1 m maanpinnan alla
Etäisyys ulkoseinästä (m):	0,7
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	16.2.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	3,9	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	25 000*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	1 305		
Indikaattorilajit ja määrä			
K-06	Aspergillus vers. 450, Acremonium 135		
S-06	Aspergillus versicolor voi tuottaa toksineja		

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto, poistettu
betoni 120 mm
EPS 2x50 mm
hiekkä (humuspitoisuus 0,61%)

Muita havaintoja:

Ulkoseinässä kosteusongelmia, seinän alaosaa ja vieruslaattaa kuivatetaan (pinnoite poistettu).

* Muita bakteereja 2 130 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1993
Käyttötarkoitus:	Koulu (luokkahuoneeksi muutettu juhlasali, kosteusongelmia)

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Luokkahuone, n. 1 m maanpinnan alla
Etäisyys ulkoseinästä (m):	2,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	17.2.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	3,0	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	10 810*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	765		
Indikaattorilajit ja määrä			
K-06	Aspergillus vers. 45		
S-06	Aspergillus versicolor voi tuottaa toksineja		

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 120 mm
EPS 2x50 mm
hiekkä (humuspitoisuus 0,55%)

Muita havaintoja:

Ulkoseinässä kosteusongelmia, seinän alaosaa ja vieruslaattaa kuivatetaan (pinnoite poistettu).

* Muita bakteereja 217 030 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1990??
Käyttötarkoitus:	Terveysasema

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Käytävä
Etäisyys ulkoseinästä (m):	0,8
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	17.2.2006	
Maalaji:	sepeli	
Vesipitoisuus, paino-%	0,9	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	13500*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	1 035		
Indikaattorilajit ja määrä			
K-06	Acremonium 225		
S-06			

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 100 mm
EPS 100 mm
sepeli

Muita havaintoja:

* Muita bakteereja 711 100 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2003
Käyttötarkoitus:	Päihdehuolto

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Portaikon alla
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	22.2.2006	
Maalaji:	sora	
Vesipitoisuus, paino-%	1,1	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	1 484 000*	Raja: > 500 cfu/g
Mesofiiliset sienet (yht.)	1 233	Raja: > 10 000 tai indik.lajeja
Indikaattorilajit ja määrä		
K-06	Fusarium 200, Acremonium 100	
S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 100 mm
EPS 120 mm
sora

Muita havaintoja:

Kohteessa radonputkisto katolle.

* Muita bakteereja 6 294 000 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2003 (laajennusosa)
Käyttötarkoitus:	Sosiaali- ja terveysasema

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Portaikon alla
Etäisyys ulkoseinästä (m):	4
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	22.2.2006	
Maalaji:	sora	
Vesipitoisuus, paino-%	1,4	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	14 860*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	1 136		

Indikaattorilajit ja määrä

K-06

S-06

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 100 mm
EPS 100 mm
sora

Muita havaintoja:

* Muita bakteereja 168 470 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2005 (peruskorjauksessa)
Käyttötarkoitus:	Virasto

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	toimistotila
Etäisyys ulkoseinästä (m):	4
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	22.2.2006	
Maalaji:	1.lk sora	
Vesipitoisuus, paino-%	1,6	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	18 000	
Mesofiiliset sienet (yht.)	315	
Indikaattorilajit ja määrä		
K-06	Exophiala 45	
S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

ei pinnoitusta
betoni 100 mm
EPS 70 mm
1. lk. salaojasora

Muita havaintoja:

Laatta valettu kesällä 2005.

* Muita bakteereja 2 632 800 cfu/g.



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	? (lattia korjattu 2000-luvulla)
Käyttötarkoitus:	Päiväkoti

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1,5
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	24.2.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	9,5 (kastunut)	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	0*	
Mesofiiliset sienet (yht.)	33	
Indikaattorilajit ja määrä		
K-06		
S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto+ tuuletusmatto Trelleborg
betoni 80 mm (uusi)
Leca-sora 100 mm (uusi)
vanha betonilaatta 70 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Rakenteeseen asennettu ns. terveyslattia (Trelleborg) kosteus-ongelmien vuoksi

*Muita bakteereja 32 000 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2000 (peruskorjattu, alapohja uusittu)
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Varasto
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	24.2.2006	
Maalaji:	sora	
Vesipitoisuus, paino-%	0,5	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	1 350		
Mesofiiliset sienet (yht.)	405		
Indikaattorilajit ja määrä	Oidiodendron 180, Acremonium 135		
K-06			
S-06			

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 80 mm
EPS 2x50 mm
muovikalvo
sepeli

Muita havaintoja:

Alapohjarakenne uusittu kokonaan vuonna 2000

*Muita bakteereja 80 110 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	2004 (peruskorjaus, alapohja uusittu)
Käyttötarkoitus:	Koulu

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Ruokala
Etäisyys ulkoseinästä (m):	2
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	24.2.2006	
Maalaji:	sora	
Vesipitoisuus, paino-%	0,3	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	7200*	
Mesofiiliset sienet (yht.)	45	
Indikaattorilajit ja määrä		
K-06	Acremonium 45	
S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

muovimatto
betoni 125 mm
EPS 70 mm
sora

Muita havaintoja:

Alapohjarakenne uusittu kokonaan vuonna 2004.

*Muita bakteereja 9 400 cfu/g



Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Rivitalo

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Asuinhuone
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,1	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	900*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	540		
Indikaattorilajit ja määrä	K-06 Acremonium 180, Fusarium 135 S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 80 mm
EPS 100 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Lattiapinnoitteet uusitaan putkivuodon ja huoneiston välisen seinän kosteusongelmien vuoksi.

*Muita bakteereja 190 000 cfu/g

Mikrobialaalyysit myös EPS:stä soraan ja betonia vasten sekä muovimaton alapinnasta.

EPS, betoni vasten: ei bakteereja, eikä homesieniä
EPS, maata vasten: aktinomykeettejä 20 236 (muita bakteereja 3 148),
indikaattorilajeja Fusarium 13 491, Acremonium 11 242
Muovimaton alapinta: ei bakteereja, eikä homesieniä

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Rivitalo

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Asuinhuone
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,7	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	4 050*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	540		
Indikaattorilajit ja määrä	K-06 Fusarium 90 S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 80 mm
EPS 100 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Lattiapinnoitteet uusitaan putkivuodon ja huoneiston välisen seinän kosteusongelmien vuoksi.

*Muita bakteereja 156 710 cfu/g

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Rivitalo

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Asuinhuone
Etäisyys ulkoseinästä (m):	1
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,3	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	3 150*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	225		
Indikaattorilajit ja määrä	K-06 Acremonium 90 S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 80 mm
EPS 100 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Lattiapinnoitteet uusitaan huoneiston välisen seinän kosteusongelmien vuoksi.

*Muita bakteereja 77 970 cfu/g

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Rivitalo

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Asuinhuone
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:

	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,4	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	8 200 *		
Mesofiiliset sienet (yht.)	720		
Indikaattorilajit ja määrä	K-06 Acrem. 270, Fusarium 90, Asperg.vers. 45, Phialophora 45 S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 80 mm
EPS 100 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Lattiapinnoitteet uusitaan huoneiston välisen seinän kosteusongelmien vuoksi.

*Muita bakteereja 1 694 500 cfu/g

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi:	1998
Käyttötarkoitus:	Rivitalo

Tiedot mittauspaikasta

Tila:	Asuinhuone
Etäisyys ulkoseinästä (m):	3,3 (30 cm Ta02/1/2:sta)
Pohjavesi/ pohjamaakontakti	

Tulokset:	Mittaus 1, pvm	Mittaus 2, pvm
	10.3.2006	
Maalaji:	hiekkä	
Vesipitoisuus, paino-%	2,7	

Mikrobit

Aktinomykeetit, cfu/g	37 350*		
Mesofiiliset sienet (yht.)	585		
Indikaattorilajit ja määrä	K-06 Acremonium 180, Fusarium 90, Oidiodendron 45 S-06		

Rakenne: ylhäältä alas

Muovimatto
betoni 80 mm
EPS 100 mm
hiekkä

Muita havaintoja:

Lattiapinnoitteet uusitaan huoneiston välisen seinän kosteusongelmien vuoksi.

*Muita bakteereja 204 310 cfu/g

Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennetekniikan laitos
PL 600
33101 Tampere

Tampere University of Technology
Institute of Structural Engineering
P.O.B. 600
FI-33101 Tampere, Finland

ISBN 952-15-1701-8
ISSN 1796-3206