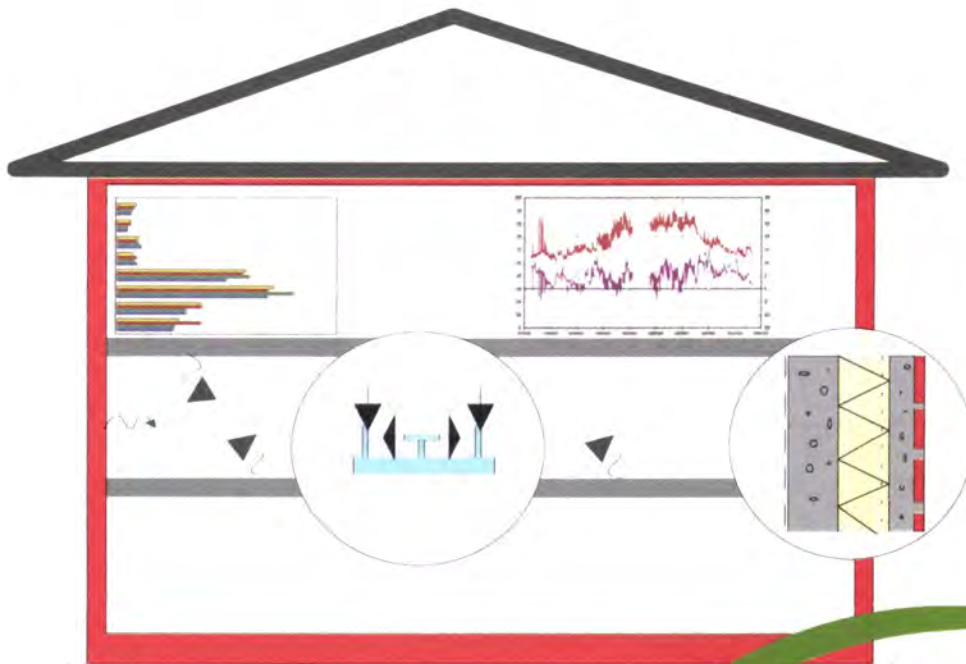




Rakenneratkaisut ja sisäilman laatu

1990-luvun asuinkerrostalotutkimus



*Martti Viljanen, Ari-Veikko Kettunen,
Mari Makkonen, Riikka Kangas ja
Päivi Järnefelt*

Helsinki 1998

Martti Viljanen, Ari-Veikko Kettunen, Mari Makkonen, Riikka Kangas ja Päivi Järnefelt

RAKENNERATKAISUT JA SISÄILMAN LAATU
1990-luvun asuinkerrostalotutkimus

Helsingin kaupungin ympäristökeskus
Helsinki 1998

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SAMMANDRAG

ESIPUHE

1. JOHDANTO	11
2. RAKENTEIDEN PÄÄSTÖISTÄ SISÄILMAAN KOHDISTUVA KUORMITUS	13
2.1. Päästö	13
2.2. Sisäilman epäpuhtauksien ohjearvot ja tavoitearvot	14
2.3. Mikrobit ja kaasumaiset epäpuhtaudet	14
3. TUTKIMUSOHJELMA JA MITTAUSTULOKSET	17
3.1. Tutkimuskohteet	17
3.2. Mittausohjelma	27
3.3. Rakennustekniset mittaukset	30
3.4. Epäpuhtausmittaukset	43
4. TULOSTEN TARKASTELU	52
5. YHTEENVETO	57

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

- Liite 1 Tutkimuskohteiden rakennetyypit
- Liite 2 Mittauskohteiksi valittujen kiinteistöjen rakennusvaiheet ja säätiedot
- Liite 3 Yksityiskohtaiset mittausohjelmat
- Liite 4 Rakennusfysikaaliset mittaustulokset
- Liite 5 VOC-mittaustulokset
- Liite 6 Ammoniakkimittaustulokset
- Liite 7 Kaikkien asuntojen formaldehydimittaustulokset

TIIVISTELMÄ

Rakennusasiakirjoihin perustuvan rakenneteknisen selvityksen perusteella valittiin kahdeksan kiinteistön joukosta kaksi rakenteellisesti ja asukasryhmältään mahdollisimman samanlaista rakennusta. Toisesta oli tullut Helsingin kaupungin ympäristökeskukseen toimenpidepyyntöjä (rakennus A) ja toisesta ei (rakennus B). Näissä rakennuksissa tehtiin rakennusfysikaalisia mittauksia, joiden perusteella arvioitiin rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä ja rakennusten painesuhteita mittaushetkellä. Rakennukset edustavat tyypillisiä 1990-luvun betoni-sandwich asuinkerrostaloja.

Tutkimuksessa arvioitiin rakennusaikaisten sääolosuhteiden merkitystä. Rakennusasiakirjoista arvioitiin kriittinen ajanjakso, jonka aikana rakennuksen ulkovaippa ei ollut vielä valmis ja rakenteet olivat sateelle alttiina, minkä vuoksi kohteessa jouduttiin käyttämään tilapäisiä sadesuojaratkaisuja. Kohteessa A kriittinen aika oli 198 vuorokautta ja kohteessa B 85 vuorokautta. Mitä pidempi kriittinen aika on sitä suurempi on sadesuojausta rasittavan rankkasateen todennäköisyys. Rakenneteknisten selvitysten perusteella ei voitu arvioida, kuinka tutkimuskohteissa sadesuojaus ja rakenteiden kuivaus oli toteutettu. Rakentamisaika oli rakennuskosteuden kuivumisen kannalta rakennuksessa B selvästi suotuisampi kuin rakennuksessa A.

Rakenteista mitatut kosteuspitoisuudet olivat alhaisia ja rakennusten A ja B välillä rakenteiden kosteuspitoisuuserot olivat pieniä. Sen sijaan korkeita kosteuspitoisuuksia mitattiin rakennuksen B ja rakennuksen A toisen päädyn ryömintätilasta. Tutkimuksessa ei mitattu ryömintätilan mikrobipitoisuuksia. Huoneilmasta mitatut homeitiöpitoisuudet olivat pääsääntöisesti alhaiset. Kohonneita sädesienipitoisuuksia mitattiin kahdesta huoneistosta. Sädesienipitoisuudet saattoivat johtua todetusta vesivahingosta tai ryömintätilasta tulevista ilmavuodoista. Paine-eromittausten perusteella huoneistot ovat pääsääntöisesti alipaineiset ryömintätilaan ja porraskäytävään nähden.

Epäpuhtausmittausten mukaan kohteet sijoittuvat sisäilmaluokituksessa asuntojen 5 ja 6 korkeita ammoniakkipitoisuuksia lukuun ottamatta vähintään luokkaan S3. Epäpuhtausmittauksilla ei löydetty yksiselitteistä tekijää, joka olisi syynä asukkaiden kokemuksiin terveyshaittoihin ja niistä johtuviin toimenpidepyyntöihin.

Rakennusasiakirjojen merkitystä huoneilman laatuun ei pystytty arvioimaan, koska arviointia varten ei löytynyt kaikkia tarvittavia tietoja. Tietojen keräämiseksi tulisi uudisrakennustuotannossa menetellä siten, että kootaan sisäilman laadun arviointiin tarvittavat rakennetekniset tiedot ja rakennusaikaiset olosuhdetiedot omaksi asiakirjakokonaisuudekseen. Tutkimustiedon lisääntyessä voidaan helposti sulkea pois sellaiset rakennusasiakirjat, jotka ovat osoittautuneet usein toimenpidepyyntöjä aiheuttaviksi. Asuntojen korjauksista tulisi muodostaa oma tietokanta, jota voidaan hyödyntää kohonneiden epäpuhtauspitoisuuksien syiden etsimisessä ja oikeiden korjausmenetelmien valinnassa. Tietokannan kasvaessa voidaan tarvittavien epäpuhtauspitoisuusmittausten ja rakennusfysikaalisten mittausten määrää merkittävästi vähentää.

SAMMANDRAG

På grundval av en byggteknisk utredning som baserade sig på bygghandlingarna utvaldes bland åtta fastigheter två som byggnadsmässigt och i fråga om invånargrupp var så lika som möjligt. Från den ena fastigheten (fastighet A) hade Helsingfors stads miljöcentral fått anhållan om åtgärder men inte från den andra (fastighet B). I dessa hus mätte man föroreningarna. Dessutom gjordes byggnadsfysikaliska mätningar av husens värme- och fukttekniska egenskaper och tryckförhållanden vid mättillfället. Husen är byggda med den för 1990-talet typiska betong-sandwich-metoden.

Vid undersökningen bedömde man betydelsen av väderförhållandena under byggtiden. Av bygghandlingarna slöt man sig till den kritiska tidsperiod när husets tak och fasader inte ännu var färdiga och konstruktionerna därför måste skyddas mot regn med tillfälliga regnskydd. I hus A var den kritiska tiden 198 dygn och i hus B 85 dygn. Ju längre den kritiska tiden är, desto större är sannolikheten för häftigt regn som frestar på regnskyddet. På basis av de byggtekniska utredningarna kunde man inte avgöra hur regnskyddet och torkningen av konstruktionerna hade utförts. Med tanke på möjligheten för byggfukten att torka byggdes hus B under en klart gynnsammare tid än hus A.

I konstruktionerna uppmättes låga fukthalter, och skillnaderna härvidlag mellan hus A och B var obetydliga. Däremot påträffades höga fukthalter i kryprummet till hus B och i kryprummet i ena gaveln av hus A. Mikrohalterna i kryprummen mättes ej. Halten av mögelsporer i rumsluften var som regel låg. Förhöjda halter av strålsvamp uppmättes i två lägenheter. Strålsvamphalterna kan ha berott på en konstaterad vattenskada eller på luftläckage från kryprummet. Enligt tryckmätningarna råder det i regel undertryck i lägenheterna i förhållande till kryprummet och trapphuset.

Föroreningsmätningarna visar att objekten fränsett lägenheterna 5 och 6 där höga ammoniakhalter uppmättes hör till minst klass S3 på skalan för inomhusluft. Genom föroreningsmätningarna kunde man inte fastslå någon faktor som entydigt skulle ha förklarat de sanitära olägenheter som invånarna upplevde och som lett till anhållan om åtgärder.

De konstruktiva lösningarnas betydelse för rumsluftens kvalitet kunde man inte bedöma eftersom alla för värderingen nödvändiga fakta inte kunde uppbringas. Vid nybyggen borde man samla in de byggtekniska fakta och uppgifter om förhållandena under byggtiden som behövs för bedömningen av rumsluftens kvalitet och föra samman dem i en egen dokumenthelhet. När forskningsrönen ökar kan man då lätt gallra ut sådana byggtekniska lösningar som visat sig ofta leda till åtgärdsyrkanden. Man borde lägga upp en databas om bostadsreparationer som skulle göra det lättare att hitta orsaken till förhöjda halter av föroreningar och underlätta valet av riktiga reparationsmetoder. När databasen växer kan antalet nödvändiga förorenings- och byggtekniska mätningar avsevärt minskas.

ESIPUHE

Helsingin kaupungin ympäristökeskus saa kaupungin asukkailta asuntojen aiheuttamista terveyshaitoista vuosittain noin 1500 valitusta, joista osa koskee 1990-luvun kerrostaloja. Näissä uudehkoissa rakennuksissa ei ole kysymys rakennusaineiden vanhenemisesta, vaan terveelliseen sisäilmastoon vaikuttavina tekijöinä ovat rakennusmateriaalit, rakenneratkaisut ja rakenteiden kosteus, joiden keskinäistä osuutta sisäilman epäpuhtauksiin on vaikea todeta.

Tutkimus sisältää rakennusfysikaalisia mittauksia ja sisäilman epäpuhtausmittauksia. Tutkimuksessa arvioitiin nykyisten mittausten menetelmien kehitystarve, jotta entistä paremmin voitaisiin todeta rakenneratkaisujen ja käytettyjen rakennusaineiden osuus vanhojen rakennusten huoneilman kohonneisiin epäpuhtauspitoisuuksiin.

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorion ja Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen kanssa. Tutkimukseen liittyvistä rakennusfysikaalisista mittauksista ja raportin kirjoittamisesta vastasi Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorio, josta tutkimukseen osallistuivat Martti Viljanen, Ari-Veikko Kettunen, Mari Makkonen, Riikka Kangas, Päivi Järnefelt ja Jukka Piironen. Kemialliset mittaukset tekivät Helsingin kaupungin ympäristölaboratorio sekä VTT kemiantekniikka, jossa niiden toteuttamiseen osallistuivat Kristina Saarela, Tiina Tirkkonen ja Eero Luostarinen.

Tutkimuksen rahoitti Helsingin kaupungin ympäristökeskus, josta tutkimukseen osallistuivat Pertti Forss, Markku Viinikka, Jukka Puttonen ja Juha Österholm ympäristönvalvontayksiköstä sekä Helena Kontsas, Juhani Airo, Timo Vartiala, Seija Kalso, Tuula Laakso, Helga Heikura, Pirjo Mölsä ja Sirpa Nokelainen ympäristölaboratoriosta.

Keijo Sihvonen Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirastosta avusti rakennusasiakirjojen hankinnassa.

Tutkimuksen tekijät kiittävät kohdeasuntojen asukkaita ja kiinteistöyhtiöiden edustajia Jari Kujanpäättä, Risto Hyvöstä sekä muuta henkilökuntaa joustavasta yhteistyöstä.

Espoon Otaniemessä 30. päivänä lokakuuta 1998

Martti Viljanen Ari-Veikko Kettunen Mari Makkonen Riikka Kangas Päivi Järnefelt

1. JOHDANTO

Huoneilman laatuun vaikuttavat ilmanvaihtojärjestelmän lisäksi rakennuksen sijainti, rakenneratkaisut ja lämmitysjärjestelmä sekä huoneilman ulkoiset ja sisäiset kuormitustekijät. Rakennuksen suunnittelun lähtökohtana on, että huonetilojen oleskeluvyöhykkeellä on kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja tilakohtaisen käyttötavan mukaisissa käyttötilanteissa saavutettava tyydyttävä sisäilmasto. Tällä ymmärretään sitä, että sisäilman puhtauden, lämpötilan ja kosteuden tulee olla hallittua eikä oleskeluvyöhykkeellä saa esiintyä haitallisessa määrin vetoa, melua ja lämpösäteilyä. Täten huoneilman laatua arvioidaan tilan viihtyvyyden ja tilassa oleskelun mahdollisesti aiheuttaman terveyshaitan perusteella.

Terveyshaitat ilmenevät asukkaiden sairastumisvalituksina ja erilaisina oireiluina, esimerkiksi pahoinvointina ja päänsärkynä sekä silmien, ihon ja hengitysteiden limakalvojen ärsytysoireina kuten nuhana, yskänä, hengitysvaikeuksina. Lisäksi voi esiintyä myös allergisia reaktioita. Terveyshaittojen syitä ja huoneilman laadun mittaamenetelmiä on tutkittu voimakkaasti koko 1990-luku. Periaatteessa on kyse ilman epäpuhtauksista, jotka ovat seurausta huoneilman sisäisten ja ulkoisten kuormitustekijöiden yhteisvaikutuksesta suhteessa ilmanvaihdon määrään. Tällöin merkittäväksi muodostuu mm. rakennuksen tilaratkaisut, rakenneratkaisut ja rakentamisajankohdan olosuhteet sekä lattia-, seinä- ja kattomateriaalit, sisustusratkaisut, tilan toiminnot, ilmanvaihtojärjestelmä sekä rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän huolto. Lisäksi rakenteiden vanheneminen ja kosteusvauriot lisäävät sisäistä kuormitusta. Toistaiseksi ei olla onnistuttu kehittämään mittaamenetelmää, jolla voitaisiin kiistatta osoittaa, mikä tai mitkä edellä mainitut eri tekijät aiheuttavat huoneilman kohonneet epäpuhtaudet. Vastaavasti ei aina voida sanoa, millä korjaustoimenpiteillä kohonneet epäpuhtauspitoisuudet voidaan saada alennettua hyväksytylle tasolle. Arviointia vaikeuttaa vielä se, että joissain tapauksissa oireilu voi aiheutua kodin ulkopuolelta, esim. kouluista, päiväkodeista ja työpaikoilta.

Mittaamenetelmien kehittämistä vaikeuttaa toisaalta se, että ei tunneta, mitkä kaikki aineet aiheuttavat terveyshaittaa ja toisaalta, mistä ja miten eri aineet kulkeutuvat huoneilmaan. Nykyisin sisäilman laatua usein mitataan mikrobimittauksin rakennusaineista ja huoneilmasta, ammoniakki- ja formaldehydimittauksin huoneilmasta ja rakennusaineiden emissioiden määrittämiseksi sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittauksin huoneilmasta ja emissioiden määrittämiseksi. Tältä pohjalta on laadittu sisäilman laatuluokitus ja emissiotestattujen pintamateriaalien luokitus, joita korjausrakentamisessa voidaan käyttää arvioitaessa korjaustarvetta mittaustuloksien.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten huoneilman laadun mittaamenetelmää tulisi kehittää, jotta entistä paremmin voitaisiin erottaa rakenneratkaisujen ja käytettyjen rakennusaineiden osuus vanhojen rakennusten huoneilman kohonneisiin epäpuhtauksiin. Samalla parannetaan mahdollisuuksia suunnata korjaustoimenpiteet oikein, jotta voidaan varmistua huoneilman moitteettomasta laadusta kohtuullisin korjauskustannuksin. Tutkimuksen mittauskohteiksi valittiin seitsemän 1990-luvulla valmistunutta kerrostalohuoneistoa Helsingin kaupungin alueelta. Neljän kohteen asukkaat olivat valittaneet terveyshaitasta. Koska rakennukset ovat verraten uusia, valinnalla voitiin sulkea pois rakenteiden normaalin vanhenemisen ja kulumisen heikentävä vaikutus rakenteiden rakennusfysikaaliseen käyttäytymiseen ja samalla parantaa mahdollisuuksia arvioida rakenneratkaisujen merkitystä huoneilman kohonneisiin epäpuhtauksiin.

Rakennusasiakirjojen avulla tehtiin kohteiden rakennetekninen selvitys ja rakentamisaikataulujen perusteella verrattiin säätilojen rakentamisaikaisia eroja. Kohteissa tehtiin rakenteiden kosteus ja lämpötilamittaukset sekä rakennuksen painesuhdemittaukset. Lisäksi tehtiin rakenneteknisten mittausten kanssa samanaikaisesti huoneilman epäpuhtausmittaukset ja pintaemissiomittaukset. Mittaustuloksista arvioidaan korreloivatko ne asukkaiden valituksiin terveyshaitasta ja miten mittausmenetelmiä tulisi edelleen kehittää, jotta terveyshaitan aiheuttaja voitaisiin luotettavasti paikallistaa

2. RAKENTEIDEN PÄÄSTÖISTÄ SISÄILMAAN KOHDISTUVA KUORMITUS

Epäpuhtaudet voivat olla peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteuden vaurioittamista rakenteista, ihmisen toiminnoista tai ulkoilmasta. Nämä epäpuhtaudet ovat joko hiukkasmaisia tai kaasumaisia orgaanisia tai epäorgaanisia yhdisteitä. Epäpuhtaudet voivat olla materiaalien raaka-aineita, niissä käytettyjä lisä- tai apuaineita tai niiden hajoamistuotteita. Tyypillisiä ilmaan epäpuhtauksia aiheuttavia rakennus- ja sisustusmateriaaleja heikon laadun tai suunnitellusta poikkeavien olosuhteiden vuoksi ovat mm. muovit, kumit, maalit, lakat, liimat ja monet hartsit.

2.1. Päästö

Päästön määrä riippuu rakennus- tai pintamateriaalin koostumuksesta, paksuudesta ja tiheydestä. Kemialliset yhdisteet emittoituvat eri tavoin riippuen aineiden erilaisesta haihtuvuudesta, joka puolestaan riippuu kunkin yhdisteen kiehumispisteestä. Emissio riippuu kiehumispisteen lisäksi myös höyrystymislämmöstä, adsorptiosta ja absorptiosta.

Emissiot voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin emissioihin. Primäärisellä emissiolla tarkoitetaan epäpuhtauksien normaalia haihtumista uusista rakennus- ja pintamateriaaleista. Selvityksessä sekundäärinen emissio tarkoittaa ulkoisen tekijän, esimerkiksi kosteuden vaikutuksesta käynnistyvää emissiota. Kosteus saattaa aiheuttaa materiaalin hajoamista, jolloin hajoamistuotteina voi syntyä ärsyttäviä kemiallisia yhdisteitä. Sekundääri-ilmioistä on kyse myös silloin, kun materiaali adsorboi muiden materiaalien epäpuhtauksia ja desorboi ne myöhemmin takaisin ilmaan. Näin materiaalit saattavat toimia myös toissijaisina lähteinä /1/.

Pintamateriaaleille on laadittu päästöluokitus ML 95 /2/. Luokitus koskee emissio-
testattuja materiaaleja, joiden emissiot ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$) on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Emissiotestattujen pintamateriaalien luokitus /2/

Suure	Yksikkö	Luokka	
		M1	M2
Ammoniakkiemissio	$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$	< 0,03	< 0,06
Formaldehydiemissio	$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$	< 0,05	< 0,125
TVOC-emissio	$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$	< 0,2	< 0,4
Karsinogeenien emissiot	$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$	< 0,005	< 0,005
Haju		ei haise	ei merkittävää hajua
TVOC:lla tarkoitetaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää			

Luokkaan M3 kuuluvat emissiotestaamattomat materiaalit sekä materiaalit, joiden epäpuhtauspäästöt ylittävät luokan M2 raja-arvot. Pintamateriaaliluokitus täydentää sisäilmastoluokitusta siten, että eri luokkiin kuuluvien materiaalien käyttömäärille on annettu ohjeellisia arvoja. Parhaan sisäilmastoluokan S1 määrittämiä enimmäispitoisuuksia ei aliteta käyttämällä huonoimman M3-luokan materiaaleja.

2.2. Sisäilman epäpuhtauksien ohjearvot ja tavoitearvot

Virallisia määräyksiä sisäilmastotekijöiden tavoitearvoiksi on Suomessa vain bentseenille, asbestille, lyijylle ja radioaktiivisille aineille /3/. Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut 1997 ohjearvot sisäilman kemiallisista epäpuhtauksista ammoniakille, asbestille, formaldehydille, hiilidioksidille, hiilimonoksidille sekä styreenille /4/.

Sisäilmayhdistys on laatinut sisäilmalle luokituksen "Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus" /2/, jonka antamat enimmäispitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Siinä yhdisteille esitetyt määrät ovat kokonaispitoisuuksia. Luokka S1 on paras ja luokka S3 vastaa lähinnä viranomaisvaatimusten mukaista vähimmäistasoa.

Taulukko 2. Tutkimuksessa tarkasteltujen yhdisteiden tavoitearvot /2/ verrattuna sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvoihin /4/

Suure	Yksikkö	Luokka			STM:n
		S1	S2	S3	ohjearvot
Ammoniakkipitoisuus	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 20	< 30	< 50	40*
Formaldehydipitoisuus	mg/m^3	< 0,03	< 0,05	< 0,15	0,15
TVOC-pitoisuus	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 200	< 300	< 600	600*

* varsinaista ohjearvoa ei ole, kyseinen pitoisuus indikoi terveyshaittaa

2.3. Mikrobit ja kaasumaiset epäpuhtaudet

Sisäilman laatua on arvioitu tässä tutkimuksessa mittaamalla ammoniakkin, formaldehydin, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC, TVOC summa) ja mikrobien pitoisuudet.

2.3.1. Ammoniakki

Ammoniakki on epäorgaaninen, väritön ja pistävän hajuinen kaasu. Se on eräs indikaattori tutkittaessa sisäilman puhtautta. Ulkoilmassa ammoniakkin pitoisuus on matala, vain muutamia $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sisäilmassa pitoisuudet ovat normaalisti tasolla 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Selvästi kohonneena mahdollista terveyshaittaa indikoivana arvona pidetään 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ /5/.

Ammoniakki on ärsyttävä aine, mutta silmien ja hengitysteiden ärsytys saattaa johtua myös muista proteiinien hajoamistuotteista. Ammoniakkiemission yhteydessä usein vapautuvat amiinit ovat ärsyttäviä jo pieninä pitoisuuksina, mutta näiden mittaaminen huoneilmasta nykyisellä mittaustekniikalla ei ole mahdollista.

Ammoniakkia vapautuu sisäilmaan lemmikkieläimistä, ihmisestä itsestään ja heidän toiminnastaan. Muita ammoniakkilähteitä ovat tupakointi, eräät korjausrakentamiseen käytettävät maalit tai esimerkiksi kodin puhdistusaineet. Sisäilman ammoniakki saattaa olla peräisin rakennusmateriaaleista, kuten kosteuden vaikutuksesta tapahtuneesta kaseiinipilkkoutumisreaktioista. Kaseiinia on käytetty paljon erilaisissa rakennusmateriaaleissa. Kaseiinia on erityisesti tasoitteissa, mutta myös liimoissa, pohjusteissa, vesieristeissä, ja sitä on todettu orgaanisissa luonnonkuiduissa kuten juutissa. Myös betoni voi olla ammoniakkin lähde. Pilkkoutumisreaktioiden seurauksena voi vapautua ilmaan ammoniakkin lisäksi amiineja, aldehydejä ja rikkiyhdisteitä /4,5,6/.

2.3.2. Formaldehydi

Formaldehydin hajukynnys on noin $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja sen pitoisuus sisäilmassa ei saa ylittää $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /4/. Se ärsyttää silmiä ja ylempiä hengitysteitä. Formaldehydi on yleensä peräisin lastulevyssä liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista. Myös happokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet, itsesiliävät tekstiilit ja kokolattiamatot saattavat sisältää formaldehydiä. Sisäilmassa voi esiintyä myös muita aldehydejä, jotka ovat peräisin rakennusmateriaaleista tai muodostuvat muiden epäpuhtauksien hajoamistuotteina.

2.3.3. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet VOC, Volatile Organic Compounds, ovat orgaanisia yhdisteitä, joiden höyrynpaine on niin korkea, että ne esiintyvät osittain höyrystyneenä ilmassa. TVOC, Total Volatile Organic Compounds, on kaikkien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus. Tässä tarkasteltujen VOC-yhdisteiden kiehumis-pistealue on $50\text{--}100\text{--}240\text{--}260^\circ\text{C}$. Hiilivedyt, alkoholit, aldehydit, ketonit, fenolit ja terpeenit ovat esimerkkejä haihtuvista orgaanisista yhdisteistä. Metaania ei yleensä lasketa VOC-aineryhmään /6, 7/.

Sisäilmasta on analysoitu satoja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Koska osa yhdisteistä saattaa muuttua ympäristöolosuhteiden kuten lämpötilan tai otsonin vaikutuksesta muiksi, alkuperäistä reaktiivisemmiksi yhdisteiksi, alkuperäisestä päästöstä ei saada välttämättä luotettavaa analyysitulosta /8/.

Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet voivat sisäilmassa vaihdella lämpötilan ja kosteuden, ilmanvaihdon, sääolojen ja rakennuksessa tapahtuvan toiminnan mukaan. Useiden orgaanisten yhdisteiden päästöt lisääntyvät kosteuden kasvaessa. Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden on todettu olevan yhteydessä koettuihin terveys- ja hajuhaittoihin. Jotkin yhdisteet saattavat olla vaikutuksiltaan myös toisiaan vahvistavia pieninäkin pitoisuuksina. Sisäilman tavanomaisena TVOC-pitoisuutena voidaan pitää pitoisuutta $200 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mikäli TVOC-arvo on kohonnut yli $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tulisi suorittaa tutkimuksia yksittäisten yhdisteiden selvittämiseksi /4/. Yksittäinen VOC-yhdiste voi aiheuttaa hajuhaittaa, vaikka TVOC olisi pieni.

2.3.4. Mikrobit

Pysyvästi ja toistuvasti kostuvissa rakenteissa kasvaa mikrobeja: homeita, hiivoja ja bakteereja. Jos rakennusaikana rakennusmateriaalit ovat kostuneet, saattaa tämä aiheuttaa mikrobien itiöintiä sisäilmaan vielä pitkään rakenteiden kuivuttua ja aiheuttaa terveyshaittoja. Homehaittaa osoittavat näkyvä homekasvusto sekä sisäilman tai rakenteiden kohonnut itiöpitoisuus. Ilmavirtausten ja ilmanvaihdon mukana kulkeutuu sisäilmaan itiöitä ja mikrobien aineenvaihduntatuotteita. Myös kuolleista, jo kuivuneista mikrobikasvustoista voi lähteä hiukkasia, joiden allergisoivat tai toksiset ominaisuudet ovat jäljellä.

Mikrobien aineenvaihduntatuotteet saattavat aiheuttaa hajuongelmia ja olla myös hengitettäessä ärsyttäviä. Mikrobien päästöt voivat pieninäkin pitoisuuksina aiheuttaa terveyshaittoja, samoin jo kuolleen kasvuston osaset. Tyypillisiä mikrobien aiheuttamia oireita ovat silmien, ihon ja hengitysteiden limakalvojen ärsytysoireet, kuten nuha, yskä, hengitysvaikeudet sekä erilaiset yleisoireet kuten pahoinvointi ja päänsärky /8/. Sisäilman mikrobipitoisuudet eivät aina korreloidu havaittujen oireiden kanssa, vaan herkistyneet

henkilöt voivat saada oireita tavanomaisina pidetyissä mikrobi-pitoisuuksissa. Oireet saattavat liittyä altistumiseen mikrobien aineenvaihduntatuotteille tai muille tekijöille.

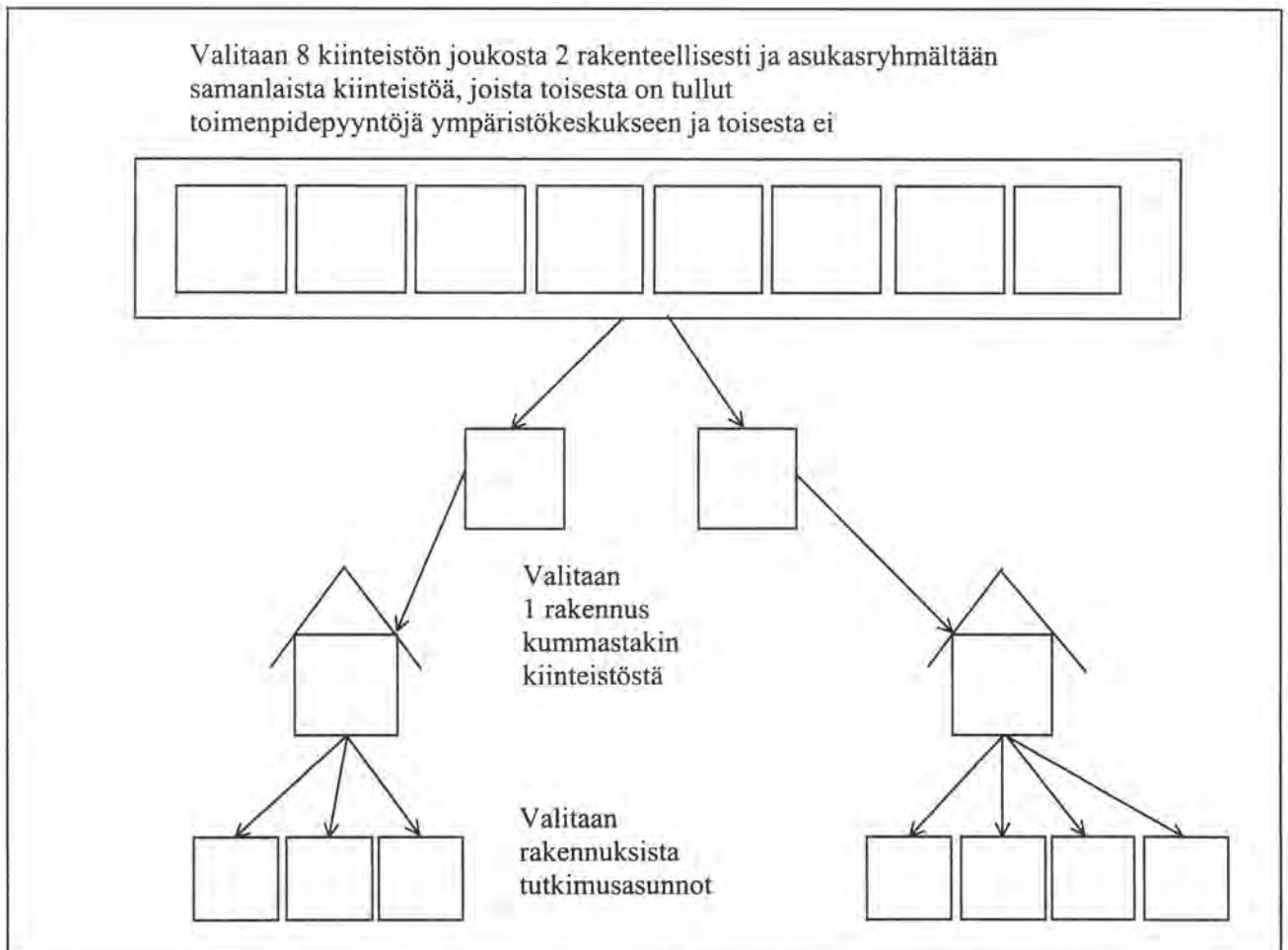
Tärkein mikrobikasvua säätelevä tekijä on kosteus. Muut säätelevät tekijät ovat lämpötila ja ravinteet. Minimikosteus, jossa kasvu alkaa, riippuu organismityypistä ja mikrobilajista. Lähes kaikkiin olosuhteisiin löytyy niissä viihtyvä mikrobilaji. Mikrobien kasvu ei ole stabiilia, vaan luonteenomaisia ovat sekä kasvunopeuden vaihtelu että mikrobilajien toisiaan seuraava esiintyminen, sukkessio. Myös haitallisten yhdisteiden muodostuminen riippuu kasvuolosuhteista ja kasvuston vaiheesta. Pitkään jatkuneen kosteusvaurion saattaa vallata haitallisempi suku. Sama mikrobi voi olla haitallisempi kasvaessaan rakennuksessa kuin kasvaessaan luonnossa, koska rakennuksessa kasvaessaan tälle samalle mikrobille altistutaan pitkän aikaa.

3. TUTKIMUSOHJELMA JA MITTAUSTULOKSET

3.1. Tutkimuskohteet

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen aineistosta valittiin tutkimukseen 8 kerrostalokiinteistöä, jotka kaikki ovat kaupungin asuntotuotantotoimiston, ATT:n, rakennuttamia vuokra-asuntoja. Talot on rakennettu vuosien 1990...1995 aikana ja ne sijaitsevat Länsi-Helsingissä. Alueella on toiminut kaatopaikka vuosina 1939...1949, jonka jälkeen samalla alueella harjoitettiin romukauppa- ja autonpurkaus/korjaustoimintaa. Saatujen tietojen mukaan kaatopaikalle on toimitettu vain talousjätettä, eikä tiettävästi teollisuus- tai ongelmajätteitä.

Tutkimuskohteissa tehtiin rakennusasiakirjojen perusteella rakennetekninen selvitys. Tämän perusteella valittiin mittauskohteiksi rakenteellisesti ja asukasryhmältään mahdollisimman samankaltaiset rakennukset, joista toisesta on tullut Helsingin kaupungin ympäristökeskukseen toimenpidepyyntöjä terveyshaitoista ja toisesta ei. Rakennuksista valittiin 7 asuntoa tarkempaa tutkimusta varten. Tutkimusasuntojen valintakaavio on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tutkimuskohteiden valintakaavio.

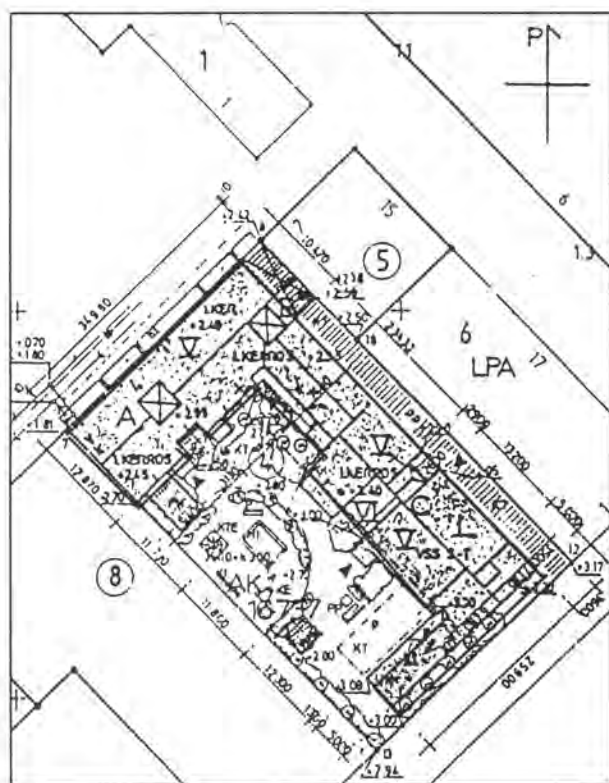
3.1.1. Kohteiden yleiskuvaus

Kiinteistö I

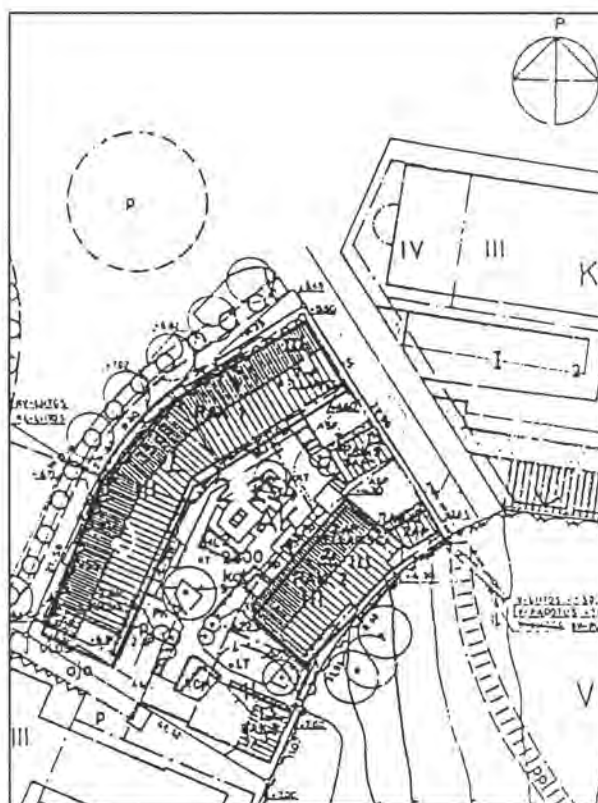
Kiinteistö I on 1992 valmistunut harjakattoinen, viisikerroksinen kerrostalokiinteistö. Rakennuksessa on 45 asuinhuoneistoa. Ensimmäisessä kerroksessa on asuinhuoneistojen lisäksi myös toimistotiloja. Kiinteistöä ympäröivä maasto on tasaista. Talon luoteispuolella on aukeaa tilaa, muuten kiinteistön tontti sijaitsee rakennetussa ympäristössä. Kiinteistö sijaitsee entisen kaatopaikan alueella. Kuvassa 2 on esitetty ote kiinteistön I asemapiirroksista.

Kiinteistö II

Kiinteistö II on 1991 valmistunut, kahden rakennuksen muodostama kerrostalokiinteistö. Molemmat rakennukset ovat harjakattoisia, kolmikerroksisia asuinrakennuksia. Rakennuksissa on lisäksi kellaritiloja. Rakennuksissa on yhteensä 28 asuinhuoneistoa. Rakennuksessa 2 on ensimmäisessä kerroksessa asuinhuoneistojen lisäksi myös myymälätiloja. Kiinteistön lähimaasto viettää itään. Kiinteistö sijaitsee n. 500 m pohjoiseen entisestä kaatopaikasta. Kiinteistön luoteis- ja pohjoispuolella on vilkasliikenteinen maantie. Talon tontti rajoittuu puistoalueeseen kaakosta ja idästä. Muilta ilmansuunnilta kiinteistön tontti sijaitsee rakennetussa ympäristössä. Kuvassa 3 on esitetty ote kiinteistön II asemapiirroksista.



Kuva 2. Ote kiinteistön I asemapiirroksista.



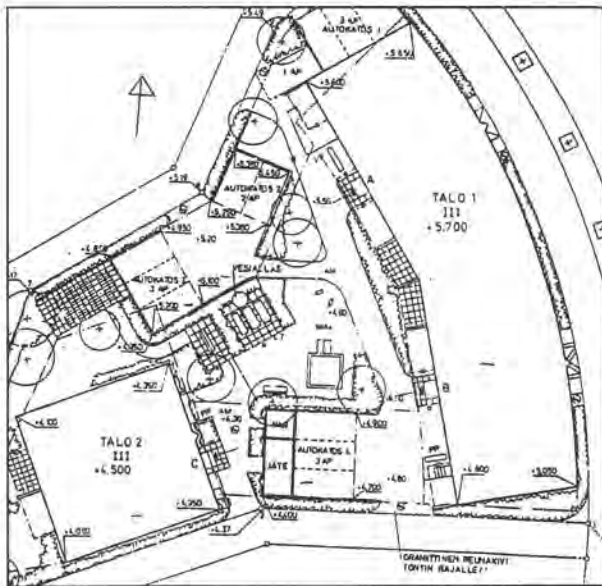
Kuva 3. Ote kiinteistön II asemapiirroksista.

Kiinteistö III

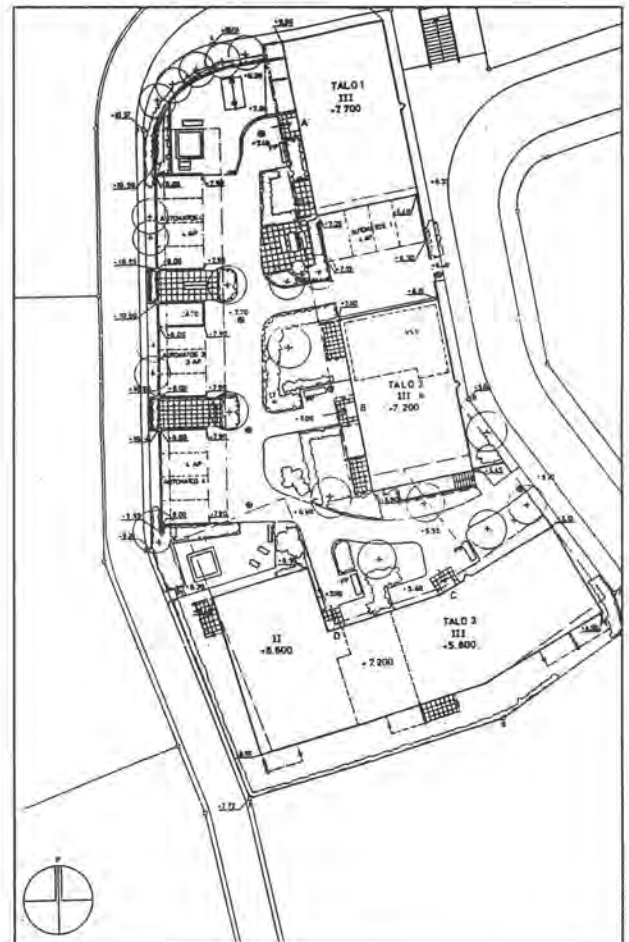
Kiinteistö III on 1991 valmistunut, kahden rakennuksen muodostama kerrostalokiinteistö. Molemmat rakennukset ovat harjakattoisia, kolmikerroksisia asuinrakennuksia. Rakennuksissa on yhteensä 19 asuinhuoneistoa. Rakennuksessa 1 on ensimmäisessä kerroksessa asuinhuoneistojen lisäksi myös toimistotiloja. Taloa ympäröivä maasto on tasaista. Kiinteistö sijaitsee n. 350 m pohjoiseen entisestä kaatopaikasta. Kiinteistön lounais- ja länsipuolella on pieni puisto, muuten kiinteistön tontti sijaitsee rakennetussa ympäristössä. Kuvassa 4 on esitetty ote kiinteistön III asemapiirroksista.

Kiinteistö IV

Kiinteistö IV on 1991 valmistunut, kolmen rakennuksen muodostama kerrostalokiinteistö. Talot 1 ja 2 ovat kolmikerroksisia, harjakattoisia asuinrakennuksia ja talo 3 koostuu kaksi- ja kolmikerroksisesta harjakattoisesta osasta. Talossa 2 on kellaritilat. Rakennuksissa on yhteensä 29 asuinhuoneistoa. Kiinteistöä ympäröivä maasto viettää lounaaseen. Kiinteistö sijaitsee n. 400 m pohjoiseen entisestä kaatopaikasta. Kiinteistön länsipuolella on lastentarha. Pohjoispuolelta ja kaakkoisesta kiinteistön tontti rajoittuu puistoalueeseen. Muilta ilmansuunnilta tontti sijaitsee rakennetussa ympäristössä. Kuvassa 5 on esitetty ote kiinteistön IV asemapiirroksista.



Kuva 4. Ote kiinteistön III asemapiirroksista.



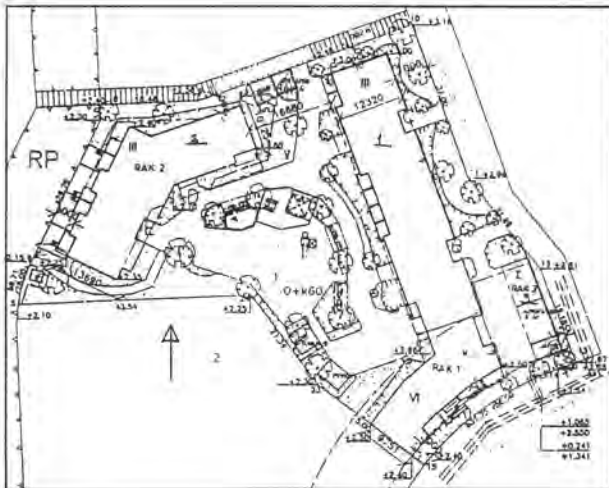
Kuva 5. Ote kiinteistön IV asemapiirroksista.

Kiinteistö V

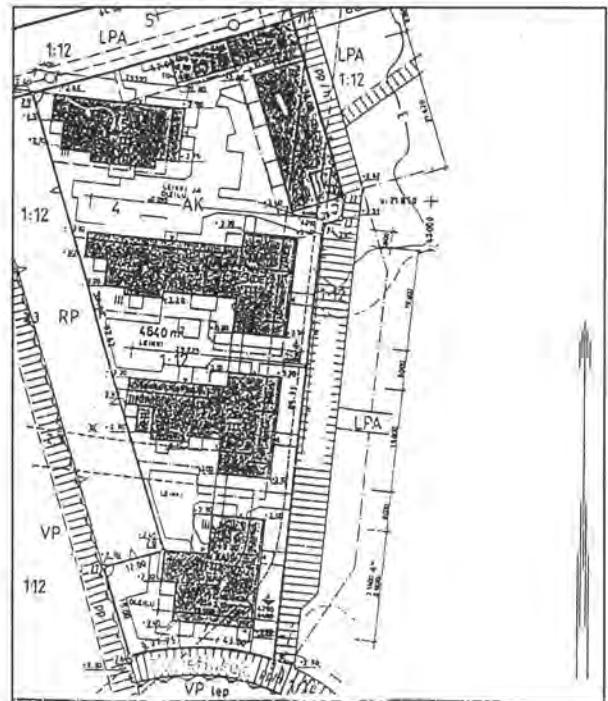
Kiinteistö V on 1994 valmistunut, kahden rakennuksen muodostama kerrostalokiinteistö. Rakennus 1 koostuu kolmi- ja kuusikerroksisesta osasta ja rakennus 2 on kolmikerroksinen. Molemmat rakennukset ovat harjakattoisia asuinrakennuksia. Rakennuksissa on yhteensä 52 asuinhuoneistoa. Rakennuksessa 1 on ensimmäisessä kerroksessa asuinhuoneistojen lisäksi myös toimistotiloja. Kiinteistöä ympäröivä maasto on tasaista. Kiinteistön länsi- ja luoteispuolella on puistoaluetta, johon kuuluu myös vesistöä. Muutoin tontti sijaitsee rakennetussa ympäristössä. Kiinteistö sijaitsee entisen kaatopaikan eteläreunassa. Kuvassa 6 on esitetty ote kiinteistön V asemapiirroksesta.

Kiinteistö VI

Kiinteistö VI on 1994 valmistunut, viiden rakennuksen muodostama kerrostalokiinteistö. Talot 1...3 ja 5 ovat kolmikerroksisia, harjakattoisia asuinrakennuksia. Talo 4 on nelikerroksinen, harjakattainen asuinrakennus. Rakennuksissa on yhteensä 59 asuinhuoneistoa. Talossa 4 on ensimmäisessä kerroksessa asuinhuoneistojen lisäksi myös liiketiloja ja talossa 1 on alueen yhteiset kerhotilat. Kiinteistö sijaitsee entisen kaatopaikan alueella. Kiinteistön ympäristö on tasaista. Kiinteistön länsipuolella on vesistöä käsittävä puistoalue. Pohjois-, itä- ja länsipuolella on rakennuksia. Kuvassa 7 on esitetty ote kiinteistön VI asemapiirroksesta.



Kuva 6. Ote kiinteistön V asemapiirroksesta.



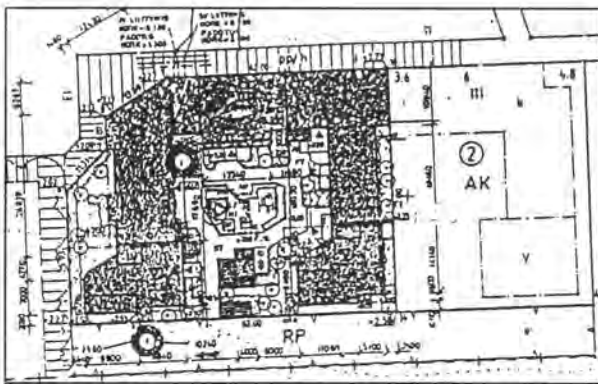
Kuva 7. Ote kiinteistön VI asemapiirroksesta.

Kiinteistö VII

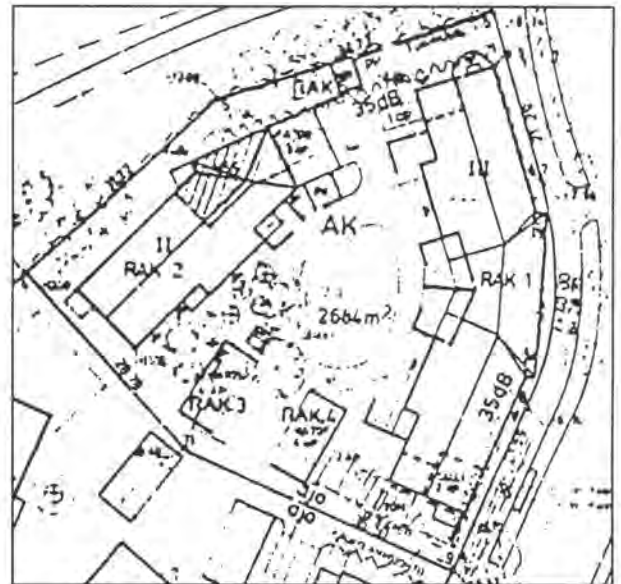
Kiinteistö VII on 1995 valmistunut kerrostalokiinteistö. Rakennus koostuu kolmi- ja viisikerroksisesta, harjakattoisesta osasta. Rakennuksessa on 57 asuinhuoneistoa. Kiinteistö sijaitsee n. 150 m etelään entisestä kaatopaikasta. Kiinteistöä ympäröivä maasto on tasainen. Kiinteistön itä- ja pohjoispuolella on rakennuksia. Länsipuolella on puistoalue vesialueineen. Kiinteistön eteläpuoleinen alue on entistä meren lahtea, jossa on uusien rakennuksien työmaa-alueita. Kuvassa 8 on esitetty ote kiinteistön VII asemapiirroksista.

Kiinteistö VIII

Kiinteistö VIII on 1994 valmistunut, kahden rakennuksen muodostama kerrostalokiinteistö. Rakennus 1 on kolmikerroksinen ja rakennus 2 on kaksikerroksinen. Molemmat rakennukset ovat harjakattoisia asuinrakennuksia. Rakennuksissa on yhteensä 29 asuinhuoneistoa. Rakennuksessa 1 on ensimmäisessä kerroksessa asuinhuoneistojen lisäksi myös liiketiloja. Rakennus sijaitsee n. 500 m pohjoiseen entisestä kaatopaikasta. Kiinteistö sijaitsee alueella, joka viettää kaakkoon. Kiinteistön pohjoispuolella on vilkasliikenteinen maantie. Kiinteistön ja tien välillä on kapea puistoalue, johon tontti rajoittuu myös länsipuolelta. Kiinteistön etelä- ja lounaispuolella on rakennuksia. Kuvassa 9 on esitetty ote kiinteistön VIII asemapiirroksista.



Kuva 8. Ote kiinteistön VII asemapiirroksista.



Kuva 9. Ote kiinteistön VIII asemapiirroksista.

3.1.2. Rakennetekninen selvitys rakennusasiakirjojen perusteella

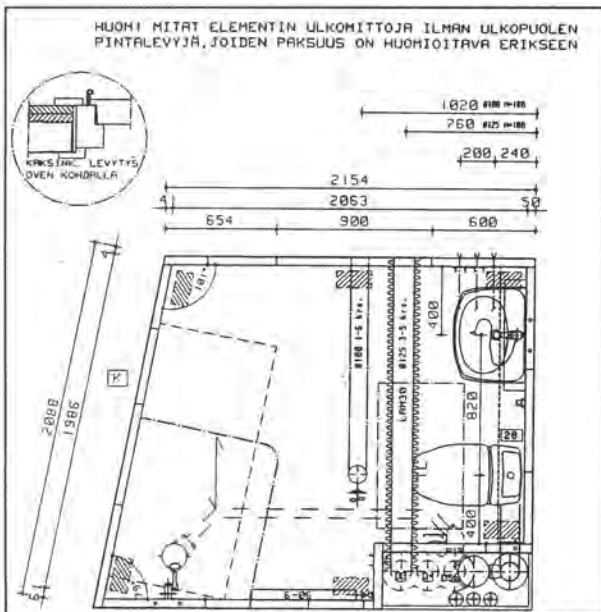
Kaikkien kiinteistöjen huollosta vastaa sama kiinteistöyhtiö. Kiinteistöyhtiöltä saatiin tutkimuskäyttöön kiinteistöjen rakennusselitykset ja rakentamisen aikaiset kirjeenvaihdot suunnittelu- ja työmaakokouspöytäkirjoineen. Yhtiöltä löytyi myös kahden kiinteistön työpiirustukset ja hyväksytyt rakennepiirustukset. Työ- ja rakennepiirustuksia saatiin edellisten lisäksi Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirastosta. Kiinteistöissä käytetyt rakennetyypit ja -detaljit saatiin kiinteistöjen rakennuttajalta, Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimistolta. ATT toimitti lisäksi maalau-, elementtirakenteiden ja pihojen työselitykset sekä kaupungin

kiinteistöyhtiöiden suunnitteluohjeet. Kiinteistöjen maaperätiedot saatiin ympäristökeskuksen aineistosta.

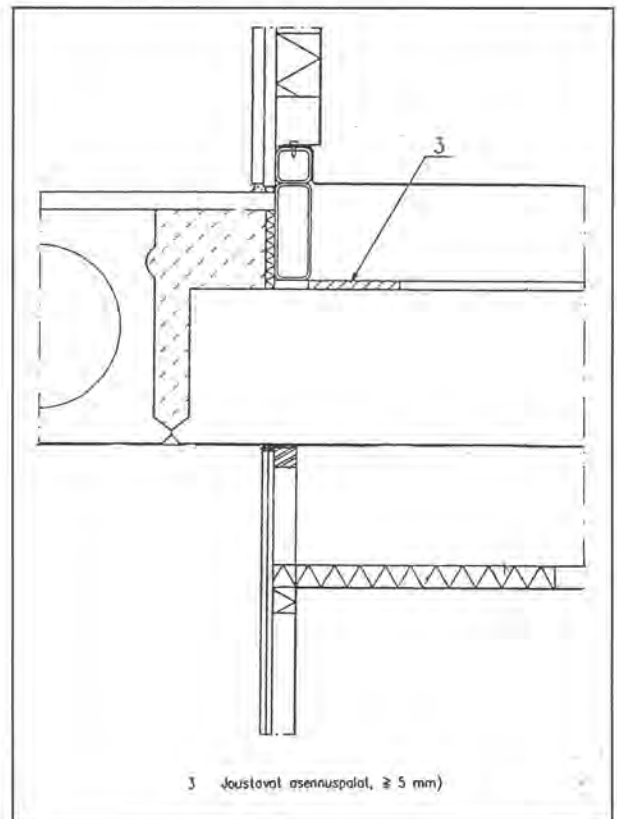
Ilmatieteen laitokselta tilattiin tutkimukseen tarvittavat säätiedot vuosilta 1991...1995. Ne sisältävät tiedot ulkolämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta, tuulen suunnasta ja nopeudesta, vuorokauden auringonsäteilystä ja sademäärästä.

Rakeneratkaisut

Tutkimuksessa mukana olevat kerrostalokiinteistöt ovat rakeneratkaisuiltaan samankaltaisia. Niissä on käytetty ulkoseinissä sandwich-elementtejä, joissa on mineraalivilla eristeenä. Ala-, väli- ja yläpohjat ovat ontelolaattarakenteita. Liitteessä I on esitetty tutkimuskohteiden rakennetyypit ala-, väli-, ja yläpohjarakenteista sekä ulkoseinäelementistä. Kaikissa taloissa on kylpyhuoneissa ja WC:ssä märkätilaelementit. Elementtien seinät ja sisäkatot ovat muovipinnoitettua terästä. Lattioissa on muovimatto ja jalkalistat ovat muovisia. Elementtien valmistaja toimitti kiinteistöjen märkätilojen elementtipiirustukset. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki märkätilan pohjaratkaisusta. Pohjakuvan lisäksi elementeistä on sähkö- ja LVI-kuvat sekä kalustelista. Kuvassa 11 on esitetty detailjipiirustus tilaelementtien liittymisestä välipohjaan.



Kuva 10. Elementtirakenteisen märkätilan pohjaratkaisu.



Kuva 11. Detailjipiirustus tilaelementin liittymisestä välipohjaan.

Kiinteistöjen ympäristö

Kiinteistöjen lähiympäristön korkeussuhteet, maan laatu, ympärillä oleva kasvillisuus sekä lähellä sijaitsevat rakennukset ja tiet muodostavat mikroilmaston kiinteistöjen välittömässä läheisyydessä. Mikroilmasto voi muuttaa rakennuksen kosteusteknistä käyttäytymistä ja epäpuhtauksien kulkeutumista rakennukseen merkittävästi sen mukaan, sijaitseeko rakennus aukealla vai suojaisella paikalla. Taulukossa 3 on esitetty kiinteistöjen etäisyys vanhasta kaatopaikasta ja ilmansuunnittain lähiympäristössä olevat tekijät, jotka vaikuttavat ilmavirtauksiin.

Taulukko 3. Kiinteistöjen lähiympäristö ilmansuunnittain.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
etäisyys vanhasta kaatopaikasta	alueella	500 m	350 m	400 m	reunalla	alueella	150 m	500 m
pohjoinen	rakennus	maantie	rakennus	puisto	rakennus	rakennus	rakennus	maantie
koillinen	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus	maantie
itä	rakennus	puisto	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus	rakennus
kaakko	rakennus	puisto	rakennus	puisto	rakennus	rakennus	rak.työmaa	rakennus
etelä	rakennus	rakennus	rakennus	puisto	rakennus	rakennus	rak.työmaa	rakennus
lounas	rakennus	rakennus	puisto	lastentarha	rakennus	puisto	puisto	rakennus
länsi	rakennus	rakennus	puisto	lastentarha	puisto	puisto	puisto	puisto
luode	aukea tila	maantie	rakennus	lastentarha	puisto	puisto	puisto	puisto

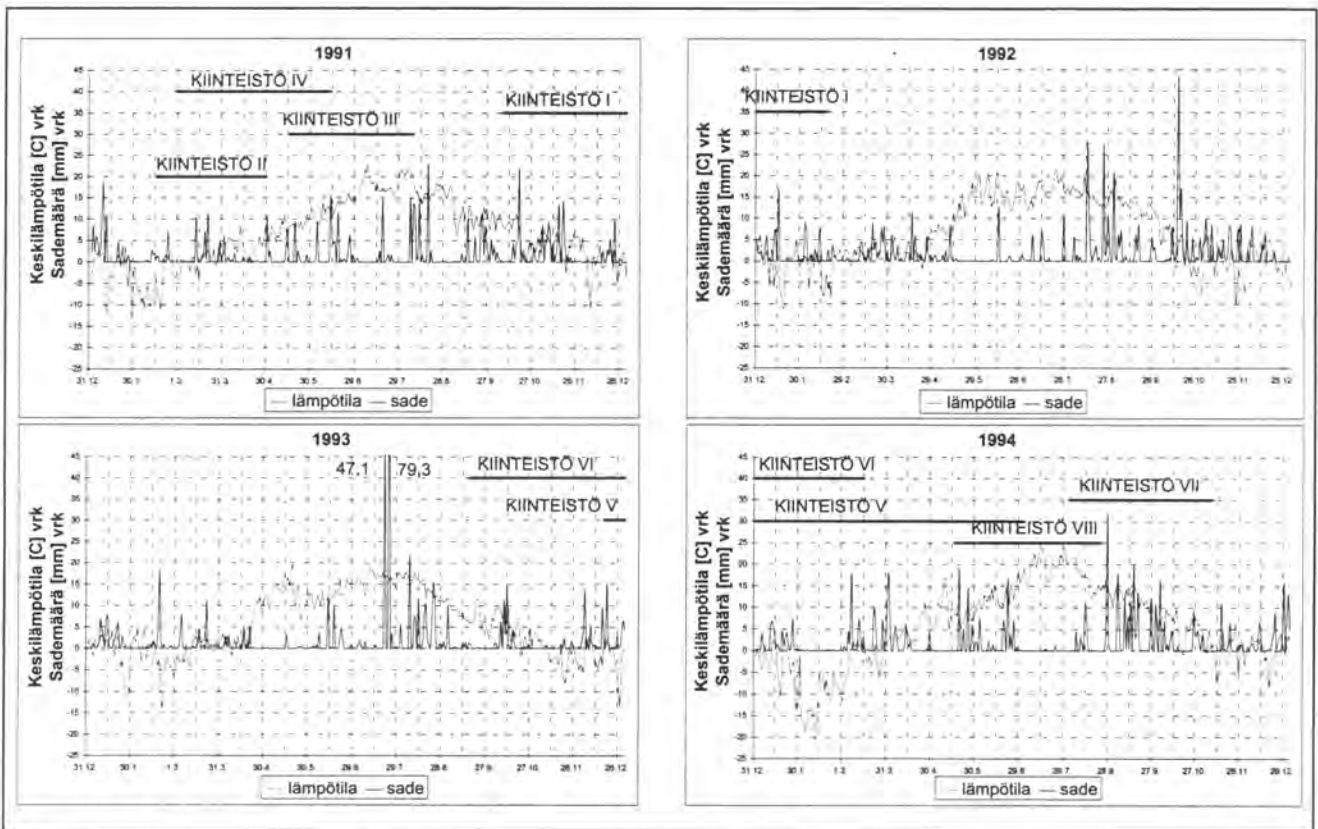
Sisätilojen pintamateriaalit

Kiinteistöjen huoneselitysten mukaan kaikissa kiinteistöissä on lattioissa muovimatot, seinät ja katot ovat sileävalettua betonia ja jalkalistat puisia. Seinä-, katto- ja lattiatasoitteiden yksilöityjä tuotenimiä ei ole ilmoitettu. Muovimattojen tuotenimiä ja betonin aineominaisuuksia ei ole huoneselityksissä mainittu. Ainoa asiakirjojen perusteella löytyvä eroavuus on kiinteistön V jalkalistojen kuultokäsittely, mikä poikkeaa muista kiinteistöistä. Kerrostalojen sisätiloihin rajoittuvista rakennusmateriaaleista ei rakennusasiakirjojen perusteella löydy eroavuuksia.

Rakentamisen aikaiset tiedot

Rakentamisen aikaisten säätietojen ja työmaakirjeenvaihdon perusteella voidaan rakentamisen aikaisen säätilan vaikutusta rakenteiden kastumiseen ja niiden kuivumiseen. Rakennuskosteuden poistumiseen vaikuttaa vuodenaika. Kesällä auringonsäteily ja lämpötila kuivattavat rakenteita nopeammin kuin talviolosuhteet, jolloin ulkoilman kyllästysvajaus on pieni eikä se vaihtelee niin nopeasti kuin kesällä. Syystalvella kastuneet rakenteet ovat rakenteiden kuivumisen kannalta kriittisemmässä tilanteessa kuin kevätkesällä kastuneet rakenteet.

Kuvassa 12 on esitetty vuosien 1991-1994 vuorokauden keskilämpötilat ja sademäärät sekä sademäärän liukuva kuukausikeskiarvo. Kuvassa on esitetty myös ko. vuoden aikana rakenteilla olevien kiinteistöjen rakenteiden kastumisen kannalta kriittisimmät ajanjaksot, joita ovat mm. elementtien, ikkunoiden ja vesikaton asentamisajankohdat. Mittauskohteiksi valittujen kiinteistöjen rakennusvaiheiden ajankohdat ovat liitteessä 2, jossa on esitetty myös rakennusaikaiset säätiedot.



Kuva 12. Vuosien 1991...1994 keskilämpötilan ja sademäärän vuorokausivaihtelut sekä kiinteistöjen I...VIII kriittiset työvaiheet rakenteiden kastumisen kannalta. Sademäärän summa kriittisten työvaiheiden aikana on esitetty taulukossa 4.

Kuvan 12 mukaisten rakentamisien aikaisten tietojen perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Työmaakirjeenvaihdoista ei selvinnyt eri rakennusten aikataulua, vaan ajat ovat koko kiinteistön ensimmäisestä kriittisestä vaiheesta viimeiseen, mikä ei kerro eri rakennusosien kriittistä aikaa.
- Sadesuojauksen järjestäminen on rakenteiden kuivana pysymisen kannalta tärkeää. Sadesuojauksesta ei ollut saatavilla mitään dokumentoitua tietoa. Sadepäiviä osuu myös pakkaskaudelle, milloin sade tulee lumena.
- Kriittisten työvaiheiden osuminen ajanjaksoille, jolloin ulkolämpötila on plussan puolella, ja sade tulee vetenä, kastelee rakenteita enemmän kuin lumisade.
- Kriittisten rakennustyövaiheiden osuminen sateiseen syksyyn, jolloin lämpötila laskee ja säteilytehon kuivattava vaikutus alenee, voi pakkasjakson alkaessa rakenteisiin jäädä kosteutta, mikä kuivuu vasta seuraavana keväänä.
- Kriittisten työvaiheiden aikainen lämmin jakso nopeuttaa kuivumista.
- Kuivan kauden aikana rakenteiden kuivuminen ei keskeydy.

Taulukossa 4 on esitetty kaikkien tutkimukseen valittujen kiinteistöjen kriittiset ajanjaksoit kohteiden rakentamisen aikaisen rakenteiden kastumisen kannalta sekä kriittisen ajanjakson keskimääräinen ulkolämpötila, keskimääräinen tuulen nopeus ja suunta, keskimääräinen ilman suhteellinen kosteus, kokonais- ja maksimisademäärä sekä kokonaissäteilyn summa.

Taulukko 4. Rakenteiden kastumisen kannalta kohteiden kriittisten työvaiheiden rakentamisajankohdat, ko. ajan lämpötila, suhteellinen kosteus, tuulen nopeus ja vallitseva tuulen suunta, kokonais- ja maksimisademäärä sekä kokonaissäteily.

Kiinteistö	Kriittinen rakentamisaika		keski-lämpötila	keski-määräinen suhteellinen kosteus	keskimääräinen tuulen nopeus	vallitseva tuulen suunta	sade-määrän summa		kokonaissäteilyn summa
	vuoden-aika	[vrk]	[°C]	[%]	[m/s]	suunta	[mm]		[kwh/m ²]
I	syksy talvi	134	1,6	86,3	4,1	lounas	243,3	maks. 22,2	56,2
II	kevät	75	0,9	82,5	3,6	etelä	65,1	maks. 11,4	161,6
III	kesä	85	14,7	72,7	3,4	lounas	131,3	maks. 15,5	477,4
IV	kevät	106	4,8	76,7	3,6	etelä	121,0	maks. 15,5	381,4
V	talvi kevät kesä	198	1,6	78,1	3,6	etelä	329,6	maks. 19,0	560,0
VI	syksy talvi kevät	181	-1,7	83,1	3,7	etelä	228,3	maks. 18,1	150,6
VII	syksy	99	10,5	74,8	4,0	etelä	261,2	maks. 32,1	217,4
VIII	kesä	99	15,2	66,9	3,7	lounas	136,1	maks. 19,0	528,8

Rakentamisajat olivat kaikissa kohteissa niin pitkät, että rakenteiden kastumisen kannalta kriittisten työvaiheiden ajalle osuu aina sadepäiviä, jolloin huolellisen sadesuojauksen merkitys muodostuu tärkeäksi rakennuskosteuden ja samalla sisäilman laadun kannalta.

3.1.3. Asuntojen valinta

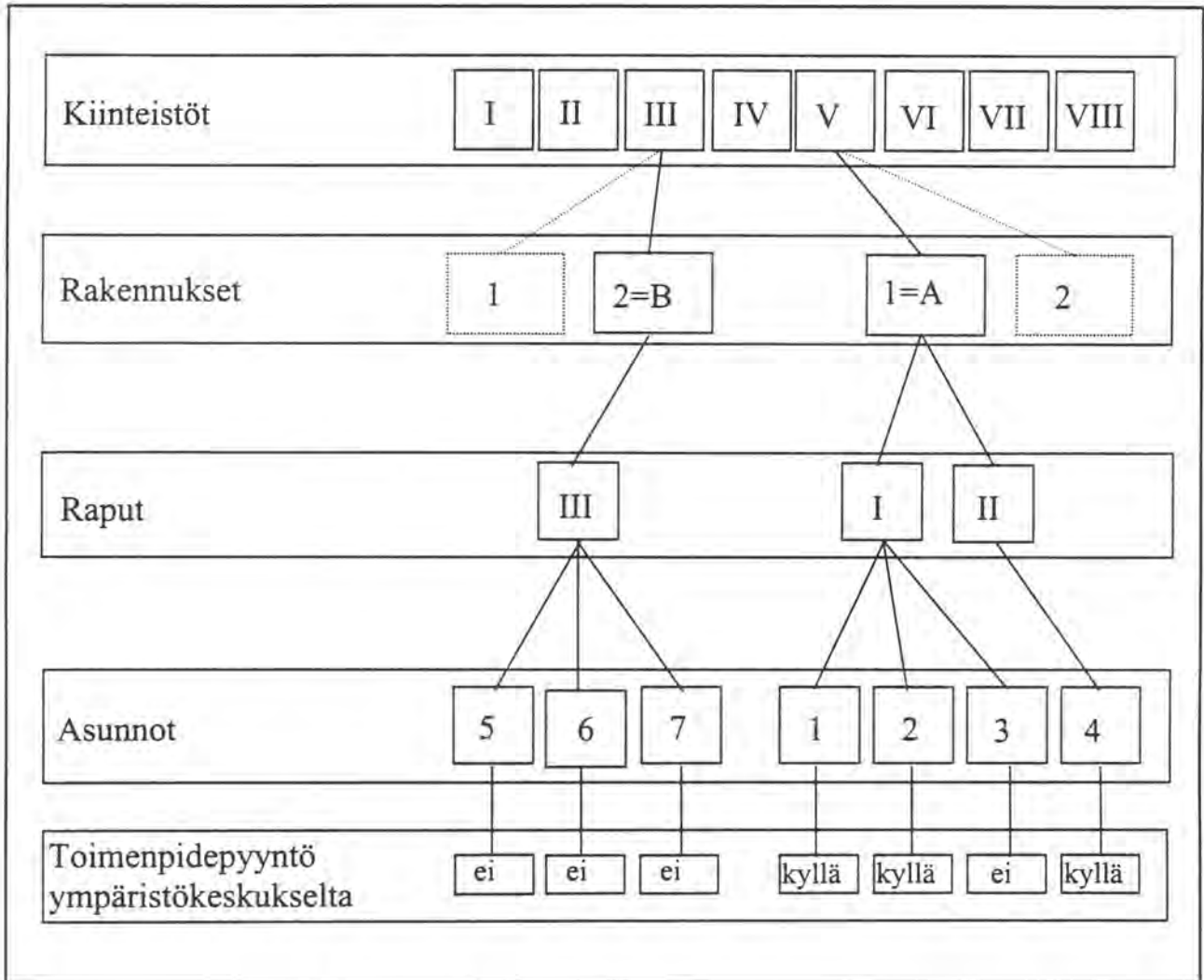
Kiinteistöjen rakennatarkaisuja, rakennusten ympäristöä, sisätilojen pintamateriaaleja ja rakentamisen aikaisia tietoja tarkastelemalla valittiin kahdeksan kerrostalokiinteistön joukosta 2 rakenteellisesti ja asukasryhmältään mahdollisimman samankaltaista kerrostalokiinteistöä, joista toisesta on tullut toimenpidepyyntöjä ja toisesta ei. Kiinteistöistä selvitettiin seitsemästä valitusta asunnosta kosteustekninen toiminta, epäpuhtauslähteet ja epäpuhtauksien kulkeutuminen huonetilaan.

Asiakirjojen perusteella tehdyn rakenneteknisen selvityksen perusteella valitut kiinteistöt olivat kerrostalokiinteistöistä V, rakennus 1 ja kerrostalokiinteistöistä III, rakennus 2, joita jatkossa merkitään rakennuksiksi A ja B.

Mittauskohteiksi valittiin rakennuksesta A neljä asuntoa ja rakennuksesta B kolme asuntoa. Tavoitteena oli saada samasta rakennuksesta alimmaisesta, ylimmäisistä ja keskellä rakennusta sijaitsevan kerroksen asunto tutkimukseen. Tutkittavien asuntojen valintaan vaikutti asukkaiden suostumus tutkimukseen.

Rakennuksessa A olevat asunnot 1...3 sijaitsevat rapussa I, joka on kuusikerroksinen, ja asunto 4 sijaitsee rapussa II, joka on kolmikerroksinen. Asunto 1 on ensimmäisessä, asunto 2 neljännessä ja asunto 3 kuudennessa kerroksessa oleva asunto. Asunto 4 on ylimmäisessä, kolmannessa kerroksessa oleva asunto. Helsingin kaupungin ympäristökeskukseen on tullut toimenpidepyyntöjä asunnoista 1,2 ja 4.

Rakennus B on vertailurakennuksena, josta ympäristökeskus ei ole saanut lainkaan toimenpidepyyntöjä. Rakennuksessa B ovat asunnot 5...7, jotka sijaitsevat kolmikerroksissa rapussa III. Asunto 5 on ensimmäisessä, asunto 6 toisessa ja asunto 7 ylimmäisessä, kolmannessa kerroksessa oleva asunto. Tutkimuskohteiden valinta on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Tutkimuskohteiden valintamenettely.

Rakennuksen A asunnoissa on huoneistokohtainen koneellinen poisto- ja tuloilmajärjestelmä, jonka säätöalue on 1...4.

Rakennuksessa B on koneellinen poistoilmajärjestelmä, jonka säätö on suurimmalla teholla aamuisin klo 6:00...8:00 ja iltaisin 16:00...18:00.

Taulukossa 5 on esitetty asuntojen 1...7 sijaintitietoja, asukasmäärät ja ilmanvaihdon käyttöä.

Taulukko 5. Asuntojen koostetietoja.

Asunto	Rakennus	Rappu	Kerros	Asukasmäärä	Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon säätöalue			
					normaali käyttö	ruoanlaitto	yöllä	kotoa pois ollessa
1	A	I	1	5	1	4	1	1
2	A	I	4	4	2	4	1	1
3	A	I	6	3	1	2-4	ei päällä	ei päällä
4	A	II	3	2	1	1	1	1
5	B	III	1	3	Rakennuksen koneellinen poisto suurimmalla teholla aamulla klo 6:00...8:00 ja illalla 16:00...18:00			
6	B	III	2	2				
7	B	III	3	5				

3.2. Mittausohjelma

Kohteiden mittausohjelma on esitetty taulukossa 6. Taulukossa on esitetty mittausten kesto lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja paine-eroista. Yhtenäisellä viivalla on kuvattu aikaa, jolloin lämpötilan ja kosteuden mittaus on ollut käynnissä. Paine-eromittaukset on merkitty katkoviivalla. Pintakosteudet on mitattu ympyrällä merkittynä ajankohtina. Asunnoista 1...7 on mitattu samana ajankohtana sekä huonetilojen että rakenteiden lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Asunnoista mitattiin noin viikon mittausjaksona lämpötila ja suhteellinen kosteus olo- ja pesuhuoneesta, ulkoseinästä ja välipohjasta. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin myös asuntojen 4 ja 6 pesuhuoneiden LVI-asennushormista sekä asunnon 2 pesuhuoneen yläpuolisen ontelolaatan ja ylemmän tilaelementin välitilasta. Asunnon 1 pesuhuoneelementin betonilaattaan LVI-asennushormin kautta poratusta reiästä mitattiin rakennekosteus ja -lämpötila lyhytaikaisilla mittauksilla.

Rappujen I...III alapohjasta ja rappujen II ja III yläpohjasta sekä rapun I katon tuuletustilasta mitattiin noin viikon mittausjaksona lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Rapuissa I...III mitattiin myös paine-eroja rapun sisäisten ilmavirtauksien selvittämiseksi noin viikon kestäväällä mittauksella.

Asunnoissa tehtiin huoneiston seinä- ja lattiarakenteiden suuntaa antava kosteuskartoitus digitaalisella Doser Bd-2 pintakosteusmittarilla.

Asuntojen pesu- ja olohuoneiden sekä rappujen ylä- ja alapohjien suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mitattaessa käytettiin tallentavia Tinytalk II suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittalaitteita. Rapun I alapohjan suhteellinen kosteus ja lämpötila mitattiin tallentavalla Diligence mittalaitteella. Rakenteiden sekä pesuhuoneen hormitilojen suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaukseen käytettiin Vaisalan HMP44L ja 50YE 17218HME mittausantureita. Paine-eroja mitattaessa käytettiin sähköisiä FCO44 Differential Pressure Transducer paineantureita.

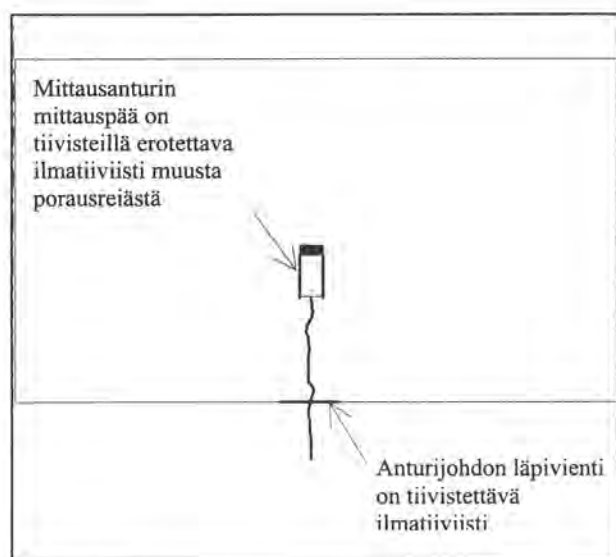
Taulukko 6. Kohteiden mittausohjelma.

	marraskuu 1997															joulukuu 1997												-98
	m	t	k	t	p	l	s	m	t	k	t	p	l	s	m	t	k	t	p	l	s	m	t	k	t	p	m	
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	20	
Asunnot																												
asunto 1	○																											
	A		A	f											F				M							a		
	V		V																H									
asunto 2		○																										
	V	A		A							F																M	
		V		V	f																							
asunto 3			○																									
		A		A	f _l																							
				f																								
asunto 4																												
															○													
															A													
															V													
asunto 5																												
										○					A													
										V					V													
asunto 6																												
										○					A													
										V					V													
asunto 7																												
										○					A													
										V					V													
rappu I																												
alapohjan ilmatila																											V	
katon tuuletustila																												
asunto 1 - rapun yläosa																												
asunto 1 - rapun alaosa																												
asunto 1 - rapun alapohja																												
asunto 3 - rapun yläosa																												
rappu II																												
alapohjan ilmatila																											V	
yläpohjan ilmatila																												
asunto 4 - rapun yläosa																												
rapun alaosa - rapun yläosa																												
rapun alaosa - rapun alapohja																												
rappu III																												
alapohjan ilmatila																											V	
yläpohjan ilmatila																												
asunto 5 - rapun yläosa																												
asunto 5 - rapun alaosa																												
asunto 5 - rapun alapohja																												
asunto 7 - rapun yläosa																												

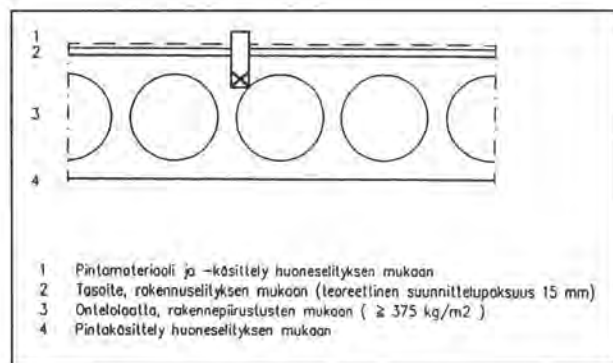
— = VOC-passiivikeräin LVI-asennushormista
 — = VOC-passiivikeräin huonetilasta
 — = lämpötila ja suhteellinen kosteus huonetilasta
 = paine-ero eri tilojen välillä
 ○ = pintakosteusmittaus lattia- ja seinäpinnoilta
 a= ammoniakki LVI-asennushormista
 F= seinä-, lattia-, ja kattopintojen ammoniakkiemissiot
 F_s= seinän pinta-ammoniakkieemissio
 F_k= katon pinta-ammoniakkieemissio
 F_l= lattian pinta ammoniakkiemissio
 A= ammoniakki
 V= VOC
 M= mikrobit
 f= formaldehydi
 H= home ja bakteerit

Yksityiskohtaiset mittausohjelmat asunnoista ja rapuista on esitetty liitteessä 3.

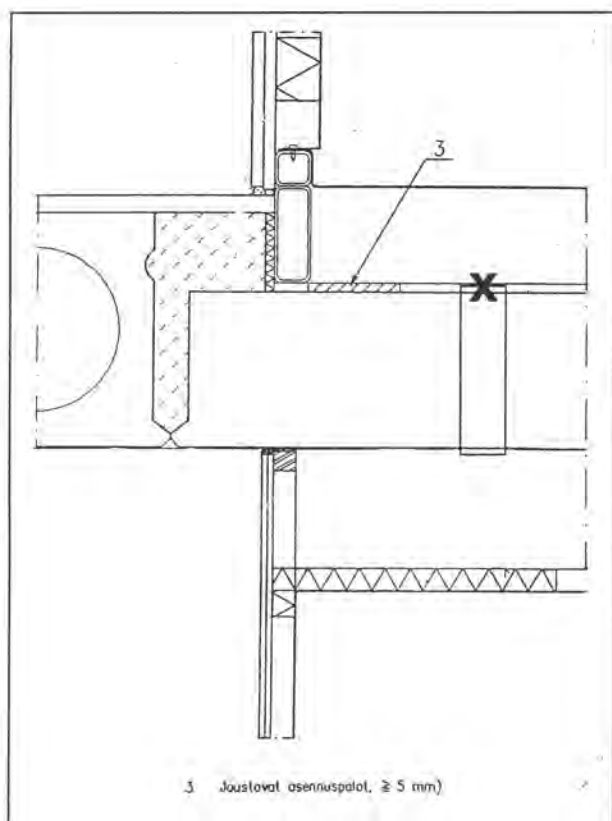
Rakenteen sisään poratut reiät mittausantureille tehtiin ulkoseiniin lattialistojen taakse ja ontelolaattaan kevyen väliseinän kohdalle lattialistan alle siten, ettei porausrei'istä jää huonetilaan näkyviä reikiä. Porausreikään asennettiin holkki, joka tiivistettiin materiaaliin mittausanturin läheltä ja materiaalin pinnalta. Mittausanturi asetettiin holkkiin ja holkin suu suljettiin ilmatiiviisti. Porausreiän kosteuden tasaantuminen voi kestää useita vuorokausia. Tämän vuoksi anturin on oltava rakenteessa tasaantumisen yli, jotta saadaan mitattua rakenteen todellinen kosteus. Kuvassa 14 on esitetty mittausanturin sijoittaminen rakenteeseen. Rakennemittausten paikat on esitetty kuvissa 15...17.



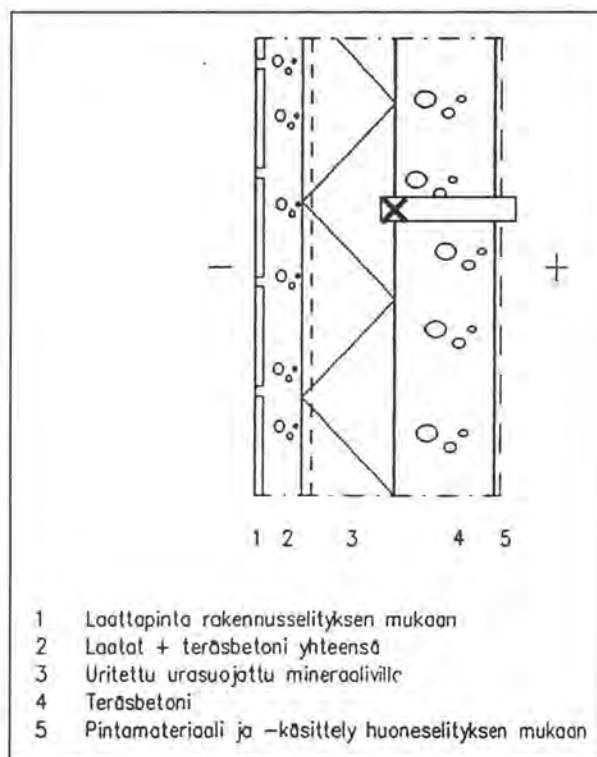
Kuva 14. Mittausanturin sijoittaminen rakenteeseen ja mittausreiän tiivistäminen siten, että mittaustulos edustaa kosteuspitoisuutta rakenteen halutulla syvyydellä.



Kuva 15. Periaatteellinen rakennekuva ontelolaattasta ja siinä oleva rakenteen mittauspiste, joka on merkitty kuvaan rastilla.



Kuva 16. Periaatteellinen detaljikuva kylpyhuone-elementtien liittymisestä välipohjaan ja asunnon 2 mittauspiste, joka on merkitty kuvaan rastilla.



Kuva 17. Periaatteellinen rakennekuva ulkoseinän sandwich-elementistä ja siinä oleva Rakenteen mittauspiste, joka on merkitty kuvaan rastilla.

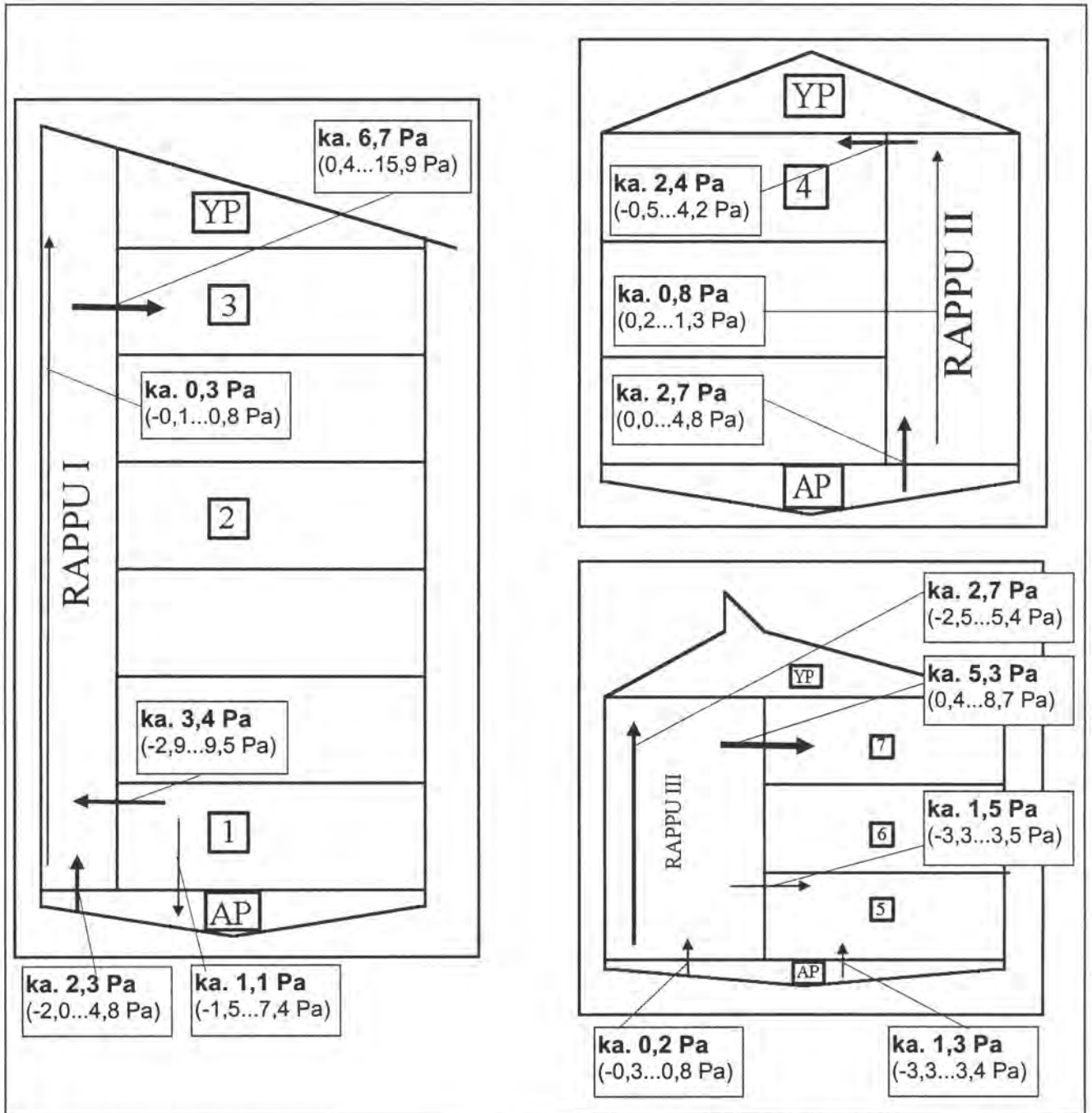
Märkätilaelementtien yhtenäiseksi hitsatun muovimaton ja teräseinien vuoksi ei rakenteen läpi porattu mittaasanturille reikää. Tilaelementin katossa olevasta huoltoluukusta voitiin asunnossa 2 porata reikä seuraavan kerroksen ontelolaatan läpi niin, että mittaasanturi voitiin sijoittaa ontelolaatan ja ylemmän, korokepalojen päällä olevan märkätilaelementin välitilaan. Asunnossa 1 pesuhuoneen LVI-asennushormista oli mahdollisuus porata pesuhuone-elementin betonilaattaan $\varnothing 6$ mm reikä hetkellisiin suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittauksiin. Asunnoissa 4 ja 6 sijoitettiin mittaasanturi pesuhuoneessa olevaan LVI-hormitilaan.

3.3. Rakennustekniset mittaukset

Painesuhteet ja virtausreitit

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ulko- ja sisälämpötila, tuuli ja ilmanvaihto. Tuuli ja ilmanvaihdon toiminta voivat muuttaa rakennuksen painesuhteita hyvin nopeasti vuorokauden aikana. Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa sanotaan savupiippuvaikutukseksi. Koska paine-ero syntyy lämpimän ja kylmän ilman tiheyserosta on savupiippuvaikutuksen merkitys suurin talvella. Mikäli rakennuksen ryömintätalassa on epäpuhtauksia ja rakennuksen sisäiset painesuhteet ovat sellaiset, että ryömintätalassa on ylipaineinen rappukäytävän alaosaan nähden, voivat alapohjan epäpuhtaudet kulkeutua pieninä pitoisuuksina myös ylimmän kerroksen asuntoihin.

Kuvassa 18 on esitetty rappujen sisäiset virtaukset mittauksien aikana keskiarvoina ja vaihteluväleinä. Nuolella on kuvattu vallitsevaa virtaussuuntaa huonetilojen välillä. Asunto 1 on ylipaineinen rappu I ryömintätilaan verrattuna. Toisten rappujen ensimmäisen kerroksen asunnot ovat rapun ryömintätilaan nähden alipaineisia, jolloin ryömintätilan mahdolliset epäpuhtaudet voivat kulkeutua pieninä pitoisuuksina asuntoihin, mikäli rakenteet eivät ole ilmanpitäviä.



Kuva 18. Mittausten aikaiset painesuhteet rapuissa I...III. Mittauksista on esitetty keskiarvo ja vaihteluväli. Nuoli kuvaa paine-eron vallitsevaa virtaussuuntaa huonetilojen välillä ja nuolen paksuus keskiarvon suuruutta siten, että $\longrightarrow \cong 0 - 2 \text{ Pa}$, $\longrightarrow \cong 2 - 4 \text{ Pa}$ ja $\longrightarrow \cong 4 - 7 \text{ Pa}$.

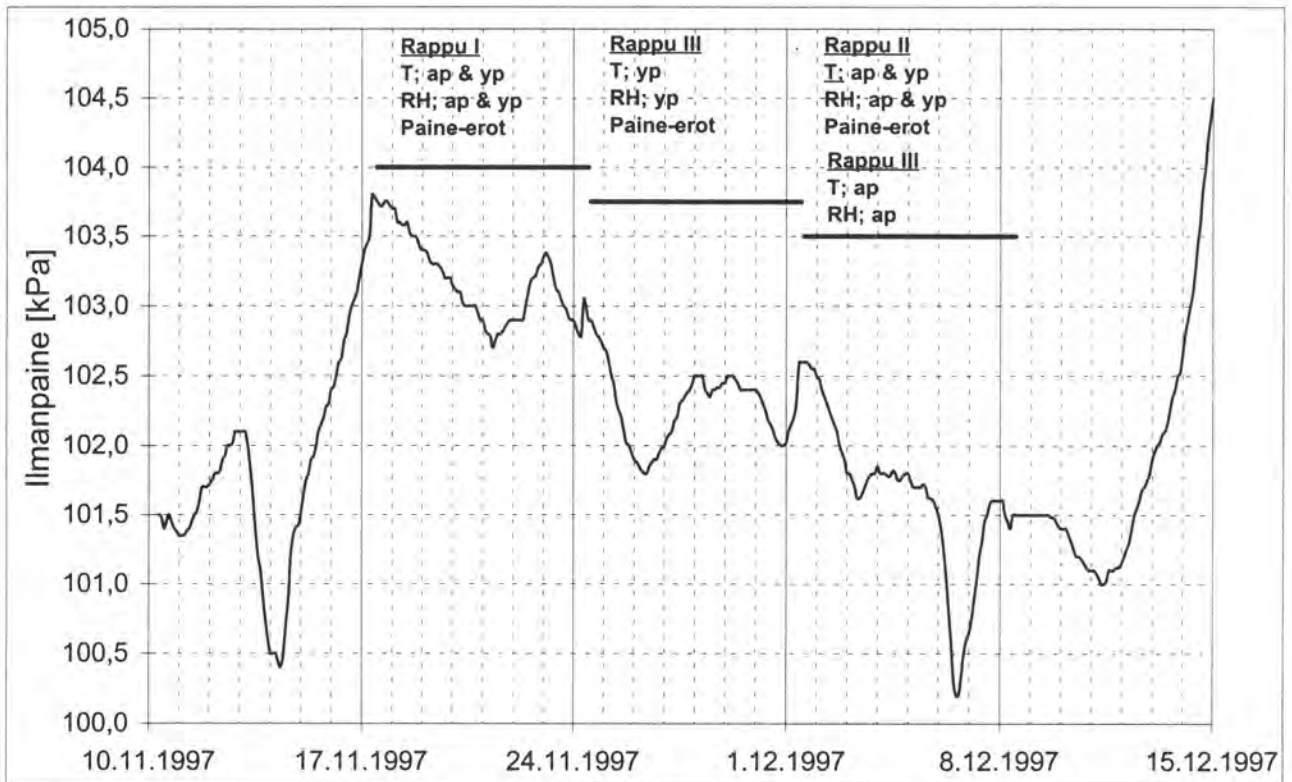
Kuvassa 19 on esitetty asunnon 5 ja rappu III:n ryömintätilan välinen paine-ero. Paine-eron vaihtelusta on selvästi havaittavissa koneellisen poistoilmajärjestelmän maksimiasennon ajankohdat aamuisin klo 6:00...8:00 ja iltaisin 16:00...18:00. Poiston ollessa täydellä teholla huoneiston alipaine ryömintätilaan nähden kasvaa 1...2 Pa. Muut paine-eromittauksien tulokset on esitetty liitteessä 4.

Ilmavirran suunnitteluarvot saatiin rakennuksen A LVI-suunnittelijalta ja poistoilman määrät rakennuksen B ilmamäärämittausspöytäkirjasta. Rakennuksessa A on huoneistokohtaiset koneelliset poisto- ja tuloilmajärjestelmät, joiden säätöalue on 1...4. Rakennuksen A mittauskohteiden asukkaat pitävät ilmastointilaitteiden aiheuttamaa ääntä häiritseväenä, minkä vuoksi säätöä pidetään usein minimiteholla 1. Suunnitteluarvot vastaavat ilmastoinnin säätöä 2. Suunniteltu ilmanvaihtuvuus säädöllä 2 asunnoissa 1...4 vaihtelee 0,6...0,8 l/h, mikä kertoo kuinka monta kertaa sisäilma vaihtuu tunnin aikana. *Suomen rakentamismääräyskokoelman /9/* mukaan normaalikorkuisen huoneen ilmanvaihtuvuus tulee olla tasolla 0,5 l/h. Rakennuksessa B sijaitsevilla asunnoissa 5...7 on ilmanvaihtuvuus ilmanpoiston maksimikäytöllä noin 0,8 l/h.

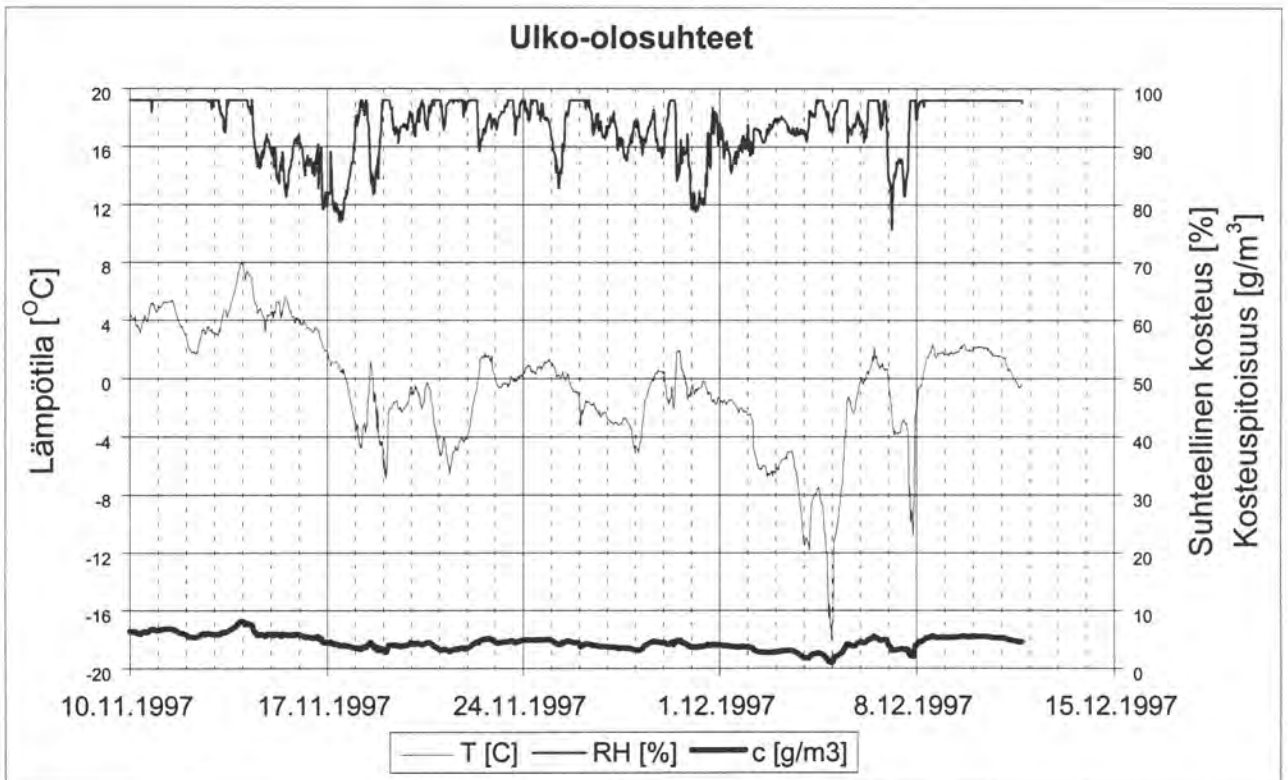


Kuva 19. Asunnon 5 ja rakennuksen B ryömintätilan välinen paine-ero.

Ilmanpaine vaikuttaa maaperästä ryömintätilaan kulkeutuvien epäpuhtauksien virtaussuuntaan. Ilmanpaineen ollessa laskussa, maaperästä voi kulkeutua ilmatilaan mahdollisia epäpuhtauksia. Kuvassa 20 on esitetty ilmanpaine jaksolla 10.11...15.12.1997. Ilmanpaine on esitetty viikko ennen ja jälkeen mittausjakson, jotta nähdään ilmanpaineen muutoksen suunta ko. jaksolla. Ulko-olosuhteet samalta ajanjaksolta on esitetty kuvassa 21. Ulko-olosuhteet on mitattu Itä-Helsingistä.



Kuva 20. Ilmanpaine 10.11...15.12.1997. Rappujen mittausjaksot on esitetty kuvassa viivoilla, joiden yläpuolella on rapuissa tehdyt mittaukset ko. ajanjaksolla, missä T=lämpötila, RH=suhteellinen kosteus, ap=alapohja ja yp=ylläpohja.



Kuva 21. Ulkoilman lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 10.11...11.12.1997.

Rakennuksen A ryömintätilan tuuletus on toteutettu ja siellä on koneellinen poisto. Rakennuksen ryömintätila on yhtenäinen kaikkien rappujen osalta sisältäen lyhyen sivun suuntaiset väliperustukset. Rappu II:n viereisessä tilassa oli aistittavissa homeen hajua. Merkkisavukokeilla selvitettiin ilmapuotokohtia ryömintätilasta rakenteeseen. Rapussa I havaittiin savulla asunnon 1 alapuolella olevassa ontelolaattojen saumakohdassa sekä WC:n viemäriiliitoksessa vuotokohta rakenteeseen. Rapussa II ei vastaavia vuotokohtia ollut havaittavissa. Ryömintätilassa olevista salaojien tarkastuskaivoista osa oli kuivia ja osassa oli seisovaa vettä.

Rakennuksen B ryömintätila on tuuletettu. Muottilaudoitus oli jätetty joltain osin purkamatta. Ryömintätilan korkea kosteus johtaa orgaanisen rakennusjätteen homehtumiseen. Merkkisavukokeella havaittiin pientä ilmapvirtausta rakenteeseen ensimmäisen kerroksen saunatilojen alapuolella.

Kosteus- ja lämpötilamittaukset

Pintakosteus lattioista ja seinistä kartoitettiin noin metrin välein, yksi/m² tehtävillä mittauksilla. Mittauksia tihennettiin, mikäli mittari näytti poikkeavia lukemia. Pintakosteusmittausten tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Pintakosteusmittaukset

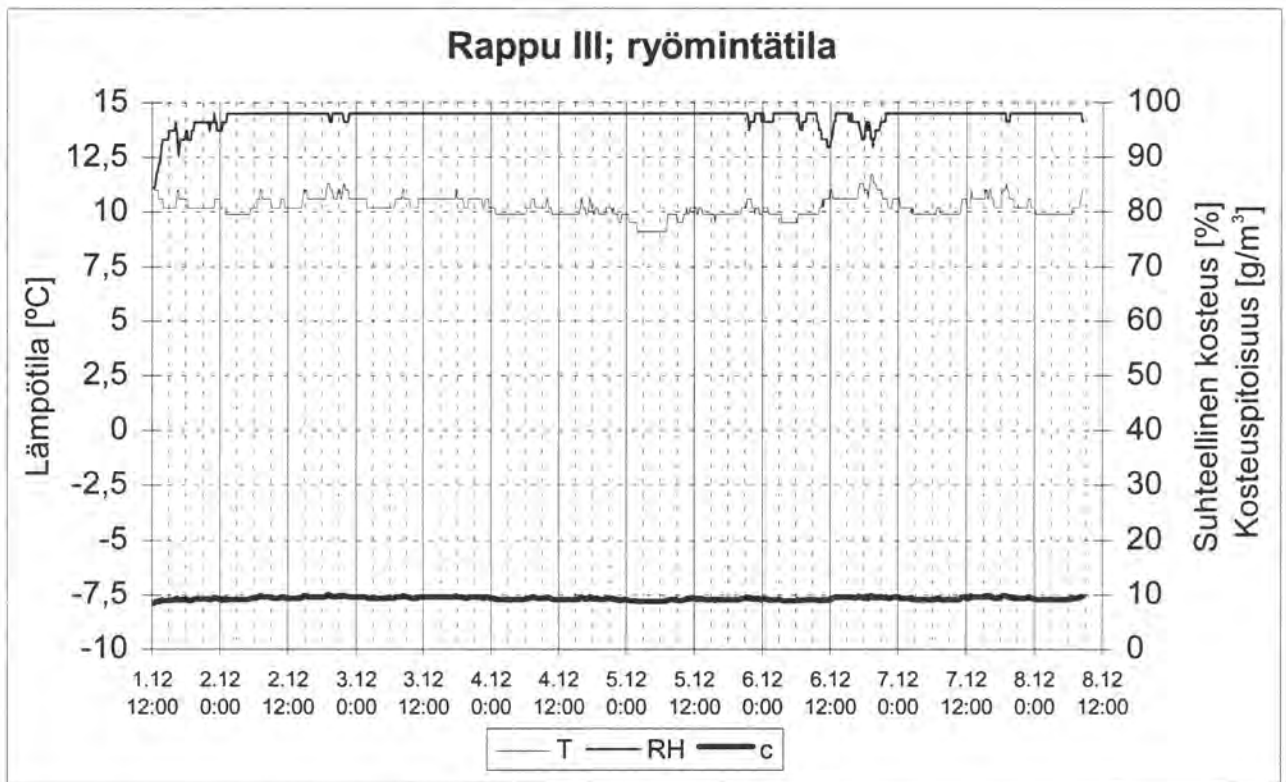
Asunto & pvm	1 17.11. 97	2 19.11. 97	3 19.11. 97	4 1.12. 97	5 24.12. 97	6 24.12.97	7 26.12.97
WC:n lattia	1,8-4,0 %	3,5-4,5%	1,5-3,5%	3,1-4,5%			
Pesuhuoneen lattia	2,4-3,9 %	2,1-4,1%	1,5-3,5%	1,2-3,5%			
WC/pesuhuoneen lattia					1,5-3,6%	0,9-2,9%	3,0-3,5%
Asuinhuoneiden lattiat	0,5-1,5%	0,5-1,5%	0,5-1,5%	0,3-2,2%	0,8-1,8%	0,3-0,5%	0,3-0,5%
Asuinhuoneiden seinät		1,0-1,5%	0,7-1,7%	0,3-1,8%	1,1-2,0%	0,6-1,3%	2,2-2,5%
Rapun katto asunnon oven alueelta		≈3%					

Pintakosteusmittauksissa ei esiintynyt normaalista poikkeavia arvoja. Märkätilojen lattiakaivojen ympäristössä oli muita rakennusosia korkeampia arvoja. Asunnon 7 keittiön allaskaapissa oli vettä, joka todennäköisesti on vuotanut kaappiin asuntoon asennetun tiskikoneen vesijohtoliitännöistä. Allaskaapin alla ei ollut muovimattoa, mitä muiden keittiökaluksien alla oli. Pintakosteusarvot lattiassa eivät olleet allaskaapin ympärillä suurempia kuin asunnon muissa kohdissa.

Asunnon 2 asukkaiden haastattelussa tuli ilmi syksyllä 1997 tapahtunut vesivuoto ylemmän kerroksen pesuhuoneesta. Pesuhuoneen hanojen aukijääminen oli aiheuttanut asunnon 2 eteisen seinässä maalin lohkeilua. Lisäksi lattialle oli kertynyt irtonaista vettä ja katossa oli ollut havaittavissa veden aiheuttama pullistuma. Vesivahinko oli näkynyt myös rapun puolella. Vesivahingosta kärsineet rakenteet eivät olleet silmämääräisellä tarkastelulla eivätkä pintakosteusarvoiltaan ympäristöstä poikkeavia.

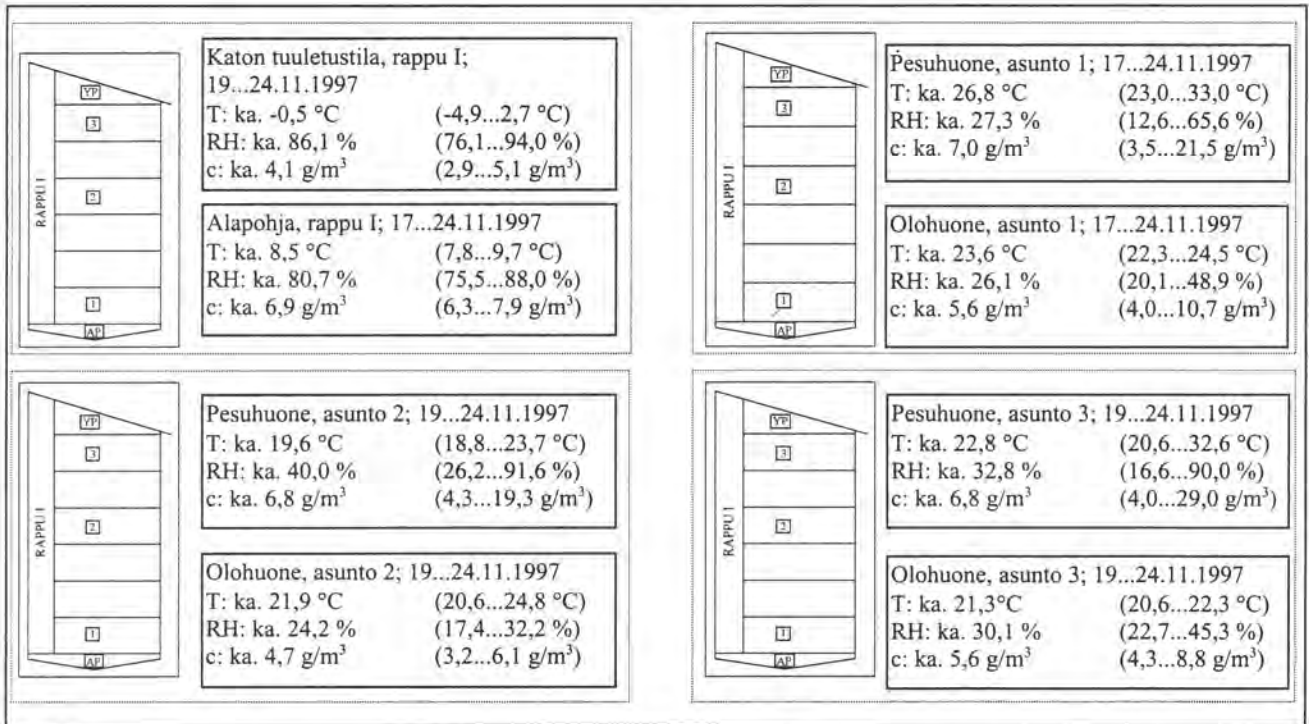
Rakennuksen A ryömintätilan absoluuttiset kosteudet mittausjaksojen aikana olivat rapussa I 6,3...7,9 g/m³ ja rapussa II 5,1...6,5 g/m³. Ryömintätilojen erilaisiin kosteuksiin yhtenäisestä tilasta huolimatta vaikuttavat eri mittausajat sekä mittausantureiden sijainti ryömintätilan tuuletusputkiin nähden.

Rakennuksen B ryömintätilan kosteus oli suurempi kuin rakennuksen A. Absoluuttinen kosteus vaihteli mittausajalla 8,5...10,1 g/m³. Kuvassa 22 on esitetty rapun III alaphjan lämpötila, suhteellinen kosteus sekä niistä laskettu kosteuspitoisuus.

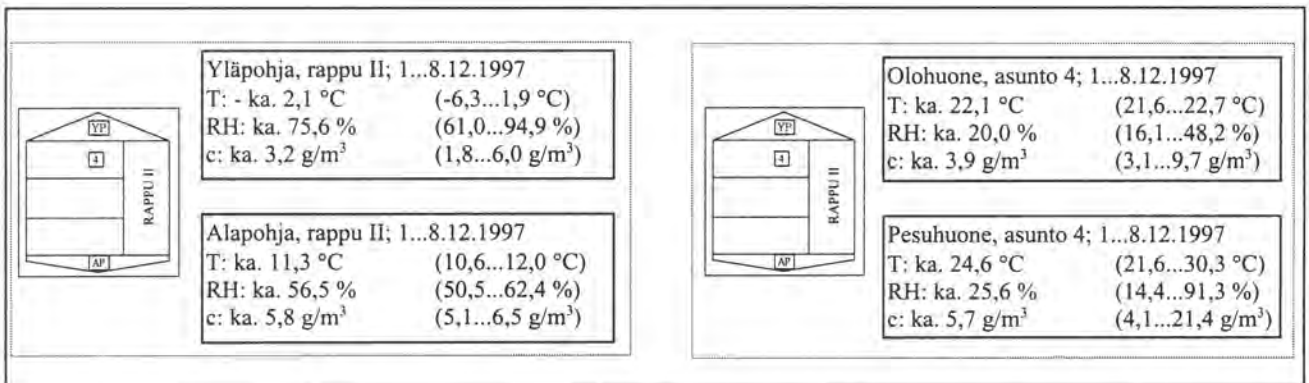


Kuva 22. Rappu III:n ryömintätilan lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 1...8.12.1997.

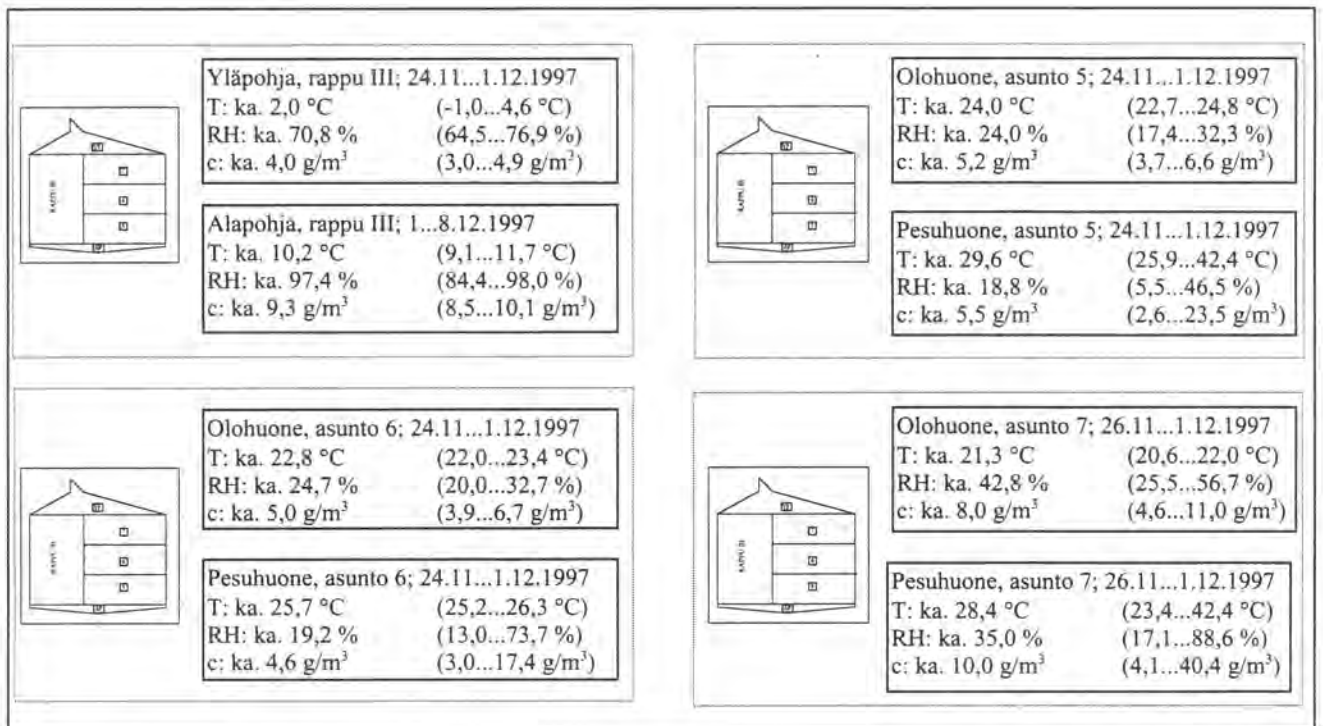
Kuvissa 23...25 on esitetty rappujen I,...III ryömintätilojen ja yläpohjien sekä rapuissa sijaitsevien asuntojen huonetilojen lämpötilat, suhteelliset kosteudet ja kosteuspitoisuudet.



Kuva 23. Rapussa I tehtyjen kohteiden huonetilojen lämpötilat (T), suhteelliset kosteudet (RH) ja kosteuspitoisuudet (c) mittausjakson aikana. Arvot ovat mittausjakson keskiarvoja, suluissa on vaihteluväli.



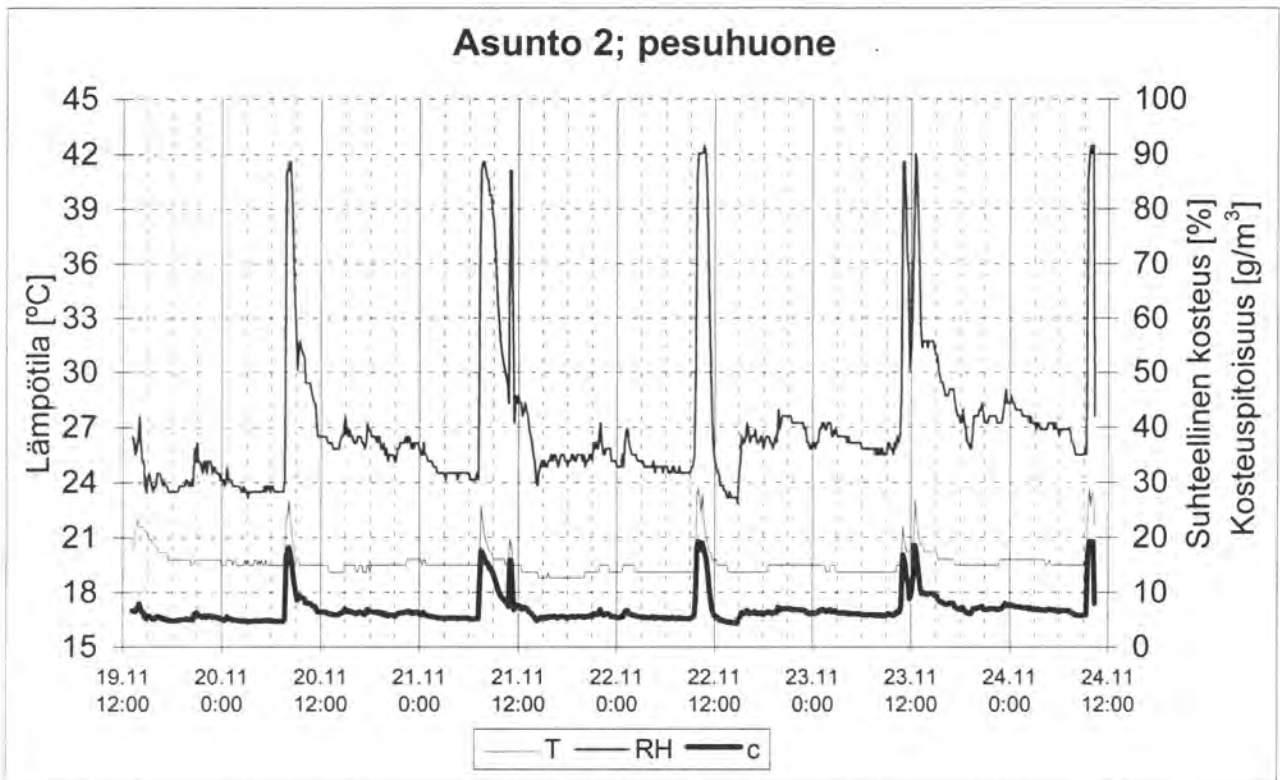
Kuva 24. Rapussa II tehtyjen kohteiden huonetilojen lämpötilat (T), suhteelliset kosteudet (RH) ja kosteuspitoisuudet (c) mittausjakson aikana. Arvot ovat mittausjakson keskiarvoja, suluissa on vaihteluväli.



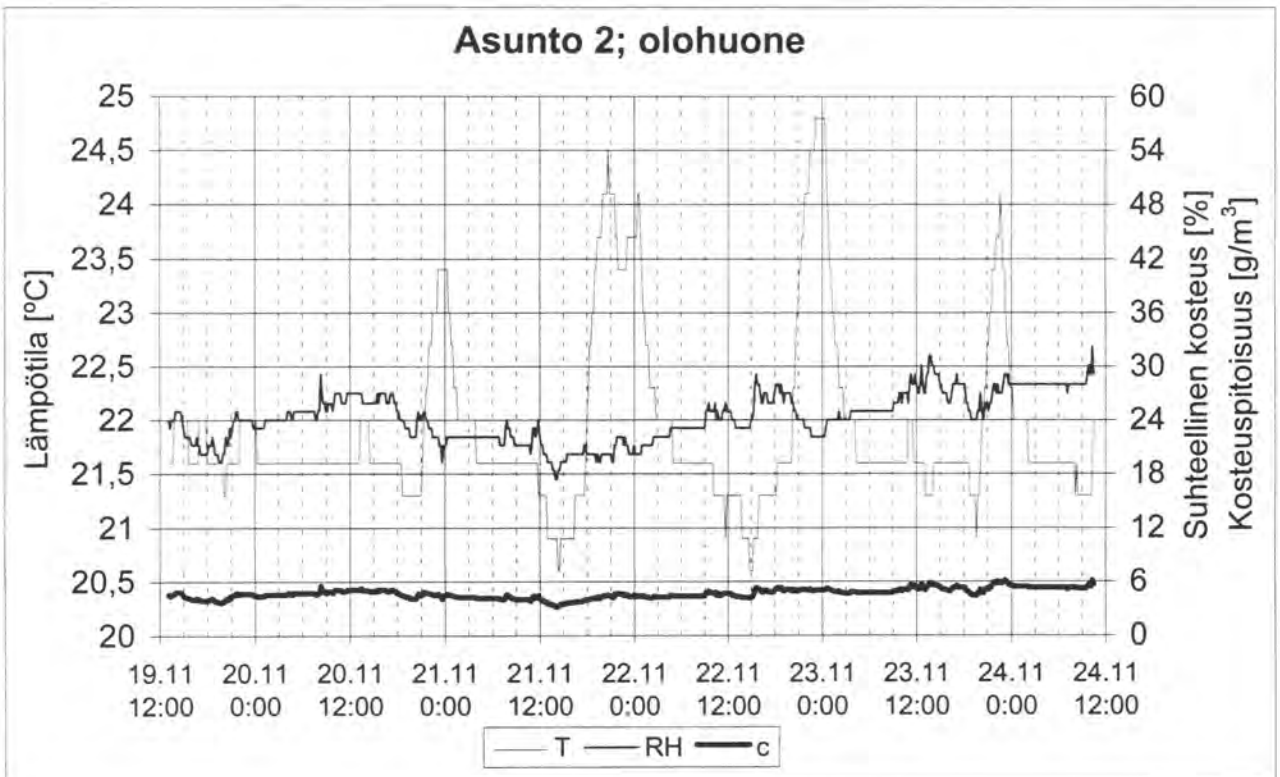
Kuva 25. Rapussa III tehtyjen kohteiden huonetilojen lämpötilat (T), suhteelliset kosteudet (RH) ja kosteuspitoisuudet (c) mittausjakson aikana. Arvot ovat mittausjakson keskiarvoja, suluissa on vaihteluväli.

Asuntojen pesuhuoneiden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksista näkyy selvästi suihkun käytön lisäämä kosteustuotto. Asunnossa 2 lisäkosteus oli noin 13 g/m³. Kuvassa 26 on esitetty asunnon 2 pesuhuoneen mittaustulokset. Muiden asuntojen pesuhuoneiden ilmatilan lämpötila ja suhteellinen kosteus on esitetty liitteessä 4.

Olohuoneiden ilmatilojen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksista näkyy olohuoneen käyttöaikainen lämpötilan nousu. Normaalissa huonelämpötilassa levossa oleva ihminen tuottaa kosteutta 40...50 g/h. Kuvassa 27 on esitetty asunnon 2 olohuoneen mittaustulokset. Muiden asuntojen olohuoneiden ilmatilan lämpötila ja suhteellinen kosteus on esitetty liitteessä 4.

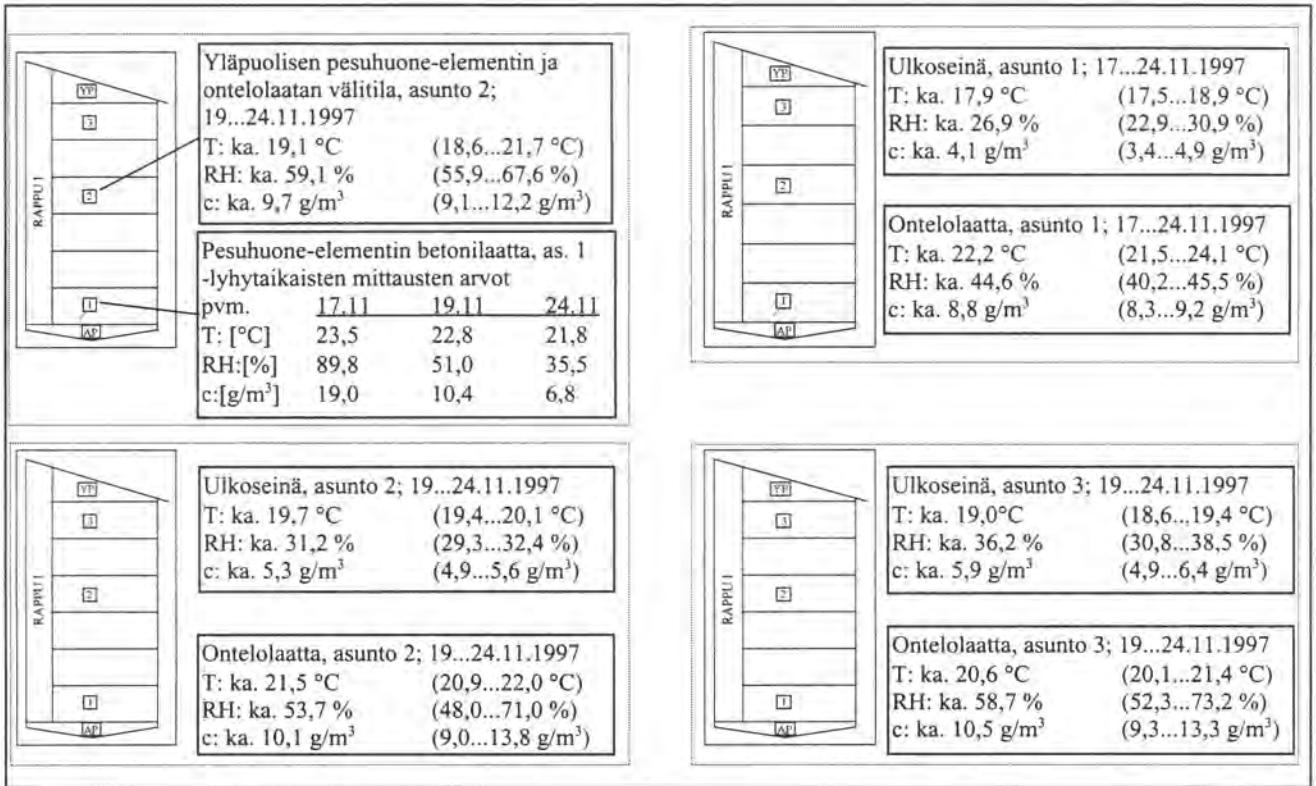


Kuva 26. Asunnon 2 pesuhuoneen lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 19...24.11.1997.

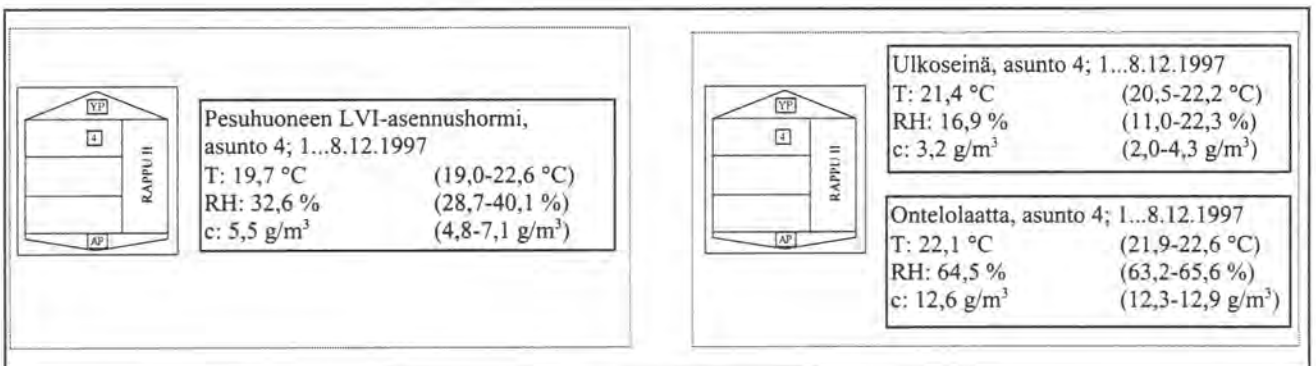


Kuva 27. Asunnon 2 olohuoneen lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 19...24.11.1997.

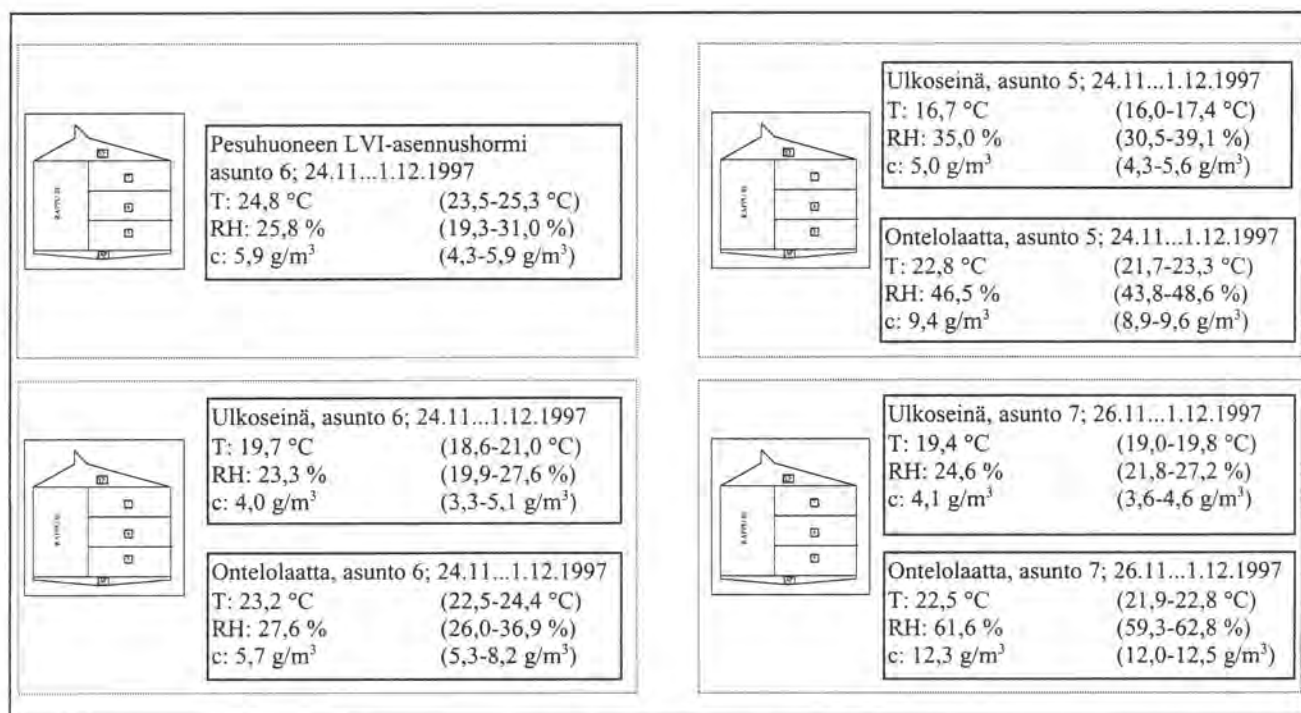
Kuvissa 28...30 on esitetty rapuissa I, II ja III sijaitsevien asuntojen rakenteiden lämpötilat, suhteelliset kosteudet ja kosteuspitoisuudet mittausjakson aikana. Ontelolaatta häiriintyy porauksesta betonin fysikaaliskemiallisten reaktioiden vuoksi, jolloin porausreiästä mitattu rakennekosteus tasaantuu hitaasti oikeaan arvoonsa. Mittausjakson keskiarvoa paremmin ontelolaatan arvoja kuvaa mittauksen viimeisimmät arvot, jotka ovat yleensä minimiarvoja.



Kuva 28. Rapussa I sijaitsevien asuntojen rakenteiden lämpötilat (T), suhteelliset kosteudet (RH) ja kosteuspitoisuudet (c) mittausjakson aikana. Arvot ovat mittausjakson keskiarvoja, suluissa on vaihteluväli.

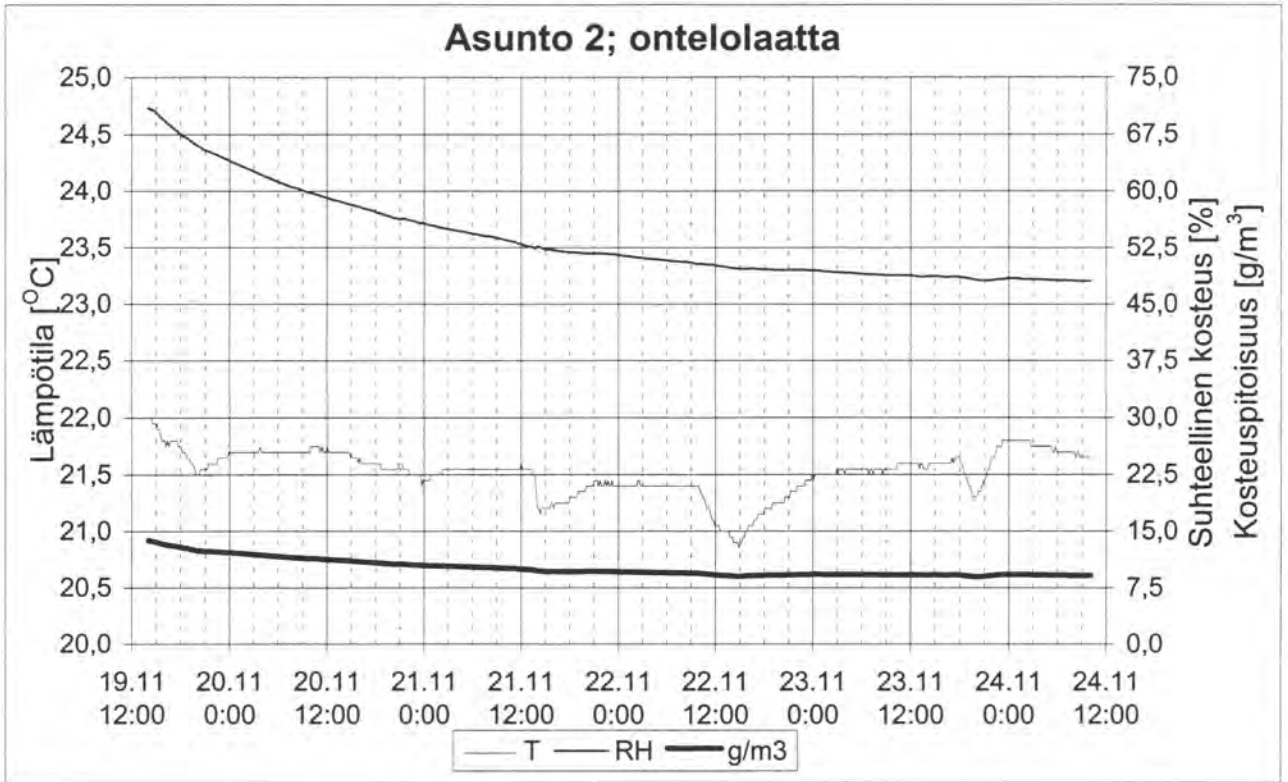


Kuva 29. Rapussa II sijaitsevien asuntojen rakenteiden lämpötilat (T), suhteelliset kosteudet (RH) ja kosteuspitoisuudet (c) mittausjakson aikana. Arvot ovat mittausjakson keskiarvoja, suluissa on vaihteluväli.

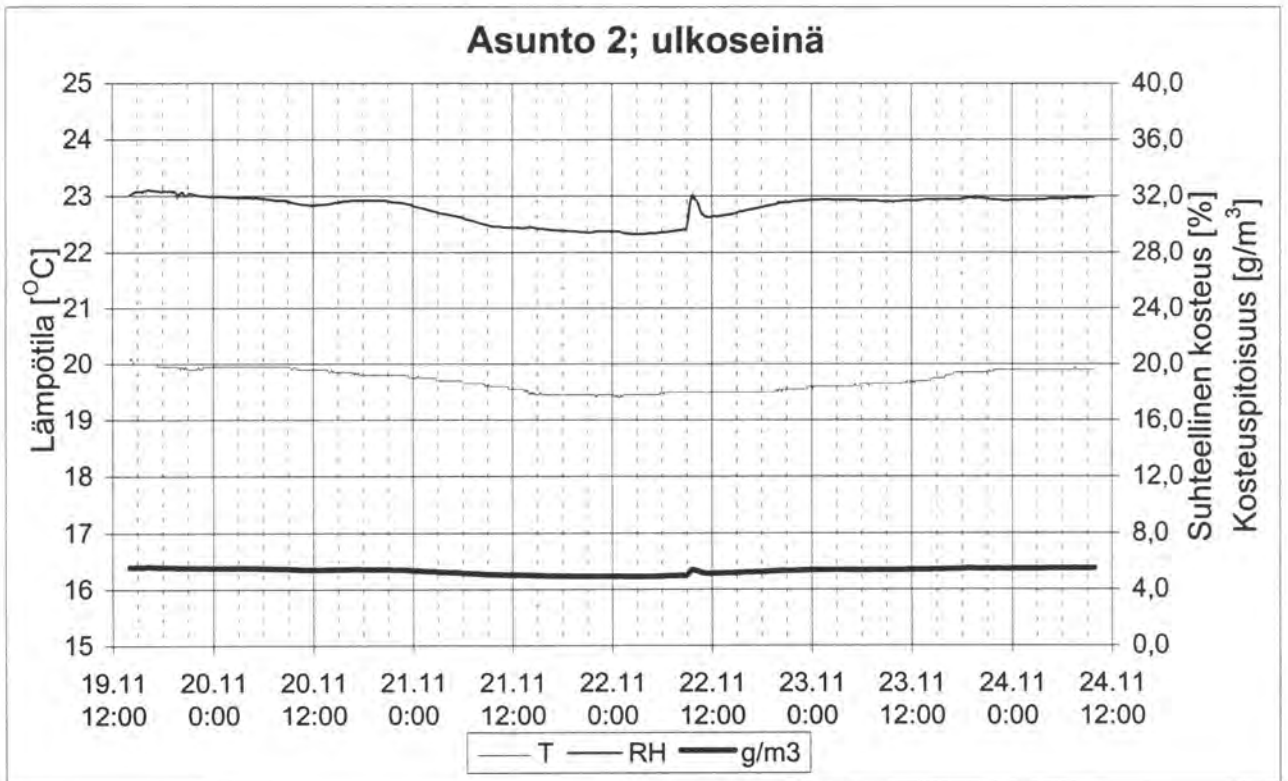


Kuva 30. Rapussa III sijaitsevien asuntojen rakenteiden lämpötilat (T), suhteelliset kosteudet (RH) ja kosteuspitoisuudet (c) mittausjakson aikana. Arvot ovat mittausjakson keskiarvoja, suluissa on vaihteluväli.

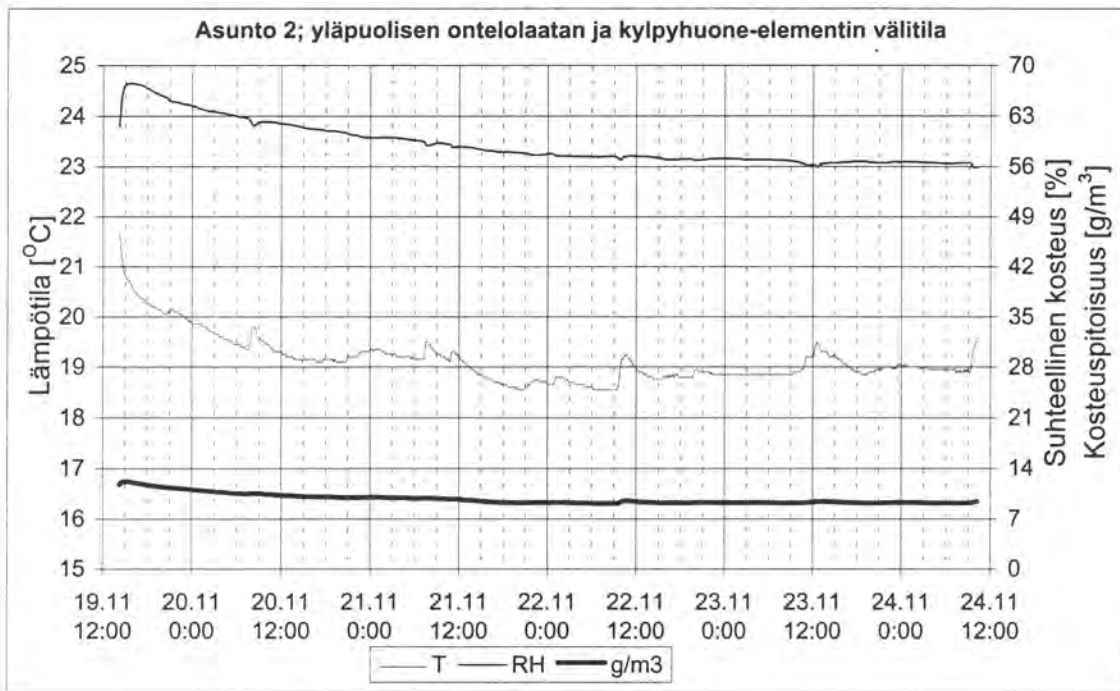
Kuvissa 31...33 on esitetty asunnon 2 rakenteista mitatut lämpötilat, suhteelliset kosteudet ja niistä lasketut kosteuspitoisuudet. Kuvassa 31 näkyy porauksen aiheuttama reaktio ontelolaattaan, mikä aiheuttaa suhteellisen kosteuden nousun. Kosteus tasaantuu hitaasti, joten ensimmäisien päivien mittausarvot ovat rakenteen todellisia arvoja vääristäviä. Betonin suhteellisen kosteuden nousu toistuu myös asunnon 2 yläpuolisen ontelolaatan läpi poratusta reiästä, josta saatiin asennettua mittausanturi seuraavan kerroksen kylpyhuone-elementin alapuoliseen välitilaan. Ulkoseinään poratussa mittausreiässä ei vastaavaa fysikaaliskemiallista reaktiota esiinny. Muiden asuntojen rakenteiden mittaus tulokset on esitetty liitteessä 4.



Kuva 31. Asunnon 2 ontelolaattarakenteen lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 19...24.11.1997.

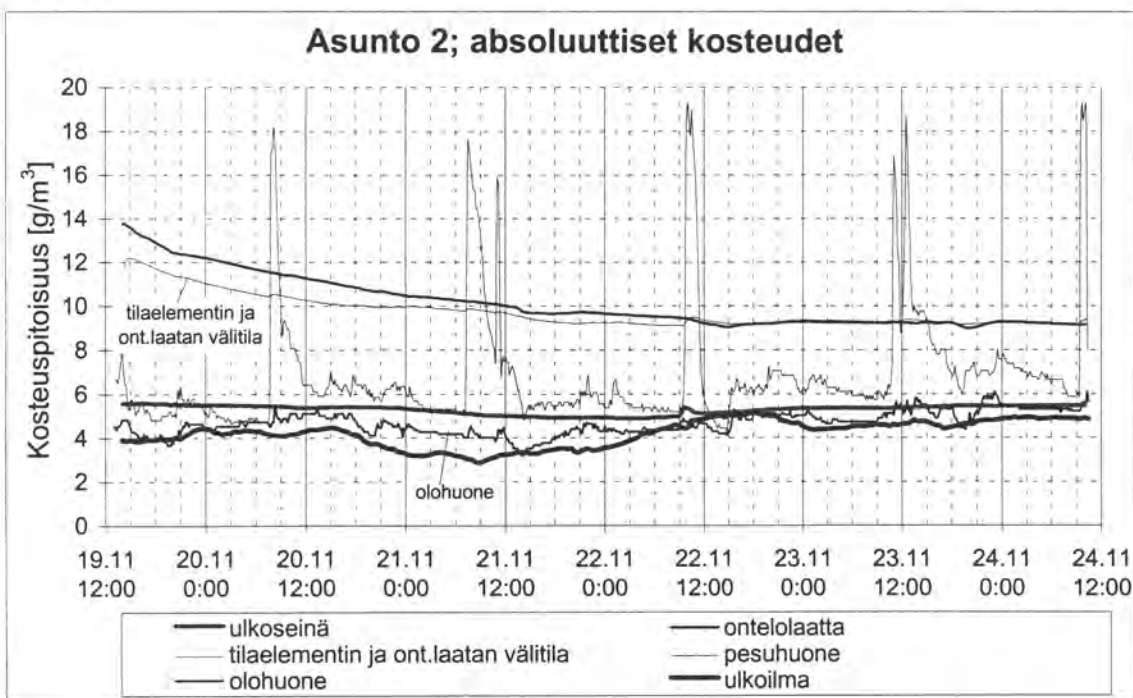


Kuva 32. Asunnon 2 ulkoseinärakenteen lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 19...24.11.1997.



Kuva 33. Asunnon 2 pesuhuoneen yläpuolisen ontelolaatan ja seuraavan kerroksen kylpyhuone-elementin välitilan lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH) ja niistä saatu kosteuspitoisuus (c) mittausjaksolla 19...24.11.1997.

Kuvassa 34 on esitetty asunnon 2 mittauspisteiden ja ulkoilman absoluuttiset kosteudet, jotka on laskettu lämpötiloista ja suhteellisista kosteuksista. Asunnon 2 kosteuslisä ontelolaattarakenteissa tasaantumisen jälkeen on noin 4 g/m^3 ja ulkoseinässä kosteuslisä vaihteli $0...2 \text{ g/m}^3$ ulkoilmaan verrattuna. Muiden kohteiden vertailukuvat on esitetty liitteessä 4.



Kuva 34. Asunnon 2 mittauspisteiden ja ulkoilman absoluuttiset kosteudet 19...24.11.1997.

3.4. Epäpuhtausmittaukset

Helsingin kaupungin ympäristökeskus mittasi ja analysoi asuntojen sisäilmasta VOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuudet sekä mikrobit. VTT Kemianteleknikka puolestaan määrittäi asuntojen lattia-, seinä- ja kattopintojen ammoniakkiemissiöt. Asuntojen mittausohjelma on esitetty taulukossa 6. Asuntojen näytteenottoaikat ja -ajat on esitetty liitteessä 3.

Näytteenotosta on annettu menettelyohjeita /8/. Mitattaessa sisäilman epäpuhtauksia huoneiston lämmityksen ja ilmanvaihdon tulee olla normaalissa toiminnassa. Tuuletusta tulee välttää 4-6 tunnin ajan ennen näytteenottoa sekä sen aikana. Näytteenotto tehdään sellaisessa paikassa, jossa epäpuhtaus on parhaiten havaittavissa. Näyte otetaan yleensä tutkittavan huoneen keskeltä noin 0,5-1,5 metrin korkeudelta. Huoneen koosta riippuen näytteitä otetaan tavallisesti yksi tai kaksi. Joidenkin epäpuhtauksien kuten ammoniakkin ja formaldehydin emissioihin vaikuttavat rakennekosteuden lisäksi myös sisäilman kosteus ja lämpötila. Tämän vuoksi näiden yhdisteiden pitoisuudet tulisi mitata myös kosteana vuodenaikana esim. syyskesällä.

Näytteenotto voi olla ajallisesti hetkellinen tai pitkäaikainen. Hetkellisessä VOC-näytteenotossa haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerätään esimerkiksi Tenax-adsorbentilla pakattuun näyteputkeen pumpun avulla. Keräysaika vaihtelee 20 minuutista useisiin tunteihin. Pitkäaikaisessa näytteenotossa näyte kerätään yleensä ns. passiivikeräimeen. Sen keräysaika on 1-4 viikkoa, jolloin mittaustulos on keskiarvo useamman viikon pitoisuuksista.

Analysointilaitteistona laboratoriossa on yleensä termodesorptio-kaasukromatografi. Yhdisteiden tunnistamisessa voidaan käyttää massaspektrometriä. Käytännössä suoraan luettavia mittareita ei käytetä VOC-sisäilmatutkimuksessa, koska niiden mittaustarkkuus ei ole riittävä mitattaessa pieniä pitoisuuksia /8/.

3.4.1. Sisäilman VOC-mittaukset

Näytteenotto ja mittaustulokset

Sisäilman VOC-pitoisuudet mitattiin kahtena päivänä siten, että mittauspäivien väli oli yksi vuorokausi. Näytteet otettiin sekä aamu- että iltapäivällä jokaisen asunnon olohuoneista. Keräysaika tenax-putkiin oli noin puoli tuntia keräysnopeuden ollessa 65 ml ilmaa minuutissa. Näytteen koko oli 1,95 litraa. Mittaukset tehtiin 17.11.-3.12.1997 välisenä aikana. Lisäksi jokaisen asunnon olohuoneeseen sekä asunnon 1 LVI-asennushormiin jätettiin passiivikeräimet. Passiivikeräimen keräysaika oli keskimäärin 3 viikkoa. Laboratoriossa tenax-näytteet desorboitiin termodesorptiolaitteella (TD) suoraan kaasukromatografi-massaspektrometriin (GC/MS). Passiivikeräinnäytteet analysoitiin myös GC/MS:lla. Rakennusten alapohjien VOC-pitoisuudet mitattiin 26.2.1998 keräämällä näytteet tenax-näyteputkiin. Sekä tenax- että passiivikeräinnäytteistä analysoitiin 49 VOC-yhdistettä edellä mainituilla laitteilla.

Sekä huoneistojen että alapohjien VOC-tulokset on esitetty liitteessä 5. Mittaustuloksista lasketut TVOC-arvot on esitetty taulukossa 8. Taulukossa esiintyvä lyhenne ap tarkoittaa aamupäivämittausta ja ip vastaavasti iltapäivämittausta.

Taulukko 8. TVOC-pitoisuudet asuntojen olohuoneista ja asunnon I LVI- asennushormista sekä alapohjista.

Mittauskohde	Näytteenotto-päivä	TVOC (summa) µg/m ³					
		ap1	ip1	ap2	ip2	Passiivikeräin	Alapohjat 26.2.1998 (ka. ap1&ip1)
Asunto 1	17.11.&19.11.-97	135,7	123,1	253,5	275,6	199,2	12,3
Asunnon 1 LVI-asennushormi	11.12.97					195,2	
Asunto 2	18.11.&20.11.-97	153,7	150,4	229,9	248,7	135,0	-
Asunto 3	18.11.&20.11.-97	248,6	231,3	286,9	281,1	279,1	-
Asunto 4	1.12.&3.12.-97	277,7	343,1	335,6	295,4	170,1	13,3
Asunto 5	25.11.&27.11.-97	499,7	515,6	397,6	357,2	234,3	9,6
Asunto 6	24.11.&26.11.-97	260,5	281,5	170,2	175,6	163,2	-
Asunto 7	24.11.&26.11.-97	402,8	433,6	268,0	251,8	401,9	-

Mittaustulosten tarkastelu

Sisäilman tavanomaisena TVOC:n pitoisuutena pidetään 200-300 µg/m³, vrt. taulukko 2. Hetkellisten mittaustulosten perusteella TVOC:n pienin pitoisuus oli 123,1 µg/m³ asunnosta 1 ja suurin oli 515,6 µg/m³ asunnosta 5. Pitkäaikaisessa näytteenotossa pienin pitoisuus oli 135,0 µg/m³ asunnosta 2 ja suurin oli 401,9 µg/m³ asunnosta 7.

Tarkasteltaessa mittaustuloksia yksittäisten yhdisteiden perusteella, niin lähes poikkeuksetta bentseenijohdannaisien, kuten tolueni, etyylibentseeni, styreeni, 1,2- ja 1,4-ksyleeni, hetkelliset mittaustulokset olivat suurempia kuin passiivikeräimen kolmen viikon keskimääräinen mittaustulos, vrt. liite 5. Hetkellisten mittausten pitoisuudet vaihtelivat lisäksi saman päivän mittauksissa. Myös alifaattiset hiilivedyt, esim. dekaani, tri-, tetra-, penta-, ja heksadekaani, käyttäytyivät samalla tavalla kuin bentseenijohdannaiset muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

Heksanaalin käyttäytyminen poikkesi edellä mainituista siten, että passiivikeräimen pitoisuus oli suurempi kuin hetkellisen näytteen. Lisäksi heksanaalin aamu- ja iltapäivän mittaustulokset olivat lähes samoja.

Lähes kaikista asunnoista mitattiin suuret 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli-di-isobutyraatti-pitoisuudet (TXIB), jotka vaihtelivat eri mittauspäivinä. Pääosassa mittaustuloksia oli TXIB:n ja ilmanpaineen muutossuunnan ja -nopeuden välillä riippuvuus. Ilmanpaineen noustessa TXIB pitoisuus laskee. Ko. käyttäytymismalli viittaa siihen, että emissio on peräisin rakenteesta eikä tilan toiminnasta. TXIB:a käytetään puolikovissa ja pehmeissä PVC-muovimatoissa sekä kovissa muovilaatoissa apuaineena ja pehmittimenä. Kyseisistä materiaaleista voi emittoitua TXIB:a sisäilmaan. Yleisesti hetkelliset pitoisuudet olivat suurempia kuin passiivikeräimien pitoisuudet.

3.4.2. Ammoniakki

Näytteenotto ja mittaustulokset

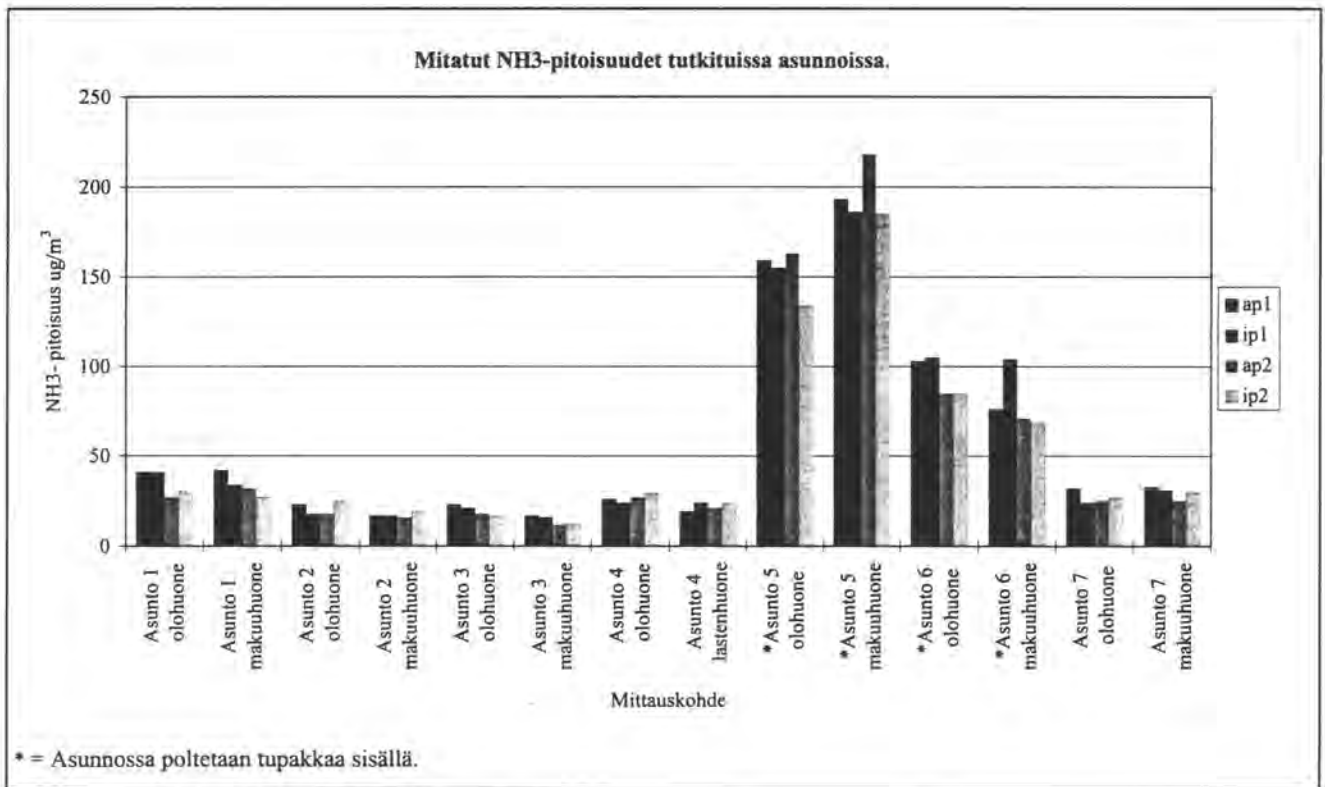
Ammoniakkipitoisuudet mitattiin jokaisen asunnon olo- ja makuuhuoneesta 17.11.-3.12.1997 välisenä aikana. Mittaukset tehtiin kahtena päivänä ja molemmilla kerroilla otettiin 100 litran näytteet sekä aamu- että iltapäivällä kustakin huoneesta. Ammoniakkipitoisuus mitattiin myös asunnon 1 LVI-asennushormista 11.12.1997. Näytteenotot ja määritykset on tehty soveltaen seuraavia ohjeita: SFS standardi nro. 3032 /10/ ja 401 Tentative Methods of Analysis for Ammonia /11/.

Ammoniakinäyte kerättiin kuplittamalla huoneilmaa 100 minuutin ajan 0,01 N rikkihappoon pumpun avulla keräysnopeuden ollessa 1 l ilmaa minuutissa. Laimeassa rikkihapossa ammoniakista muodostuu ammoniumsulfaattia. Laboratoriossa näytteet neutraloitiin ja ammoniumpitoisuus määritettiin spektrofotometrisesti. Tarkempi kuvaus näytteenotosta ja ammoniakkipitoisuuden määrittämisestä on viitteessä /6/. Sekä ammoniakkitulokset että mittaushetkellä vallinnut ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila on esitetty liitteessä 6.

Mittaustulosten tarkastelu

Asunnoissa sisäilman ammoniakkipitoisuudet olivat kohonneet yli normaalin pitoisuustason, joka sisäilmassa on tavallisesti 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asunnoissa pitoisuudet yleensä olivat yli 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Poikkeuksina olivat asunto 3 ja asunnon 2 makuuhuone. Niissä keskiarvo oli alle 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmat NH_3 -pitoisuudet toimenpideasunnoista mitattiin asunnosta 1, maksimi 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asunnon 1 LVI-asennushormista mitattiin 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ammoniakkipitoisuus.

Vertailuasuntojen 5 ja 6 ammoniakkipitoisuudet olivat korkeita. Yhtenä syynä asuntojen korkeisiin pitoisuuksiin voidaan pitää tupakanpoltoa sisällä. Kuvassa 35 on esitetty ammoniakkipitoisuudet kaikista asunnoista.



Kuva 35. Sisäilman ammoniakkipitoisuudet tutkituissa asunnoissa.

Mittaustulosten perusteella ei kuitenkaan voitu havaita selvää riippuvuutta ammoniakkipitoisuuden ja ilmanpaineen muutossuunnan ja -nopeuden välillä. Toisaalta mittausjakson aikana ilmanpaineessa ei tapahtunut voimakkaita muutoksia. Mittaustuloksiin vaikuttaa ihmisten lukumäärä ja heidän toimintansa sekä asunnon ilmanvaihto.

3.4.3. Pintojen ammoniakkiemissiot

Materiaalin pinnasta tapahtuvaa kemiallista emissiota tutkittiin FLEC-laitteella. FLEC on lyhenys sanoista Field and Laboratory Emission Cell. Ammoniakkiemissiot mitattiin katoista, seinistä ja latioista muovimattojen alta kaikista asunnoista 26.11.-4.12.1997 välisenä aikana.

Näytteenotossa FLEC-kammio tiivistetään tutkittavalle pinnalle, johon johdetaan synteettistä 50 prosentin suhteelliseen kosteuteen kostutettua ilmaa. Ammoniakkinäyte saadaan rikastamalla pinnalta vapautuva ammoniakki laimeaan rikkihappoon kuplitusmenetelmää käyttäen. Laboratoriossa ammoniakkipitoisuus analysoidaan näytteenottoliuoksesta ammoniakispesifisellä elektrodilla. Taulukossa 9 on esitetty tutkimuskohteissa mitattujen materiaalipintojen ammoniakkiemissiot.

Taulukko 9. Eri materiaalipintojen ammoniakkiemissiot tutkimuskohteissa.

Mittauskohde	Mittauspäivä	Emissio/ mg/(m ² h)			Lämpötila ¹⁾	Suht. kost. ¹⁾
		Lattia	Seinä	Katto	°C	%
Asunto 1	1.12.1997	1,20	<0,01	<0,01	22	27
Asunto 2	24.11.1997	0,91	<0,01	<0,01	21	28
Asunto 3	21.11.1997 *4.12.1997	0,48	<0,01	*<0,01	19	25
Asunto 4	27.11.1997	0,40	<0,01	<0,01	22	26
Asunto 5	3.12.1997	0,12	<0,01	0,04	23	30
Asunto 6	2.12.1997	0,58	<0,01	<0,01	22	28
Asunto 7	28.11.1997 *4.12.1997	0,63	<0,01	*<0,01	21	49

1. Tutkittavan asunnon sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden keskiarvo mittausajalta
* Huomaa kattoemission poikkeava mittauspäivämäärä

Mittaustulosten tarkastelu

Tutkituissa asunnoissa katto- ja seinäpintojen osalta emissiot alittivat suomalaisessa pintamateriaaliluokituksessa /2/ parhaalle luokalle M1 asetetun ammoniakkiemission raja-arvon 0,03 mg/(m²h), vrt. taulukko 1. Asunnon 5 kattopinnan ammoniakkiemissioksi mitattiin 0,04 mg/(m²h), kun muissa asunnoissa tulos oli alle 0,01 mg/(m²h). Seinäemissiot olivat alle 0,01 mg/m²h kaikissa asunnoissa.

Lattiapinnoitteen alta mitatut ammoniakkiemissiot olivat suhteellisen korkeita jokaisessa asunnossa. Pienin muovimatton alta mitattu ammoniakkiemissio oli asunnossa 5 ja suurin kymmenkertainen emissio, mitattiin asunnosta 1. VTT Kemiantekniikka toisaalta toteaa mittaustuloksistaan, että asunnoista muovimattojen alta mitatut ammoniakkiemissiot eivät suuruusluokaltaan poikkea arvoista, joita viimeaikaisissa vastaavissa mittauksissa on saatu. Lisäksi todetaan, että lattiapinnoitteiden alapuolisten ammoniakkiemissioiden merkitystä sisäilman laatuun ei tunneta tarkasti.

Seinä- ja kattopintojen ammoniakkiemissioiden tulkinnassa on otettava huomioon näytteenottomenetelmästä johtuva pienten ammoniakkipitoisuuksien määrittämisepävarmuus¹. Tämä on otettava huomioon tarkasteltaessa asunnon 5 kattopinnan mittaustulosta (taulukko 9). Seinä- ja kattopinnoilta kerättyjen ilmanäytteiden tilavuus vaihteli 25-140 litraan. Keskimääräinen näytetilavuus oli noin 60 litraa.

Edellisten lisäksi Helsingin kaupungin ympäristökeskus otti tasoitenäytteitä kahdesta toimenpidepyyntöasunnosta ja yhdestä vertailuasunnosta. Tasoitenäytteille tehtiin proteiini-koel, jossa tasoitteiden todettiin sisältävän valkuaisaineita.

¹ VTT Kemiantekniikka, Ympäristötekniikan tutkimusraportti Nro KET 2696/97.

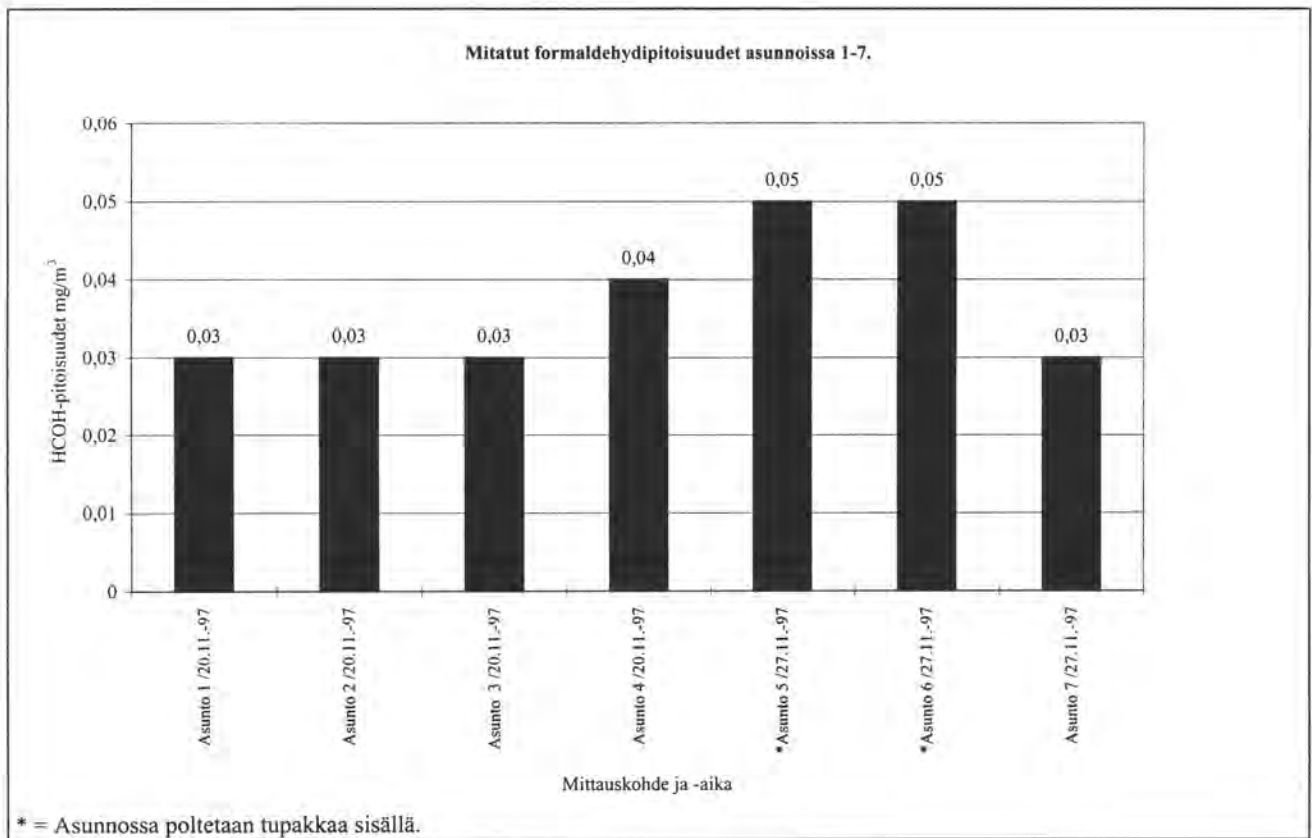
3.4.4. Formaldehydi

Näytteenotto ja mittaustulokset

Formaldehydipitoisuudet sisäilmasta mitattiin kaikista asunnoista 20-27.11.1997 välisenä aikana soveltaen standardia SFS 3862 /12/. Formaldehydipitoisuudet olivat lähes samansuuruisia kaikissa asunnoissa.

Mittaustulosten tarkastelu

Kaikkien asuntojen formaldehydipitoisuudet jäivät alle sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeessa annetun enimmäispitoisuuden ($0,15 \text{ mg/m}^3$). Mitatuissa asunnoissa maksimipitoisuus oli $0,05 \text{ mg/m}^3$ (5 ja 6) ja minimi $0,03 \text{ mg/m}^3$ (1, 2, 3 ja 7). Verrattaessa mittaustuloksia sisäilmalle annettuihin tavoitearvoihin, vrt. taulukko 2, tuloksien todettiin osuvan S2-luokkaan lukuun ottamatta kohteita 5 ja 6, joiden formaldehydipitoisuudet sijoittuvat S2- ja S3-luokan rajalle. Kuvassa 36 on esitetty asuntojen formaldehydipitoisuudet.



Kuva 36. Sisäilman formaldehydipitoisuudet tutkituissa asunnoissa.

Muihin asuntoihin verrattuna vertailuasuntojen 5 ja 6 korkeat pitoisuudet aiheutuvat todennäköisesti tupakanpoltosta. Kaikkien asuntojen sisäilman formaldehydipitoisuudet edustavat tavanomaisia pitoisuuksia.

3.4.5. Mikrobin ja homekasvustojen määrittäminen materiaaleista ja sisäilmasta

Koska mikrobeja esiintyy kaikkialla, keskeinen tavoite rakennusten mikrobiologisissa määrittäyksissä on todeta, poikkeako analysoitu mikrobipitoisuus tai lajisto normaalista vai ei /13/. Sisäilmaohjeen mukaan mikrobi-ilmanäytteiden otto tulisi tehdä talvella, koska tällöin ulkoilman sieni-itiö- ja sädesienipitoisuudet ovat pienimmillään. Mitattaessa sisäilman mikrobipitoisuuksia sulan maan aikana on samanaikaisesti otettava näyte myös ulkoilmasta /4/.

Vaikka sisäilman mikrobipitoisuudet olisivat tavanomaisella tasolla, mikrobilajisto tai sen lajijakauma voi olla epätavallinen. Tällöin rakennus saattaa olla terveydelle haitallinen. Tähän viittaavia mikrobilajeja ovat muun muassa *Stachybotrys*-, *Phialophora*- ja *Fusarium*-sienisuvut sekä sädesienet. Ulkoilmassa yleisin sienisuku on *Cladosporium*, minkä vuoksi sen lajeja havaitaan yleisesti myös sisäilmassa, varsinkin syksyisin ja kesäisin. Sisäilmassa yleisimmän ja runsaimmin esiintyvä sienisuku on *Penicillium*. Sisäilmanäytteissä on normaalisti myös *Aspergillus*-lajeja ja hiivoja, mutta niiden sieni-itiöpitoisuus on pienempi kuin *Penicillium*. Siksi *Aspergillus*-sienten esiintyminen valtalajina sisäilmanäytteessä on poikkeuksellista /4, 13/.

Kohonnut mikrobipitoisuus tai poikkeava mikrobilajisto saattaa aiheutua myös rakennuksen normaalista käytöstä tai rakennuksen sijainnista ulkopuolisiin mikrobilähteisiin nähden. Sisäilman sieni-itiöpitoisuus voi hetkellisesti kohota esimerkiksi siivouksen, elintarvikkeiden ja polttopuiden käsittelyn tai lemmikkieläinten liikkumisen seurauksena /4, 13/. Sädesieniä voi vapautua sisäilmaan esimerkiksi käsiteltäessä multaisia juureksia. Tämän vuoksi kohonneita sisäilman mikrobipitoisuuksia tai poikkeuksellista mikrobilajistoa tulkittaessa pitää huolellisesti tarkastella mahdollisia mikrobilähteitä ja näytteenottotilannetta /4/.

Materiaalinäytteiden otto ja tuloksien analysointi

Lattiatasoiteessa mahdollisesti esiintyvän mikrobikasvuston toteamiseksi otettiin aseptisesti näytteet muovimaton alta asunnoista 1, 3, 6 ja 7. Lisäksi asunnosta 7 otettiin liimanäyte lattiamaton alta. Näytteistä määritettiin home- ja hiivasienten, mesofiilisten ja gram-negatiivisten bakteerien pitoisuudet. Kaikki näytteenottoaikat on esitetty liitteessä 3. Näytteet viljeltiin sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeen (1997) mukaan /4/. Homeiden kasvatusalustana käytettiin kuitenkin Special Yeast and Mold agar (Difco). Gram-negatiiviset bakteerit määritettiin EMB-agarilla. Taulukossa 10 on esitetty materiaalinäytteiden mittaustulokset. Määritysraja analysoinnissa oli 100 kpl/g.

Taulukko 10. Asunnoista 1, 3, 6 ja 7 otetut materiaalinäytteet homekasvuston tunnistamiseksi.

Materiaalinäytteet homekasvuston tunnistamiseksi					
Näytteenottoaikka	Materiaali	Homeet	Hiivat	Bakteerit	Gram-negat. bakteerit
		kpl/g	kpl/g	kpl/g	kpl/g
Asunto 1	Tasoite	ei todettu	100	100	ei todettu
Asunto 3	Tasoite	ei todettu	ei todettu	ei todettu	ei todettu
Asunto 6	Tasoite	200	200	1300	2600
Asunto 7	Tasoite	3000	ei todettu	ei todettu	ei todettu
Asunto 7	Liima	300	ei todettu	2900	ei todettu

Mittaustulosten tarkastelu

Tutkituissa materiaalinäytteissä ei todettu haitallisina pidettäviä mesofiilisiä sädesieniä. Gram-negatiivisia bakteereita todettiin olevan ainoastaan asunnossa 6, ks. taulukko 10. Materiaalinäytteistä todetut homeet kuuluivat *Penicillium*-sukuun. Todetut pitoisuudet eivät olleet korkeita.

Sisäilman mikrobinäytteiden otto

Jokaisesta asunnosta määritettiin sisäilmasta homeitiöiden- ja mesofiilisten sädesienien pitoisuudet. Tutkimus tehtiin sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeen (1997) mukaisesti. Näytteiden keräämisessä on käytetty 6-vaiheista Andersen-keräintä. Homesienten elatusaineena käytettiin Special Yeast and Mold agaria (Difco). Taulukossa 11 on esitetty asuntojen sisäilman homeitiöiden ja mesofiilisten sädesienten pitoisuudet.

Taulukko 11. Asuntojen sisäilman homeitiöiden ja mesofiilisten sädesienten pitoisuudet.

Näytteen- ottopaikka	Homeitiö- pitoisuus	Homelaji	Homelaji- jakautuma	Sädesienet	Bakteerit
Pvm	kpl/m ³		%	kpl/m ³	kpl/m ³
Asunto 1	9	Aspergillus sp.	50	53	
5.12.1997		Penicillium sp.	50		
Asunto 2	4	Mycelia sterilia	100	ei todettu	
11.12.1997					
Asunto 3	290	Penicillium spp.	100	ei todettu	1200
5.12.1997					
*Asunto 4	4	Cladosporium sp	100	ei todettu	
11.12.1997					
Ulkoilma	450	Cladosporium spp.	89	ei todettu	
11.12.1997					
		Aspergillus sp.	2		
		Chrysosporium sp.	2		
		Penicillium sp.	2		
		Trichoderma sp.	2		
		Mycelia sterilia	2		
*Asunto 5	75	Aspergillus spp.	56		
11.12.1997					
		Penicillium spp.	19		
		Cladosporium sp.	6		
		Ulocladium sp.	6		
		Mycelia sterilia	13		
Asunto 6	75	Penicillium spp	82	ei todettu	
5.12.1997					
		Cladosporium spp.	12		
		Tritirachium sp.	6		
Asunto 7	110	Cladosporium spp.	48	22	
5.12.1997		Penicillium spp.	44		
		Chrysosporium sp.	4		
		Mycelia sterilia	4		

* Vertaa asuntojen sisäilman homelajistoa ja -jakaumaa 11.12.1997 otettuun ulkoilmanäytteeseen.

Mittaustulosten tarkastelu

Sisäilmaohjeen (1997) mukaan sädesieni-itiöiden esiintyminen yli 10 kpl/m³ pitoisuuksina taajamarakennuksissa talviaikaan viittaa mikrobikasvustoon rakennuksessa ja terveyshaitan olemassaoloon /4/. Asuntojen 1 ja 7 sisäilmasta todettiin terveydelle haitallisia mesofiilisiä sädesieniä, taulukko 11. Sädesienet ovat eräs rakennusmateriaalien kosteusvaurioita indikoiva mikrobilaji, joka kasvaa erittäin kosteissa olosuhteissa, RH yli 90-95 %. Runsas vuosi sitten toimenpidepyyntöasunnon 1 sisäilmasta otettiin näyte², jossa ei ollut haitallisia mesofiilisiä sädesieniä. Ilmeistä syytä siihen miksi toimenpidepyyntöasunnon 1 sisäilmassa oli nyt sädesieniä, ei mittauksin voitu osoittaa. Koska sädesienet voivat olla peräisin asukkaiden toiminnasta tai rakenteissa olevasta kosteusvauriosta, tulisi tehdä jatkotutkimus sädesienten lähteen selvittämiseksi.

Vertailuasunnon 7 kosteusmittauksien yhteydessä havaittiin, että keittiön allaskaapissa oli vettä. Todennäköisesti vesi on vuotanut asuntoon asennetun tiskikoneen vesijohtoliitännöistä. Asunnon 7 sisäilman korkea sädesienipitoisuus saattaa johtua ko. vesivahingosta. Muissa asunnoissa ei todettu mesofiilisiä sädesieniä sisäilmassa. Asuntojen 4 ja 5 sisäilmamittauksien yhteydessä otetussa ulkoilmanäytteessä (11.12.1997) ei myöskään todettu sädesieniä.

Sisäilmaohjeen 1997 mukaan taajamassa sijaitsevien rakennusten sisäilman sieni-itiöpitoisuudet 100-500 kpl/m³ voivat talviaikana olla osoituksena kohonneesta sieni-itiöpitoisuudesta /4/. Asuntojen 1 ja 2 sisäilman homeitiöpitoisuudet olivat alhaiset ja asunnon 4 jopa erittäin alhainen. Tavanomaiset homeitiöpitoisuudet todettiin asunnoissa 5 ja 6. Kohonneet homeitiöpitoisuudet määritettiin asunnoista 3 ja 7. Asunnon 3 sisäilmanäytteen lajistotarkastelussa sisäilman yleisin sienisuku *Penicillium* oli ainoana lajina, ja sieni-itiöpitoisuus oli alle 500 cfu/m³, jolloin ei voida tehdä johtopäätöstä mikrobikasvuston olemassaolosta. Asunnossa 7 oli korkea kokonaishomeitiöpitoisuus, yli 100 kpl/m³, ja lisäksi mikrobien lajistotarkastelussa havaittiin *Cladosporium*-laji. Molemmat tukevat poikkeuksellisen sädesienipitoisuuden ohella mahdollisen kosteusvaurion olemassa oloa asunnossa 7.

Kohonnut bakteeripitoisuus yli 4500 kpl/m³ ei ilmennä tällaista terveyshaittaa, jollei sädesieniä ole todettu, vaan se viittaa esimerkiksi puutteelliseen ilmanvaihtoon /4/. Asunnon 3 bakteeripitoisuus oli 1200 kpl/m³. Muiden asuntojen sisäilman bakteeripitoisuudesta ei ollut mainintaa tutkimustodistuksissa.

² Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen tutkimustodistus Nro H 96 227

4. TULOSTEN TARKASTELU

Sisäilman laadun arvioimiseksi on esitetty kemiallisten yhdisteiden enimmäispitoisuuksista määräykset ja ohjeet, joissa esitetään myös sisäilman laadun mittausmenetelmät. Lisäksi on esitetty sisäilman luokitus. Asukkaan kokiessa sisäilman laadun puutteelliseksi hän esittää toimenpidepyynnön kunnan terveystoimikunnalle. Toimenpidepyynnön seurauksena kunnan viranomaiset tekevät epäpuhtauspitoisuus-, lämpötila- ja kosteusmittauksia. Mittaustulosten perusteella ei aina voida osoittaa kiistatta, mikä on kohonneiden epäpuhtauspitoisuuksien aiheuttaja ja millä korjaus-toimenpiteillä sisäilman laatua voidaan parantaa. Toisaalta ei myöskään aina tiedetä, sisältyvätkö mittauksiin ne yhdisteet, jotka aiheuttavat asukkaan terveyshaitan.

Rakennusratkaisujen merkitystä sisäilman laatuun tutkittiin tekemällä epäpuhtausmittausten lisäksi rakennetekninen selvitys ja rakennusfysikaalisia mittauksia. Rakenneteknisessä selvityksessä arvioitiin rakennusasiakirjojen ja rakennusaikaisten säätietojen avulla rakentamisvaiheen merkitystä rakennuskosteuteen ja sen poistumisnopeuteen. Liiallinen rakennuskosteus lisää epäpuhtausemissioita ja huonontaa sisäilman laatua. Täten rakennuskosteuden minimoinnilla ja rakenteiden nopealla kuivatuksella on keskeinen merkitys uusien asuntojen sisäilman laatuun. Toisaalta kirjallisuudesta ei löydy tietoa, kuinka kauan rakennuksen valmistuttua rakennuskosteuden emissioita lisäävä vaikutus heijastuu sisäilman laatuun. Rakennuksen käytön aikana rakenteiden virheellisen suunnittelun ja toteutuksen sekä puutteellisen huollon tai väärin käyttötottumusten takia rakenteisiin voi kertyä haitallisessa määrin kosteutta, jolloin rakennusratkaisujen merkitys sisäilman laatuun korostuu.

Tutkimukseen valittiin kahdeksasta kiinteistöstä kaksi rakennusta, joista toisesta on tullut toimenpidepyyntöjä (rakennus A) ja toisesta ei (rakennus B). Rakennukset ovat tyypillisiä 1990-luvun betoni-sandwich -rakenteisia asuinkerrostaloja, joissa ala-, väli- ja yläpohjat ovat ontelolaattarakenteita.

Rakenneteknisessä selvityksessä rakennusaikaisten sääolosuhteiden merkitystä arvioitiin määrittämällä rakenteiden kuivanapysymisen kannalta kriittinen ajanjakso, jonka aikana sadevedellä oli mahdollisuus tunkeutua rakenteisiin. Ko. aikana rakennuksen ulkovaippa ei ollut vielä valmis, vaan rakenteet jouduttiin suojaamaan tilapäisratkaisuin. Rakenteiden kastumisen ja kuivumisen kannalta muodostui merkittäväksi sateen määrän lisäksi myös tuulisuus, ulkolämpötila ja auringon säteilyteho. Kohteissa A ja B kriittisenä aikana keskimääräiset sademäärät vuorokaudessa olivat lähes samat. Kohteessa A kriittinen aika oli 185 vrk, jona aikana auringon kokonaissäteilyn summa oli 540 kWh/m² ja keskilämpötila 1.6 °C. Kohteessa B kriittinen aika oli 85 vrk, jona aikana auringon kokonaissäteilyn summa oli 477 kWh/m² ja keskilämpötila 14.7 °C.

Mitä pidempi kriittinen aika on, sitä suurempi on sadesuojausta rasittavan rankkasateen todennäköisyys. Esimerkiksi kohteessa A kokonaissaderasitus oli 32960 l/100m² ja vuorokauden maksimi saderasitus oli 1900 l/100m². Vastaavasti kohteessa B kokonaissaderasitus oli 13130 l/100m² ja vuorokauden maksimi saderasitus oli 1550 l/100m². Mikäli sadevedet ohjautuvat puutteellisen sadesuojauksen seurauksena osittain rakenteisiin, tästä muodostuu merkittävä paikallinen kosteusrasitus ja rakenteiden vaurioriski. Vaurioriskin pienentämiseksi kastuneet rakenteet tulee aina kuivattaa. Mikäli sade tulee lumena, ei sen kasteleva vaikutus ole niin suuri kuin vesisateen, mikäli lumi poistetaan rakenteista ennen sulamista.

Lämpötila ja auringon säteilytehon nousu nopeuttavat rakennuskosteuden kuivumista, siten kohteen B rakentamisaika oli selvästi suotuisempi kuin kohteen A. Toisaalta lämpötilan nousu lisää rakenteiden homehtumisriskiä, mikäli sadevesi tunkeutuu

rakenteisiin. Koneellisten kuivatusjärjestelmien käytöllä voidaan osittain vähentää ulko-olosuhteiden merkitystä rakennuskosteuden poistumiseen. Eri tekijöiden vuorovaikutusten huomioonottaminen rakentamisen aikana muodostuu käytännössä vaikeasti hallittavaksi, jolloin yksinkertaisin menettely on huolehtia työmaan ja rakennustarvikkeiden toimivasta sadesuojauksesta ja huolehtia rakenteiden kuivattamisesta. Läpikäytyjen rakennusasiakirjojen perusteella ei voitu arvioida, kuinka tutkimuskohteissa sadesuojaus ja rakenteiden kuivatus oli toteutettu. Toisaalta rakennusaikaista kosteutta ei voida enää jälkikäteen todeta rakennusfysikaalisilla mittauksilla, mikäli rakennusten valmistumisesta on kulunut pitkä aika, kuten tutkimuskohteissa, jotka olivat valmistuneet 3 ja 6 vuotta sitten.

Rakenteista mitatut kosteuspitoisuuserot rakennusten A ja B välillä olivat pieniä, jolloin toimenpidepyyntöjen ei voida katsoa johtuvan rakenteiden korkeista kosteuspitoisuuksista. Lisäksi huonetilojen rakenteista mitatut kosteuspitoisuudet olivat alle homeen kasvun vaatiman kosteuspitoisuuden. Sen sijaan rakennuksen B ja rakennuksen A toisen päädyn ryömintätilasta mitattiin korkeita kosteuspitoisuuksia. Rakennuksen B ryömintätila oli kostein ja rakennuksen A ryömintätilan toinen pää oli kuivin. Toimenpidepyyntö oli esitetty myös asunnosta, joka sijaitsi rakennuksen kuivimman ryömintätilan alueella. Korkeat kosteuspitoisuudet olivat homeen kasvulle suotuisat.

Asuntojen sisäilman homeitiöpitoisuuksien ja lajistojen perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä mikrobikasvuston olemassaolosta, paitsi asunnossa 7. Kohonneita sädesienipitoisuuksia mitattiin kahdesta asunnosta, A-rakennuksen rappu I:n alimman kerroksen asunnosta I ja B-rakennuksen rappu III:n ylimmän kerroksen asunnosta 7. Sädesienipitoisuudet saattoivat johtua todetusta vesivahingosta tai ryömintätilasta tulevista ilmavuodoista. Tutkimuksessa ei tehty mikrobimittauksia ryömintätiloista, joten tutkimustulosten perusteella ei voida arvioida homeen mahdollista esiintymistä niissä, eikä ryömintätilojen osuutta mitattuihin homeitiö- ja sädesienipitoisuuksiin.

Paine-eromittausten perusteella huoneistot olivat pääsääntöisesti alipaineiset porraskäytävään ja ryömintätilaan nähden. Lisäksi porraskäytävä oli alipaineinen ryömintätilaan nähden. Ilmavirtaukset eri tilojen välillä tapahtuvat alipaineen suuntaan, mikäli tiloja erottava rakenne ei ole ilmanpitävä. Täten ryömintätilasta voi kulkeutua epäpuhtauksia porraskäytävään ja alakerran huoneistoihin, mikäli alapohjarakenne ei ole ilmatiivis. Savukokeiden perusteella löydettiin asunnon I kohdalta ilmanvuotoa ryömintätilasta rakenteeseen. Ko. asunto oli savukokeiden jälkeisten painemittausten perusteella muista poikkeavasti pääsääntöisesti ylipaineinen porraskäytävään ja ryömintätilaan nähden hetkellisen maksimin ollessa n. 7 Pa. Viikon mittausjakson aikana esiintyi kuitenkin useita alipainejaksoja, jolloin ilmavirtaukset ryömintätilasta asuntoon olivat todennäköisiä. Ylipaine ko. asunnon sisällä viittaa siihen, että ilmanvaihtokoneen säätö poikkesi muiden huoneistojen ilmanvaihdon säätöarvoista.

Epäpuhtausmittauksissa hetkellistä näytteenottomenetelmää käytettäessä mitattu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden jakauma kuvaa sisäilman senhetkistä tilaa, joka voi vaihdella paljon rakennuksen painesuhteiden, ilmanpainevaihteluiden, vuodenajan ja asukkaan käyttötottumusten mukaan. Siten epäpuhtausmittaustuloksen tulkinnan luotettavuus riippuu siitä, kuinka hyvin mittausajankohta edustaa asukkaan oireilun tyypillistä ajankohtaa tai pitkäaikaista pitoisuustasoa. Lisäksi tulosten tulkinnan virhemahdollisuutta lisää, jos jollain yhdisteellä, jonka pitoisuus vaihtelee ajallisesti voimakkaasti, on huomattava osuus TVOC-pitoisuudesta. Esimerkiksi tutkimuskohteissa sisäilmaluokitus muuttui eri mittauskerroilla TXIB-pitoisuuden voimakkaan vaihtelun seurauksena. Ensimmäisenä mittauspäivänä luokitus oli S2 ja toisena S1. Passiivikeräimellä, keräysaika noin kolme viikkoa, sisäilmaluokitus oli S1. Luotettavimpaan tulokseen päästään, jos pitkäaikaisen keskiarvomittauksen tulosta verrataan oireiden ajankohtana esiintyvään hetkellisen mittauksen arvoon. Mittauskustannusten

minimoimiseksi tulisi löytää menettely, jolla saataisiin mahdollisimman tarkasti selville oireiden esiintymisajankohta.

Korkeimmat huoneilman ammoniakkipitoisuudet mitattiin asunnossa 5, n. $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja asunnossa 6, n. $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ko. asunnoissa korkean pitoisuuden yhtenä syynä voidaan pitää tupakanpolttoa sisällä. Asunnoista, joista on esitetty toimenpidepyyntö asukkaiden kokemien terveyshaittojen vuoksi, huoneilman korkein ammoniakkipitoisuus oli asunnossa 1, maksimipitoisuuden ollessa $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä STM:n ohjeen mukaan indikoi mahdollista terveyshaittaa. Ko. asunnossa mitattiin myös korkein lattiapinnan ammoniakkiemissio muovimaton alta. Sen sijaan kaikissa kohteissa seinä- ja kattopintojen ammoniakkiemissiöt olivat vähäiset. Täten lattiarakenteilla on suurin merkitys rakenteiden ammoniakkiemissioihin.

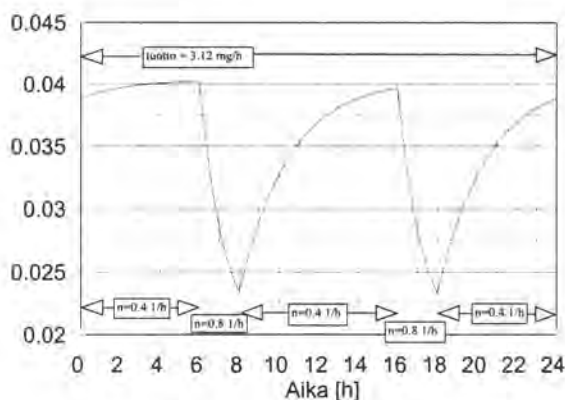
Taulukossa 12 on esitetty ammoniakki-, formaldehydi- ja TVOC-pitoisuuksien perusteella tehty sisäilmaluokitus mittauskohteittain.

Taulukko 12. Sisäilmaluokitus mittauskohteittain ammoniakki-, formaldehydi- ja TVOC-pitoisuuksien perusteella.

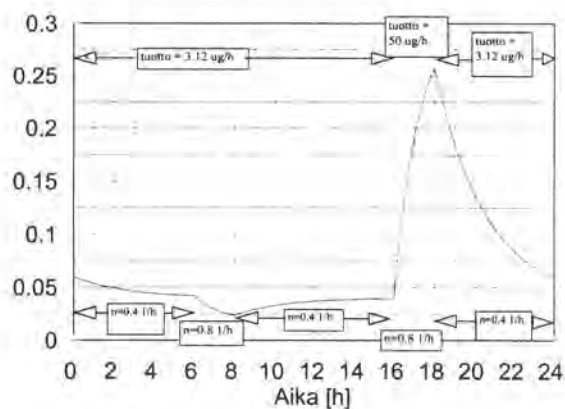
	Ammoniakki	Formaldehydi	TVOC/passiivikeräin
Asunto 1	S ₃	S ₁	S ₁
Asunto 2	S ₂	S ₁	S ₁
Asunto 3	S ₂	S ₁	S ₂
Asunto 4	S ₂	S ₂	S ₁
Asunto 5	> S ₃	S ₂	S ₂
Asunto 6	> S ₃	S ₂	S ₁
Asunto 7	S ₃	S ₁	S ₃

Taulukon 12 mukaan kohteet sijoituivat sisäilmaluokituksessa asuntojen 5 ja 6 ammoniakkipitoisuuksia lukuun ottamatta vähintään luokkaan S₃, joka vastaa lähinnä viranomaisvaatimusten mukaista vähimmäistasoa. Mikäli asuntojen 5 ja 6 korkea ammoniakkipitoisuus johtui tupakanpoltosta sisällä, voidaan luokituksen ylitystä pitää asumistottumuksista johtuvana. Yksittäisten epäpuhtausmittaustulosten perusteella ei löydetty yksiselitteistä tekijää esitetyille toimenpidepyynnöille.

Rakennerratkaisujen merkityksen arvioimista huoneilman epäpuhtauksiin vaikeuttaa yksistään ilmanvaihdon suuri merkitys pitoisuusvaihteluihin vuorokausitasolla. Taloyhtiöissä tavanomaisesti käytetään ilmanvaihtoa kahdella eri teholla. Toisaalta epäpuhtauslähteen tuotto voi vaihdella esimerkiksi ammoniakkiemissioiden osalta siivouksessa ja tupakanpoltossa. Ilmiötä on havainnollistettu laskentaesimerkein kuvissa 37 a) ja b). Kuvassa 37 a) on tarkasteltu rakennuksen B ilmanvaihdon mittauspöytäkirjojen mukaisen ilmanvaihtuvuuden vaikutusta huoneilman ammoniakkipitoisuuteen olettamalla ammoniakkiemission huonetilaan olevan vakio $3.12 \text{ mg}/\text{h}$. Kuvassa b) ilmanvaihdon asennot ovat samat kuin kuvassa a), mutta ammoniakkituotto on oletettu kahden tunnin ajaksi nousevan 16-kertaiseksi.



a) Ilmanvaihdon ajallisten muutosten vaikutus



b) Ammoniakkituoton muutoksen vaikutus

Kuva 37. Ilmanvaihdon ja ammoniakkituoton vaihtelun vaikutus huoneilman laskennalliseen ammoniakkipitoisuuteen vuorokauden eri aikoina.

Ensimmäisessä esimerkkitapauksessa sisäilman ammoniakkipitoisuuden korkeimman ja matalimman pitoisuuden suhde on n . kaksinkertainen, ja jälkimmäisessä n . kymmenkertainen. Esimerkkien perusteella ilmanvaihdon merkitys tulee pois sulkea siten, että kaikissa epäpuhtausmittauksissa ilmanvaihdon määrä tulee olla tunnettu ja säätöasennon vakio riittävän kauan. Tämä on mahdollista kohteissa, joissa on keskitetty ilmanvaihdon säätöjärjestelmä. Sen sijaan kohteissa, joissa on huoneistokohtainen ilmanvaihdon säätö, muodostavat huoneistokohtaiset suuret käyttötottumusten vaihtelut epäpuhtausmittausten tulosten tulkinnessa epävarmuustekijän. Esimerkiksi rakennuksen A yksi asunto oli ilmanvaihtoteknisesti ylipaineinen, kun muut olivat alipaineisia.

Tehtyjen rakennusfysikaalisten mittausten ja epäpuhtausmittausten perusteella ei voida luotettavasti arvioida eri tekijöiden osuutta sisäilman laatuun. Täten sisäilman laadun tutkimusmenetelmien kehittämistä tulee jatkaa. Keskeiseksi muodostuu epäpuhtausmittausten, rakenneteknisten tutkimusten ja rakennusfysikaalisten mittausten edelleen kehittämisellä ja yhdistämisellä löytyvä menettely, jolla parannetaan tutkimusten luotettavuutta. Lisäksi tulisi kehittää toimenpidepyynnön esittäneelle asukkaalle jätettävä havaintokirja, johon hän voi ennen epäpuhtausmittauksia merkitä oireilun ajankohdan ja mahdolliset epäpuhtauspäästöihin vaikuttavat muut tekijät, kuten ilmanvaihdon ja ikkunatuuletuksen käytön, siivoamisen, eri kemikaalien käytön yms. Näiden tietojen perusteella voidaan hetkellinen mittaus ajoittaa oireilun ajankohtiin ja siten parantaa mittausten luotettavuutta.

Rakennusratkaisujen osuuden arviointi sisäilman laatuun nykyisin arkistoitavista rakennusasiakirjoista osoittautui työlääksi. Toisaalta ko. asiakirjoihin perustuvassa rakenneteknisessä selvityksessä ei löytynyt kaikkia tekijöitä, joita tarvittaisiin ko. arvioinnissa. Niitä ovat mm, rakennustarvikkeiden tuotenimet ja valmistajat, tarkat työmaa-aikataulut ja selvitykset työmaan sadesuojauksista ja työmaan rakennuskosteuden kuivatusjärjestelmistä sekä tiedot työmaan aikaisten mahdollisten vesivahinkojen korjausten onnistumisesta. Täten tulisi kehittää uudisrakennustuotantoon menettely, jossa koottaisiin sisäilman laadun arviointiin tarvittavat rakennetekniset tiedot ja rakennusaikaiset olosuhdetiedot omaksi asiakirjakokonaisuudeksi. Tällöin olisi yksinkertaista tilastollisesti verrata kohteista tulleiden toimenpidepyyntöjen ja käytettyjen rakennusratkaisujen välistä yhteyttä. Tutkimustiedon lisääntyessä voitaisiin sulkea pois

etukäteen uudisrakentamisessa sellaiset rakenneratkaisut, jotka ovat osoittautuneet usein terveyshaittoja aiheuttaviksi. Vastaavasti korjausrakentamista varten tulisi muodostaa korjauskokemuksista tietokanta, joka helpottaisi koonneiden epäpuhtauspitoisuuksien syiden löytämistä ja oikeiden korjausmenetelmien valintaa. Tietokannan avulla pystyttäisiin tarvittavien mittausten määrää merkittävästi vähentämään.

5. YHTEENVETO

Rakennusasiakirjoihin perustuvien rakenneteknisten selvitysten perusteella valittiin kahdeksan kiinteistön joukosta kaksi rakenteellisesti ja asukasryhmältään mahdollisimman samanlaista rakennusta, joista toisesta oli tullut Helsingin kaupungin ympäristökeskukseen toimenpidepyyntöjä (rakennus A) ja toisesta ei (rakennus B). Rakennuksissa A ja B tehtiin tavanomaiset epäpuhtausmittaukset. Lisäksi tehtiin rakennusfysikaalisia mittauksia, joiden perusteella arvioitiin rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä ja rakennusten painesuhteita mittaushetkellä. Rakennukset edustavat tyypillisiä 1990-luvun betoni-sandwich asuinkerrostaloja.

Sisäilman laadun arvioimiseksi on esitetty kemiallisten yhdisteiden enimmäispitoisuuksista määräykset ja ohjeet. Asukkaan epäillessä asunnossaan terveyshaittaa hän voi esittää kunnan terveydensuojeluviranomaiselle tarkastuspyynnön. Tarkastuksella mitataan mm. ilman epäpuhtauksia, lämpötilaa ja kosteutta. Käytännössä on usein osoittautunut vaikeaksi mittausten perusteella osoittaa, mikä on kohonneiden epäpuhtauspitoisuuksien syy ja mikä on rakenneratkaisujen osuus näihin. Lisäksi ei aina tiedetä, sisältävytkö mittauksiin ne yhdisteet, jotka aiheuttavat asukkaan terveyshaitan.

Tutkimuksessa arvioitiin rakennusaikaisten sääolosuhteiden merkitystä määrittämällä rakenteiden kuivana pysymisen kannalta kriittinen ajanjakso, jona aikana rakennuksen ulkovaippa ei ole vielä valmis, vaan kohteessa joudutaan käyttämään tilapäisiä sadesuojaratkaisuja. Kohteessa A kriittinen aika oli 198 vuorokautta ja kohteessa B 85 vuorokautta. Mitä pidempi kriittinen aika on sitä suurempi on sadesuojausta rasittavan rankkasateen todennäköisyys. Esimerkiksi kohteessa A kokonaissaderasitus oli 33000 litraa/100 m² ja kohteessa B 13000 litraa/100 m². Nämä vesimäärät joudutaan ohjaamaan rakentamisen aikana sadesuojauksella pois rakennuksesta. Mikäli tässä epäonnistutaan, muodostuu rakenteisiin tunkeutuvasta vedestä paikallinen kosteusrasitus ja rakenteiden vaurioriski. Rakenneteknisen selvityksen perusteella ei voitu arvioida, kuinka tutkimuskohteissa sadesuojaus ja rakenteiden kuivaus oli toteutettu. Mahdollista rakennusaikaista rakenteiden kastumista ei voida jälkikäteen mittaamalla todeta, mikäli rakennusten valmistumisesta on kulunut pitkä aika, kuten tutkimuskohteissa, jotka olivat valmistuneet 3 ja 6 vuotta sitten. Toisaalta kirjallisuudesta ei löydy tietoa siitä, kuinka kauan rakennuksen valmistuttua rakennekosteuden emissioita lisäävä vaikutus heijastuu sisäilman laatuun.

Rakentamisaika oli rakennekosteuden kuivumisen kannalta rakennuksessa B selvästi suotuisampi kuin rakennuksessa A. Toisaalta korkeampi auringon säteily määrä ja ulkolämpötila lisäävät rakenteiden homehtumisriskiä, mikäli sadevesi tunkeutuu rakenteisiin. Eri tekijöiden vuorovaikutusten huomioonottaminen muodostuu käytännössä vaikeasti hallittavaksi, jolloin yksinkertaisinta on toteuttaa sadesuojaus huolellisesti ja kuivattaa mahdollisesti kastuneet rakenteet välittömästi.

Rakenteista mitatut kosteuspitoisuudet olivat alhaisia, ja rakennusten A ja B välillä rakenteiden kosteuspitoisuuserot olivat pieniä. Sen sijaan korkeita kosteuspitoisuuksia mitattiin rakennuksen B ja rakennuksen A toisen päädyn ryömintätilasta. Toimenpidepyyntö oli esitetty myös asunnosta, joka sijaitti rakennuksen kuivan ryömintätilan alueella. Koska tutkimuksessa ei mitattu ryömintätilan mikrobi-pitoisuuksia, ei niissä voida arvioida homeen esiintymistä eikä ryömintätilojen merkitystä sisäilman laatuun.

Huoneilmasta mitatut homeitiöpitoisuudet olivat alhaiset. Kohonneita sadesienipitoisuuksia mitattiin kahdesta huoneistosta, joista toisesta oli esitetty

toimenpidepyyntö. Toisesta huoneistosta löytyi mahdollisena syynä kohonneisiin sädesienipitoisuuksiin tiskialtaan allaskaappiin vuotanut vesi, mutta toisesta ei ilmeistä syytä löytynyt.

Paine-eromittausten perusteella huoneistot ovat pääosin alipaineiset ryömintätilaan ja porraskäytävään nähden. Ilma virtaa rakennusten eri tilojen välillä alipaineen suuntaan, mikäli tiloja erottava rakenne ei ole ilmanpitävä. Savukokeiden perusteella löydettiin ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevasta toimenpidepyyntöasunnosta ilmapuotokohtia ryömintätilasta alapohjarakenteeseen. Tämä asunto oli valtaosan ajasta ylipaineinen ryömintätilaan nähden, mutta viikon mittausjakson aikana esiintyi useita alipainejaksoja, jolloin ilmavirtaukset ryömintätilasta asuntoon olivat mahdollisia. Mikäli ryömintätilassa on sädesieniä, voivat nämä ilmavirtaukset selittää huoneiston kohonneet sädesienipitoisuudet.

Epäpuhtausmittausten mukaan kohteet sijoittuivat sisäilmaluokituksessa asuntojen 5 ja 6 korkeita ammoniakkipitoisuuksia lukuun ottamatta vähintään luokkaan S3. Mikäli asuntojen 5 ja 6 korkea huoneilman ammoniakkipitoisuus johtuu tupakanpoltosta sisällä, voidaan luokituksen ylitystä pitää asumistottumuksista johtuvana. Lisäksi yhdestä toimenpidepyyntöasunnosta mitattiin ammoniakkipitoisuus $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka STM:n ohjearvojen mukaan indikoi mahdollista terveyshaittaa. Ammoniakin emissiomittausten perusteella lattiarakenteiden emissio oli merkittävästi suurempi kuin seinä- ja kattorakenteiden.

Epäpuhtausmittauksilla ei löydetty yksiselitteistä tekijää, joka olisi syynä asukkaiden kokemiin terveyshaittoihin ja niistä johtuviin toimenpidepyyntöihin. Toisaalta hetkellistä näytteenottomenetelmää käytettäessä tulosten tulkinnassa on otettava huomioon, kuinka hyvin mittausajankohta edustaa asukkaan oireilun tyypillistä ajankohtaa. Lisäksi virhemahdollisuutta lisää, jos jollain yhdisteellä, jonka pitoisuus vaihtelee ajallisesti voimakkaasti, kuten TXIB-pitoisuudet tutkimus-kohteessa, on huomattava osuus TVOC-pitoisuudesta. Tämän seurauksena sisäilman luokitus oli S1 tai S2 mittauspäivästä riippuen. Jotta hetkellinen mittaus osattaisiin ajoittaa asukkaan oireilun ajankohtaan, tulisi kehittää menettely, jossa toimenpide-pyyntöä esittänyt asukas merkitsisi havaintokirjaan oireilun ajankohdat ja muut mahdolliset tekijät. Menettely voi helpottaa terveyshaitan syyn löytymistä.

Rakenneratkaisujen merkityksen arvioimista huoneilman epäpuhtauksiin vaikeuttaa ilmanvaihdon ja emissioiden hetkellisten vaihteluiden suuri merkitys huoneilman pitoisuuksiin vuorokausitasolla. Laskentaesimerkissä huoneilman vuorokauden maksimi- ja minimipitoisuuden suhde oli 2 ja 10 tapauksesta riippuen. Ilmanvaihdon vaihtelun merkitys tulisi poissulkea siten, että kaikissa epäpuhtausmittauksissa ilmanvaihdon määrän tulisi olla tunnettu ja säätöasennon vakio riittävän kauan ennen mittausta.

Rakenneratkaisujen merkityksestä huoneilman laatuun ei löytynyt kaikkia tarvittavia tietoja eikä sitä pystytty arvioimaan. Tietojen keräämiseksi tulisi uudisrakennustuotannossa menetellä siten, että koottaisiin sisäilman laadun arviointiin tarvittavat rakennetekniset tiedot ja rakennusaikaiset olosuhdetiedot omaksi asiakirjakokonaisuudekseen. Näiden tietojen avulla olisi yksinkertaista verrata tilastollisesti kohteista tulleita toimenpidepyyntöjä ja käytettyjen rakenneratkaisujen välistä yhteyttä. Tutkimustiedon lisääntyessä voitaisiin helposti sulkea pois sellaiset rakenneratkaisut, jotka ovat osoittautuneet usein toimenpidepyyntöjä aiheuttaviksi. Asuntojen korjauksista tulisi tehdä tietokanta, jota voitaisiin hyödyntää kohonneiden epäpuhtauspitoisuuksien syiden etsimisessä ja oikeiden korjausmenetelmien valinnassa. Tietokannan kasvaessa pystyttäisiin tarvittavien epäpuhtauspitoisuusmittausten ja rakennusfysikaalisten mittausten määrää merkittävästi vähentämään.

LÄHDELUETTELO


1. Engström K. Mitä uutta materiaaliemissioista. *Työterveiset* 1997;1:28.
2. Sisäilmayhdistys: Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus. Helsinki: Sisäilmayhdistyksen julkaisu 5, 1995.
3. Sisäilmayhdistys ry: Tavoitteena terve talo. Seppänen O, Säteri J, Lehtinen T, Nevalainen A. (toim.). Espoo: SIY raportti 9: 9.
4. Sosiaali- ja terveysministeriö: Sisäilmaohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1.
5. Bäck B, Reijula K, Puhakka E. Measurement of Ammonia in Indoor Air Samples. *Healthy Buildings/IAQ '97: Global Issues and Regional Solution*. Washington DC. 1997; 3: 321-323.
6. Wallström M, Puttonen J, Airo J. Huoneilman ammoniakki. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 7, 1996.
7. Kurki E, Rasmus E, Linkola E. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet ulkoilmassa. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 1, 1996.
8. Asumisterveysopas. Asuntojen terveydelliset olosuhteet. Aurola R, Välikylä T (toim.). Pori: Ympäristö ja Terveys-lehti, 1997.
9. Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, 1988 D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 1987. Helsinki: Ympäristöministeriö, 1987.
10. Standardi SFS 3032. Veden ammoniumtyypen määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS, 1976.
11. 401 Tentative Method of Analysis for Ammonia in the Atmosphere (Indophenol Method). *Methods of Air Sampling and Analysis*, 2. painos. Morris K. (toim.). APHA Intersociety Committee, 1977: 511-513.
12. Standardi SFS 3862. Ilman laatu. Työpaikkailma. Formaldehydipitoisuuden määrittäminen kromotrooppihappomenetelmällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS, 1981.
13. Hyvärinen A, Meklin T ja Nevalainen A. Homevauriorakennuksen tunnistaminen mikrobiologisilla menetelmillä. Sisäilmaseminaari 20.3.1996. Ruotsalainen R, Säteri J (toim.). Helsinki: SIY raportti 6: 169-174.

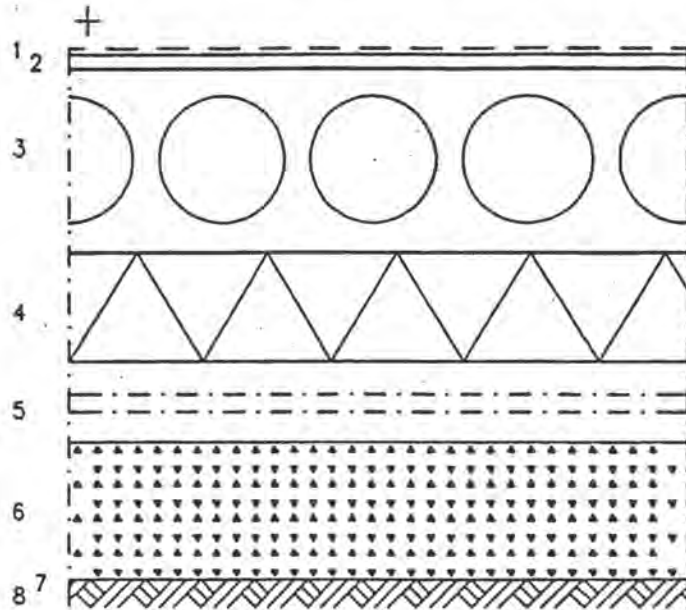
LIITE 1

Tutkimuskohteiden rakennetyypit

- 1(4) Alapohja
- 2(4) Välipohja
- 3(4) Yläpohja
- 4(4) Ulkoseinä

LIITE 1 1(4)
Tutkimuskohteiden rakennetyypit

 HELSINGIN KAUPUNKI ASUNTOTUOTANTOTOIMISTO	Työn nro		AP501
	Päiväys	Tekija	
Rakennuskohde	Sisältö Ontelolaatta- alapohja, tuulettu Alapuolinen solupolystyreenieriste Tasoite		



- | | | |
|-----------|---|--|
| 3...20 mm | 1 | Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan |
| | 2 | Tasoite rakennusselityksen mukaan
(teoreettinen suunnittelupaksuus 15 mm) |
| 265 mm | 3 | Ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan |
| 160 mm | 4 | Solupolystyreenilevy NS, kiinnitetty ontelolaattaan |
| | 5 | Tuulettu alustatila |
| 200 mm | 6 | Sepeli ϕ 6...30 mm |
| | 7 | Suodatinkangas KL II, kun perusmaa on pohjamaaluokkaa III tai IV |
| | 8 | Perusmaa, kallistus saloojiin 1:100 |

KÄYTÖN RAJOITUKSET JA HUOMATUKSET:


- humusmaa poistetaan ennen sepelikerroksen asennusta
- alustatilassa painovoimainen tuuletus, korvausilma-aukot sokkelissa (ilman virtaus ≤ 1 m/s)
- alustilan korkeus SRMK:n D1 mukaan
- lämmöneristyslevyt tiivistetään saumoista, sokkeliliittymistä ja läpimenojen kohdilta polyuretaanivaahdolla

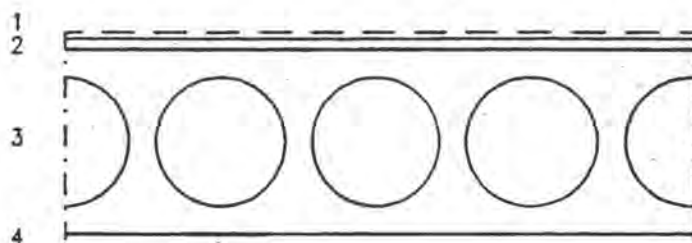
LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN: 0.22 W/m² K, SRMK C3 vaatimus 0.22

ÄÄNENERISTÄVYYS: L'n,w = 58 dB SRMK C1, C5; päällysteet 2-6

PALONKESTOLUOKKA:

LIITE 1 2(4)
Tutkimuskohteiden rakennetyypit

 HELSINGIN KAUPUNKI ASUNTOTUOTANTOTOIMISTO	Työn nro		VP501
	Päiväys	Tekija	
Rakennuskohde	Sisältö Ontelolaattavälipohja Tasoite		



- | | | |
|-----------|---|---|
| 3...20 mm | 1 | Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan |
| 265 mm | 2 | Tasoite, rakennuselityksen mukaan (teoreettinen suunnittelupaksuus 15 mm) |
| | 3 | Ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan ($\geq 375 \text{ kg/m}^2$) |
| | 4 | Pintakäsittely huoneselityksen mukaan |

KÄYTÖN RAJOITUKSET JA HUOMAUTUKSET:


- ei sovellu jos kerrosluke > 8 (palonkestoluokka)
- liittyvien rakenteiden vaikutus ääneneristävyyteen huomioitava erikseen SRMK:n mukaan
- huomioitava laatan kaarevuus ylöspäin
- asuntojen välipohja
- palokuorma $100 < f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$

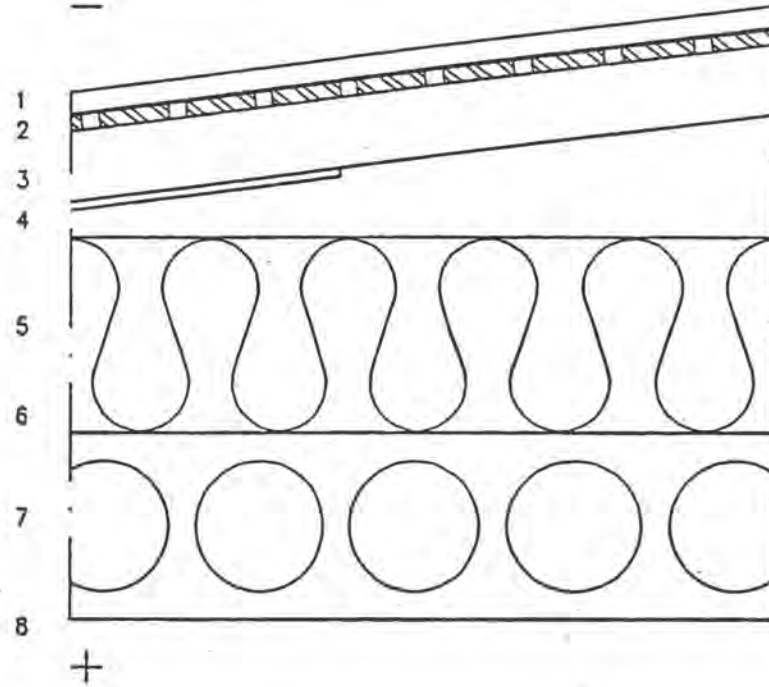
LÄMMÖNLÄPÄISYKEROIN:

AÄNEENERISTÄVYYS: $R'w = 55 \text{ dB}$, $L'_{n,w} = 58 \text{ dB}$, SRMK C1, C5
päällysteet 2-6

PALONKESTOLUOKKA: A60, SRMK:n E1 mukaan

LIITE 1 3(4)
Tutkimuskohteiden rakennetyypit

 HELSINGIN KAUPUNKI ASUNTOTUOTANTOTOIMISTO	Työn nro		YP560
	Päivöys	Tekija	
Rakennuskohde	Sisältö Ontelolaattayläpohja Peltikate Puhallusvillaeriste		



- | | | |
|----------|---|--|
| 0.6 mm | 1 | Peltikate rakennuslityksen mukaan, (teräslaaj Z03), 2-kertainen sauma |
| | 2 | Ruodelauditus rakennepiirustusten ja RT 85-10381 mukaan |
| | 3 | Kattokannattajat rakennepiirustusten mukaan |
| ≥ 100 mm | 4 | Tuuletettu ilmatila |
| 280 mm | 5 | Mineraalivilla: ryhmä 01.050 (puhallusvilla, 280 mm paikalleen puhallettuna) |
| | 6 | Korokkeet rakennepiirustusten mukaan |
| | 7 | Ontelolaatta rakennepiirustusten mukaan |
| | 8 | Pintakäsittely huoneselityksen mukaan |
- KÄYTÖN RAJOITUKSET JA HUOMAUTUKSET:**


- kallistus ≥ 1:6
- katteen kiinnitys RT 85-10381 ohjeen mukaan
- tuuletus rakennesuunnittelijan ohjeen mukaan
- kattoluukut ilmatilaan, ketjukiinnitys
- tehdasvalmisteisten kattokannattajien käyttö suositeltavaa
- tuulensuojaus $b \geq 1000$ mm reuna-alueella (kovalevy 3.2 mm)
- kulkusillat ullakolla rakennepiirustusten mukaan
- puhallusvillan läpi vain pystysuuntaisia puurakenteita
- ruodelaudituksen puutavara luokkaa kvinttia
- pellin alle peltikaistojen keskikohdalle saumojen suuntaisesti polyteenimattokaistat 5 mm

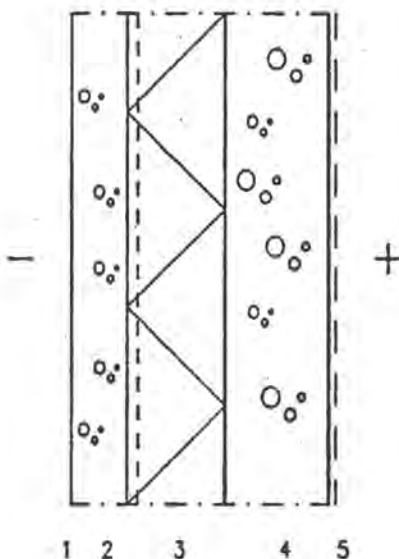
LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN: ≤ 0.20 W/m² K, SRMK C3 vaatimus 0.22

ÄÄNENERISTÄVYYS:

PALONKESTOLUOKKA:

LIITE 1 4(4)
 Tutkimuskohteiden rakennetyypit

 HELSINGIN KAUPUNKI ASUNTOTUOTANTOTOIMISTO	Työn nro		US501
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisältö Betoniseinä, kantava elementti Mineraalivillaoeriste		



- | | | |
|----------|---|--|
| | 1 | Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselityksen mukaan |
| 80 mm | 2 | Teräsbetoni |
| 140 mm | 3 | Uritettu urasuojattu mineraalivilla; ryhmä 02.005 (nimellismitta 145 mm) |
| ≥ 150 mm | 4 | Teräsbetoni |
| | 5 | Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan |

KÄYTÖN RAJOITUKSET JA HUOMAUTUKSET:

- lämmöneristeeseen järjestettävä tuuletus rakennesuunnittelijan ohjeen mukaan
- käytetään kun ulkokuoren sementtinä on portland sementti ja ulkopinta on hieretty betoni, sileä betoni, pesubetoni tai harjattu betoni
- elementtien saumoihin tulevat tuuletusputket vähintään k 2000
- julkisivubetonin laatuvaatimukset ks. elementtityöselitys

LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN: 0.27 W/m² K, SRMK C3 vaatimus 0.28

ÄÄNENERISTÄVYYS:

PAJONKESTO LUOKKA: kantava sisäkuori 150 mm: A60, 160 mm: A120

LIITE 2

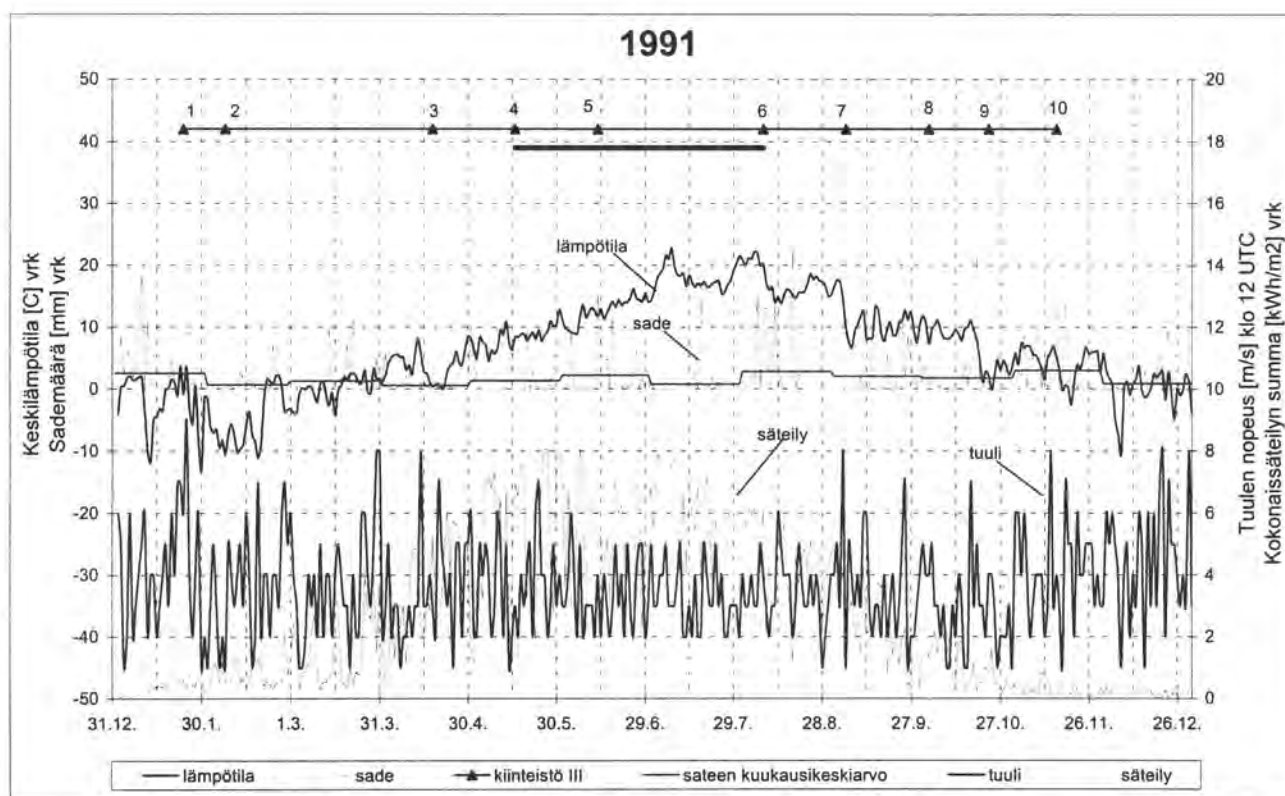
Mittauskohteiksi valittujen kiinteistöjen rakennusvaiheet ja säätiedot

- 1(3) Kiinteistö III
Kuva 1. Vuoden 1991 säätiedot
- 2(3) Kiinteistö V
- 3(3) Kuva 2. Vuoden 1993 säätiedot
Kuva 3. Vuoden 1994 säätiedot

LIITE 2 1(3)
Mittauskohteiden rakennusvaiheet ja säätiedot

Kiinteistö III

1	24.1.1991	Pintamaat poistettu Talojen pohjat kaivettu
2	7.2.1991	Louhintatyöt suoritettu
3	18.4.1991	Anturoiden ja perustusten valu talossa 2
4	16.5.1991	Anturoiden ja perustusten valu talossa 1 Sokkelit ja alapohjan anturat asennettu talossa 2 Viemäri- ja vesiliittymien teko
5	13.6.1991	1. kerroksen runko asennettu talossa 1 2. kerroksen runko asennettu talossa 2
6	8.8.1991	Vesikattotyöt taloissa 1 ja 2 Ikkunoiden asennus taloissa 1 ja 2
7	5.9.1991	Väliseinätyöt käynnissä talossa 2 Putkityöt käynnissä talossa 1
8	3.10.1991	Väliseinätyöt käynnissä talossa 1
9	23.10.1991	Alakattojen teko talossa 1 Tasoitetyöt talossa 2
10	15.11.1991	Tasoitetyöt talossa 1



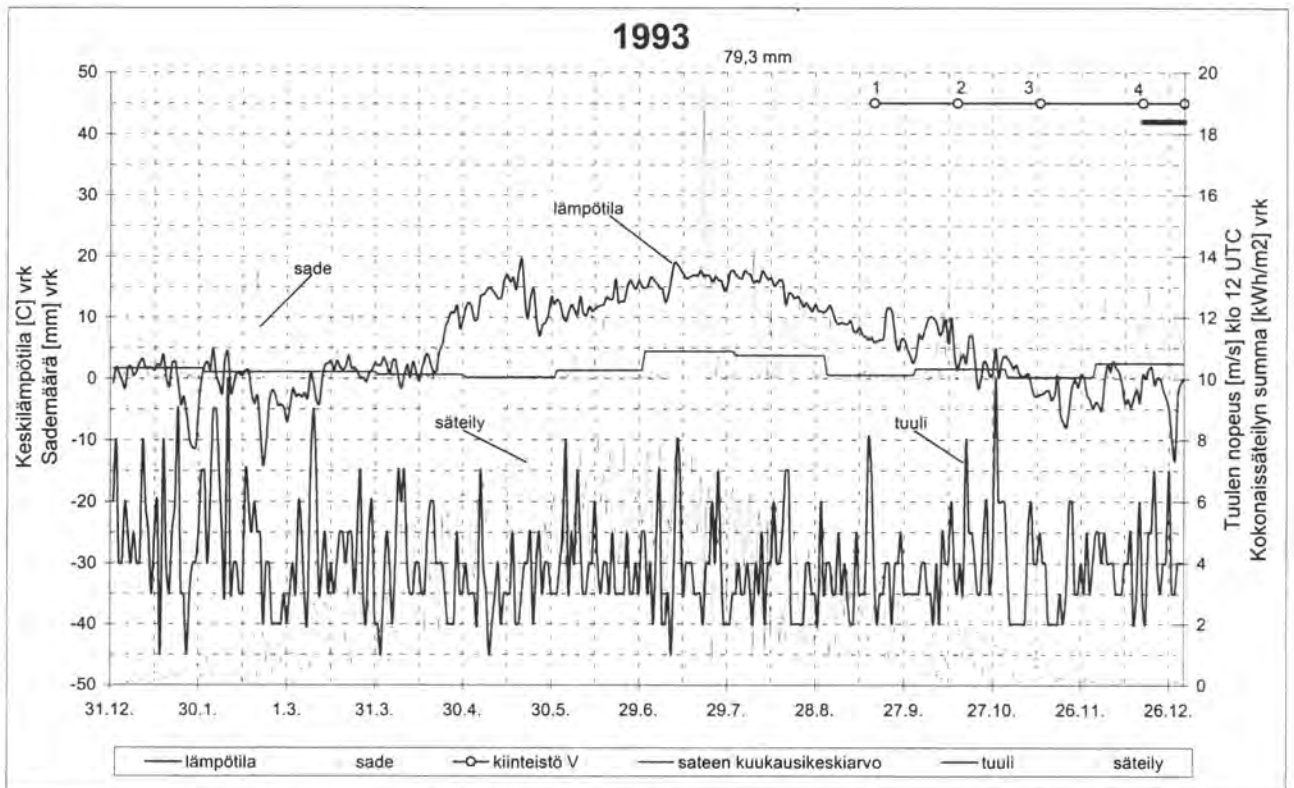
Kuva 1. Vuoden 1991 säätiedot, kiinteistön III rakentamisajat numeroituna sekä paksulla viivalla kriittiset yövaiheet rakenteiden kastumisen kannalta.

LIITE 2 2(3)
Mittauskohteiden rakennusvaiheet ja säätiedot

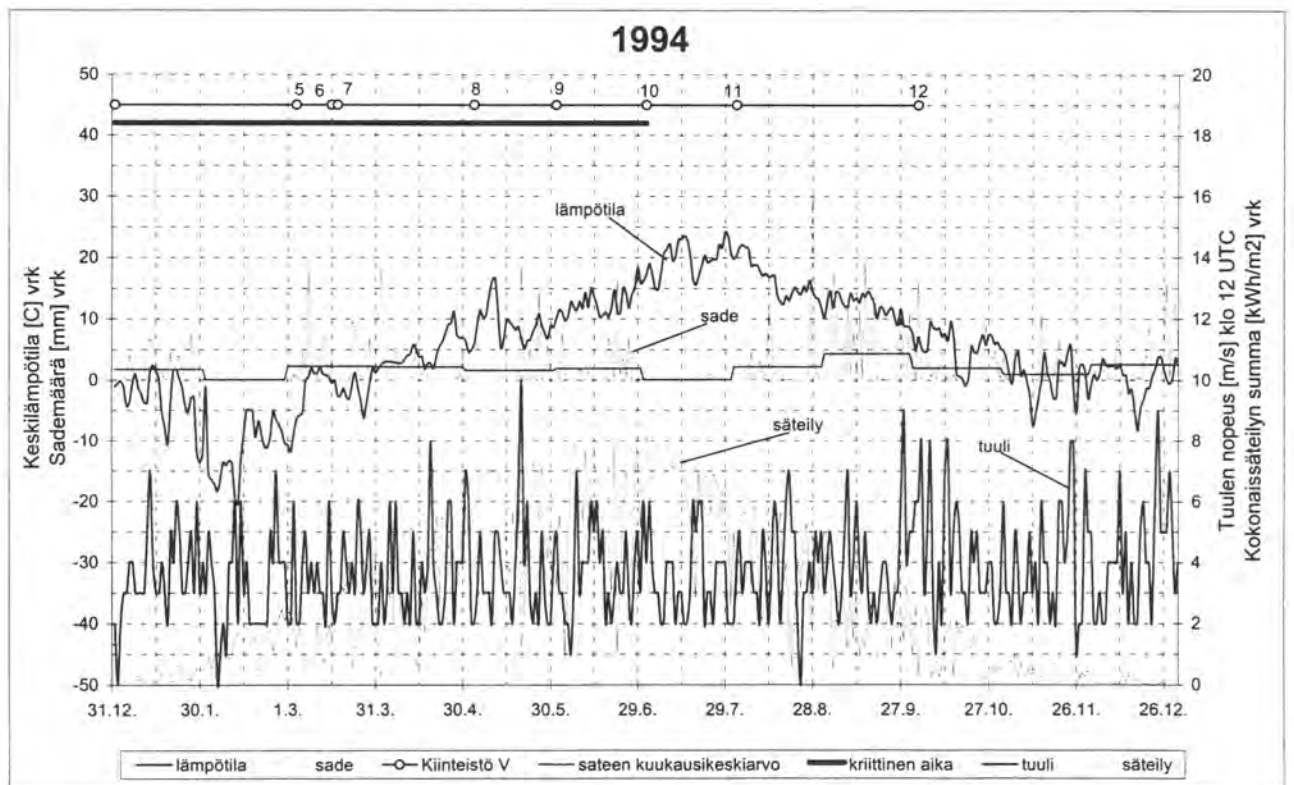
Kiinteistö V

1	17.9.1993	Paalutyöt aloitettu
2	15.10.1993	Paalutyöt lopetettu
3	12.11.1993	Anturoiden laudoitus ja valut aloitettu Viemäri- ja vesiliittymien teko
4	17.12.1993	Anturoiden ja perustusten valu Väestönsuoja valettu
5	4.3.1994	1. kerroksen elementtiasennus talossa 1 1. kerroksen muuraus talossa 1 1. kerroksen elementtiasennus talossa 2 3. kerroksen elementtiasennus talossa 1
6	16.3.1994	5. kerroksen elementtiasennus rapussa A Ruodelaudoitus rapuissa B ja C Runko asennettu rapuissa B ja C Väliseinätyöt käynnissä A Muuraustyöt rapuissa B ja C Lattiatyöt rapussa C Ulko-ovien asennus rapuissa B ja C Ikkunoiden asennus rapuissa B ja C Onteloita maassa talossa 2
7	18.3.1994	Vesikattotyöt alkaneet Väliseinätyöt käynnissä rapuissa B ja C Harjannostajaiset
8	4.5.1994	Runko valmis
9	1.6.1994	Vesikattotyöt loppuneet
	28.6.1994	Maalaus meneillään rapussa B
10	2.7.1994	Julkisivusaumaukset talossa 2 Maalaus meneillään talossa 2 Mattotyöt talossa 1
11	2.8.1994	Julkisivusaumaukset
12	3.10.1994	Sisäänmuuttopäivä

LIITE 2 3(3)
Mittauskohteiden rakennusvaiheet ja säätiedot



Kuva 2. Vuoden 1993 säätiedot, kiinteistön V rakentamisajat numeroituna sekä paksulla viivalla kriittiset työvaiheet rakenteiden kastumisen kannalta.



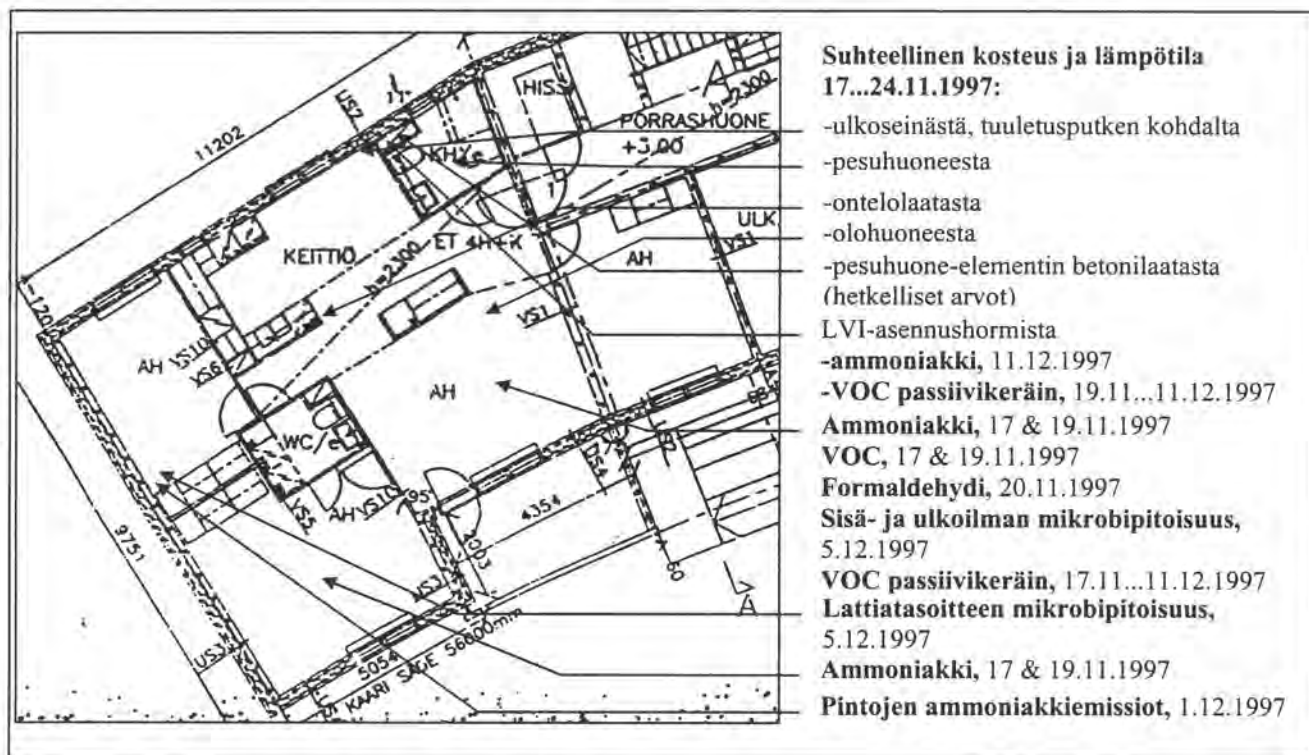
Kuva 3. Vuoden 1994 säätiedot, kiinteistön V rakentamisajat numeroituna sekä paksulla viivalla kriittiset työvaiheet rakenteiden kastumisen kannalta.

LIITE 3

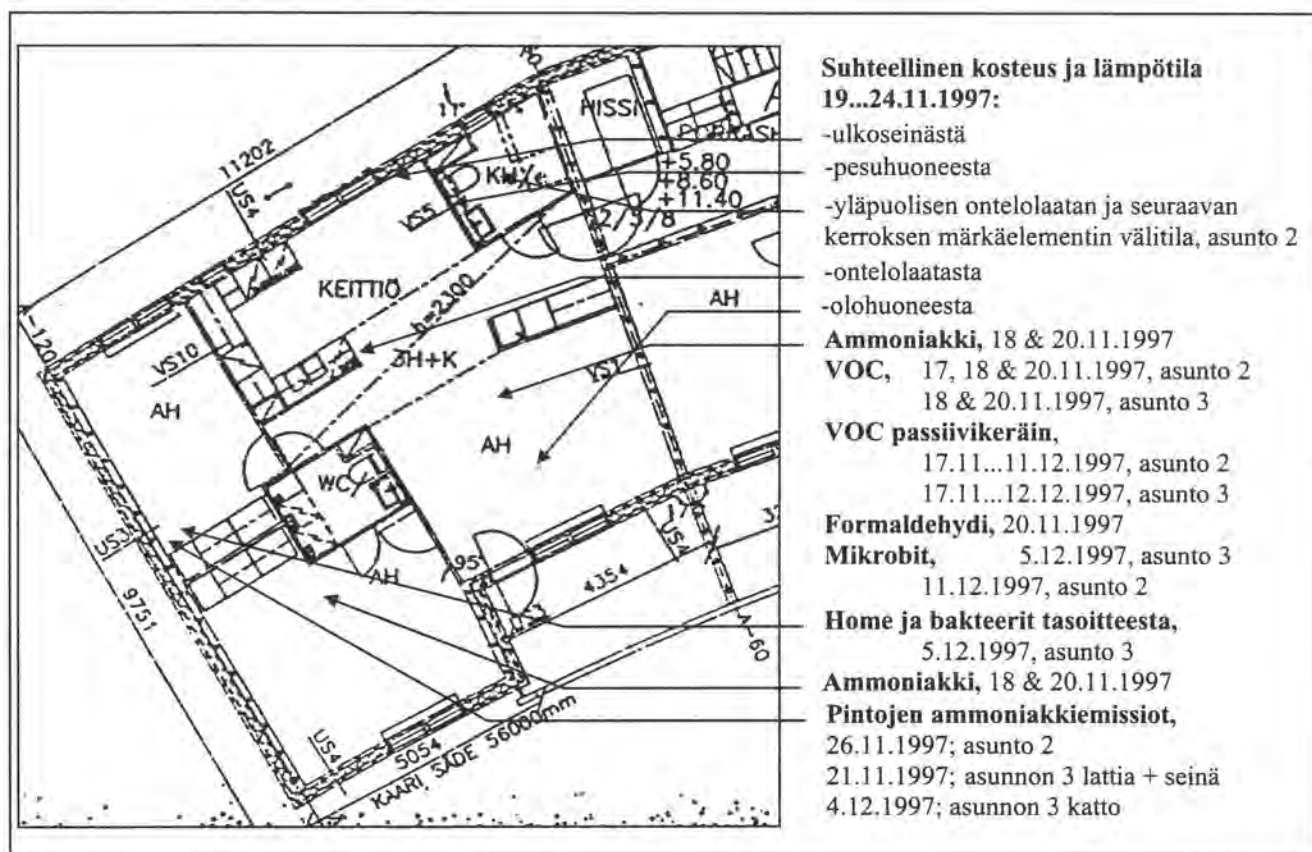
Yksityiskohtaiset mittausohjelmat

- 1(5) Kuva 1. Asunnon 1 yksityiskohtainen mittausohjelma
Kuva 2. Asuntojen 2 ja 3 yksityiskohtaiset mittausohjelmat
- 2(5) Kuva 3. Asunnon 4 yksityiskohtainen mittausohjelma
- 3(5) Kuva 4. Asuntojen 5...7 yksityiskohtaiset mittausohjelmat
- 4(5) Kuva 5. Rapun I yksityiskohtainen mittausohjelma
- 5(5) Kuva 6. Rapun II yksityiskohtainen mittausohjelma
Kuva 7. Rapun III yksityiskohtainen mittausohjelma

LIITE 3 1(5)
Yksityiskohtaiset mittausohjelmat

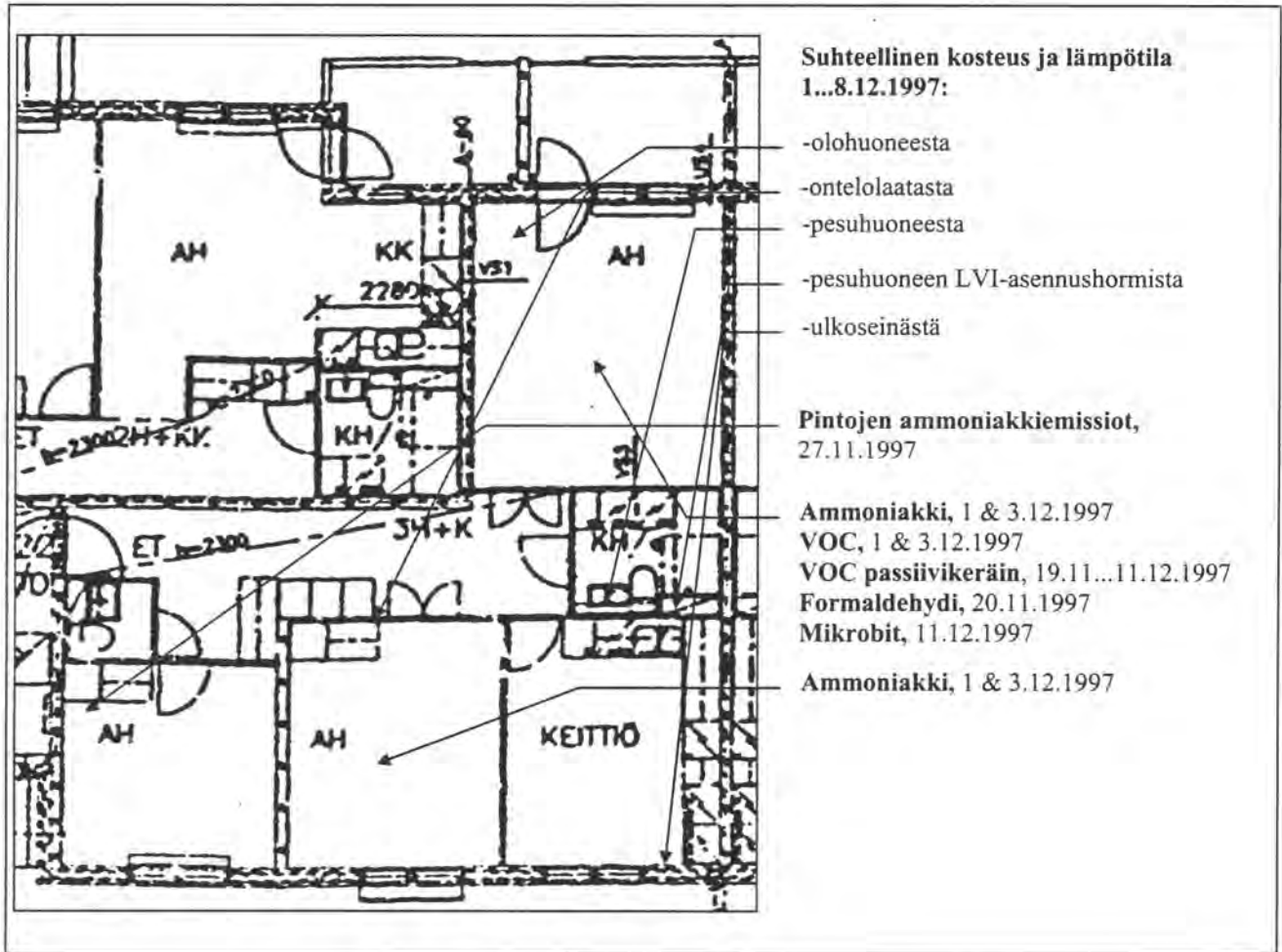


Kuva 1. Asunnon 1 yksityiskohtainen mittausohjelma.



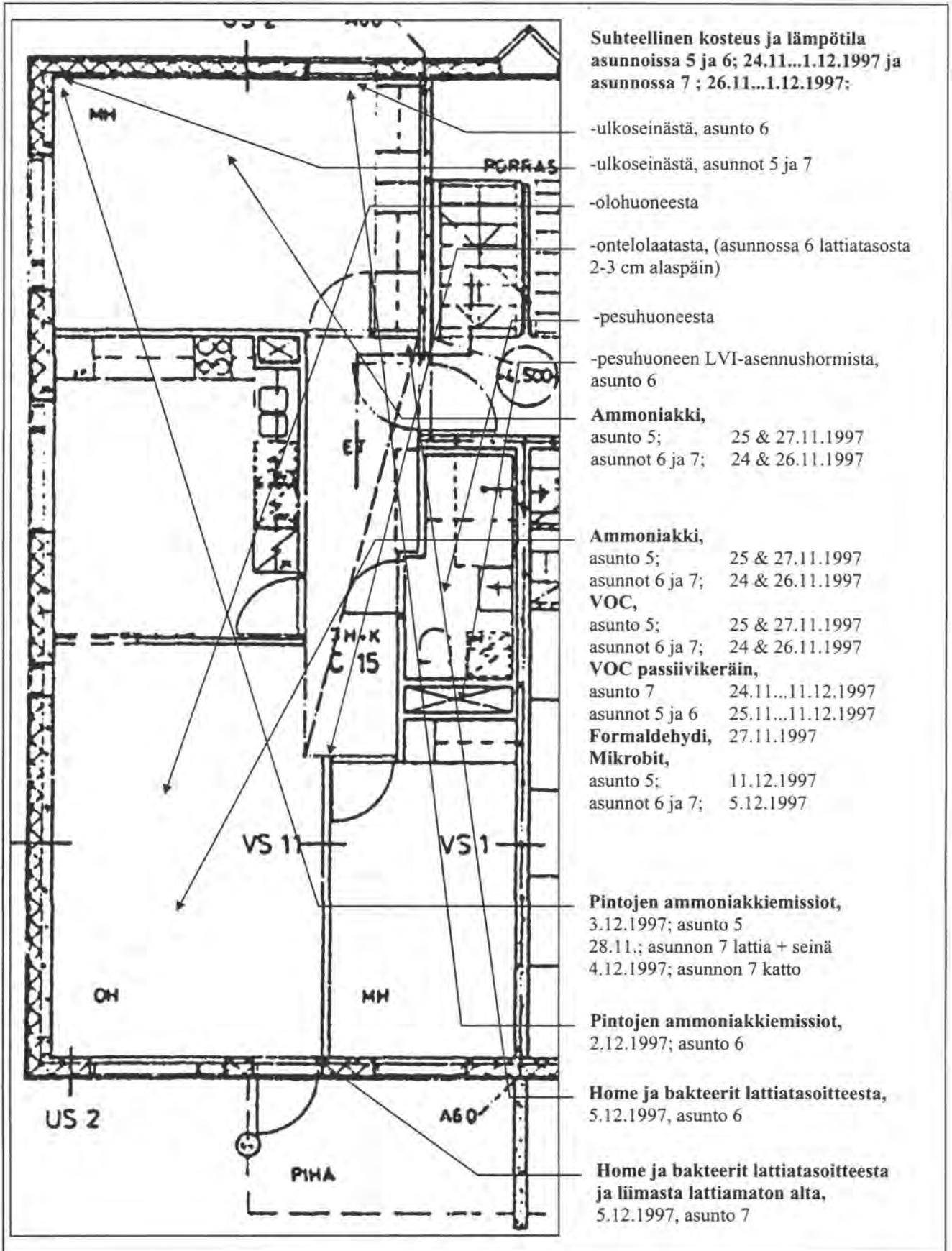
Kuva 2. Asuntojen 2 ja 3 yksityiskohtaiset mittausohjelmat.

LIITE 3 2(5)
Yksityiskohtaiset mittausohjelmat



Kuva 3. Asunnon 4 yksityiskohtainen mittausohjelma.

LIITE 3 3(5)
Yksityiskohtaiset mittausohjelmat

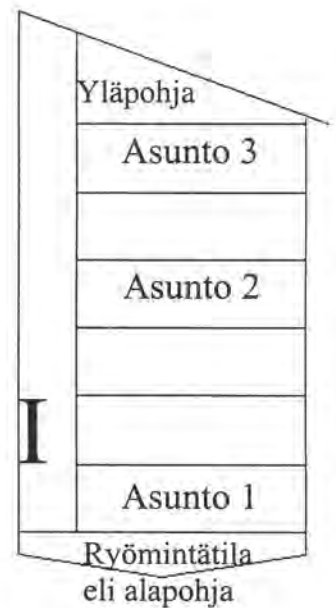
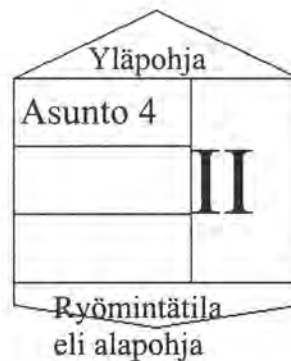


Kuva 4. Asuntojen 5...7 yksityiskohtaiset mittausohjelmat. Kuvassa on asuntojen 5 ja 7 pohjapiirros. Asunto 6 on pohjapiirroksen peilikuva.

LIITE 4

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset

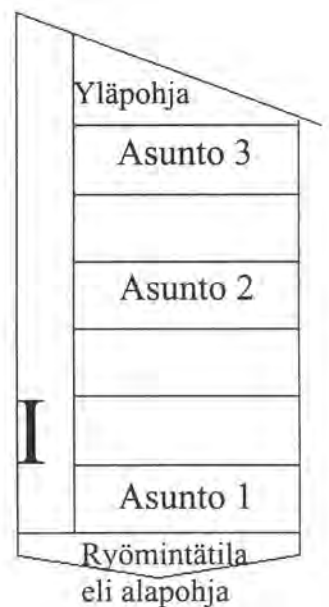
- 1(7) Asunnon 1 ja rappu I:n ryömintätilan välinen paine-ero
Asunnon 1 ja rappu I:n alaosan välinen paine-ero
Rappu I:n ylä- ja alaosan välinen paine-ero
Rappu I:n alaosan ja ryömintätilan välinen paine-ero
Asunnon 3 ja rappu I:n yläosan välinen paine-ero
Asunnon 4 ja rappu II:n yläosan välinen paine-ero
Rappu II:n ala- ja yläosan välinen paine-ero
Rappu II:n alaosan ja alapohjan välinen paine-ero
- 2(7) Asunnon 5 ja rappu III:n alaosan välinen paine-ero
Rappu III:n ylä- ja alaosan välinen paine-ero
Rappu III:n alaosan ja ryömintätilan välinen paine-ero
Asunnon 7 ja rappu III:n yläosan välinen paine-ero
Rappu I; ryömintätila
Rappu I; katon tuuletustila
Rappu II; ryömintätila
Rappu II; yläpohja
- 3(7) Rappu III; yläpohja
Asunto 1; pesuhuone
Asunto 1; olohuone
Asunto 1; ontelolaatta
Asunto 1; ulkoseinä, tuuletusputken kohdalta
Asunto 1; absoluuttiset kosteudet
Asunto 3; pesuhuone
Asunto 3; olohuone



LIITE 4

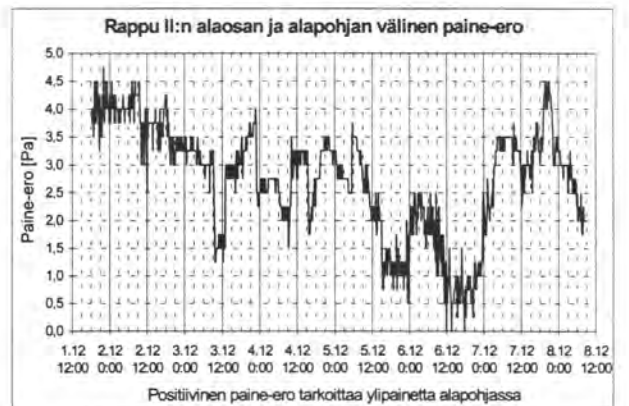
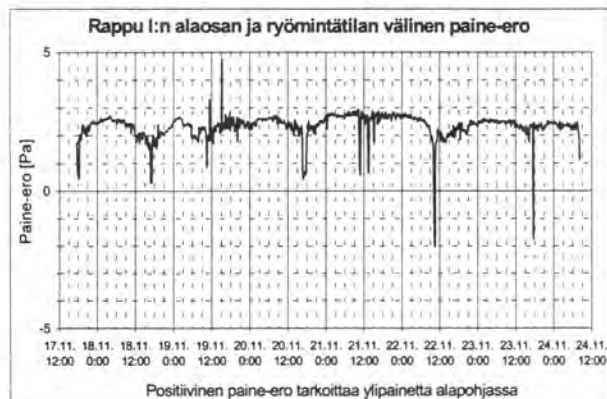
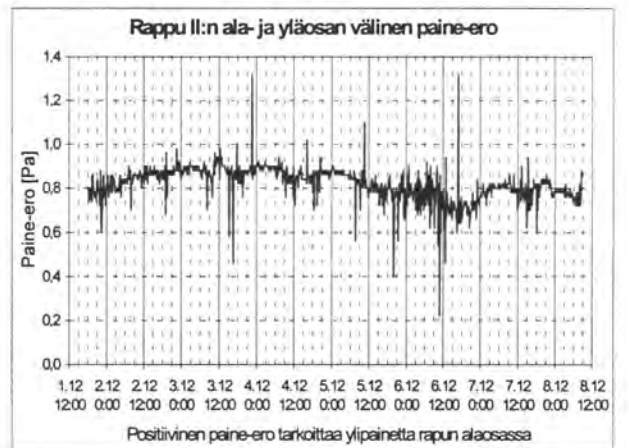
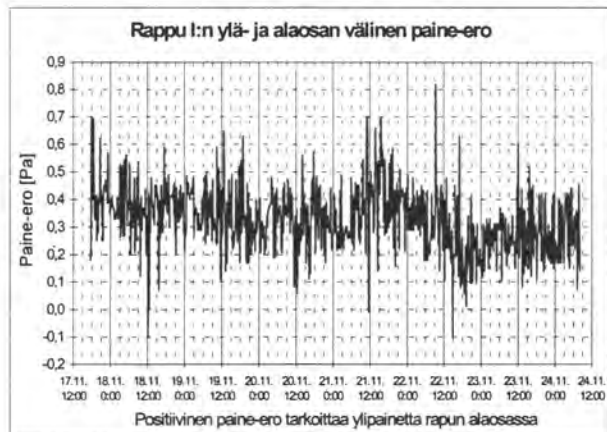
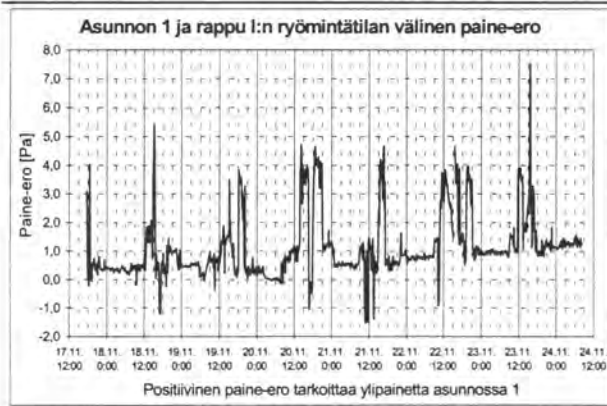
Rakennusfysikaaliset mittaustulokset

- 4(7) Asunto 3; ontelolaatta
Asunto 3; ulkoseinä
Asunto 3; absoluuttiset kosteudet
Asunto 4; pesuhuone
Asunto 4; olohuone
Asunto 4; ontelolaatta
Asunto 4; ulkoseinä
Asunto 4; pesuhuoneen LVI-asennushormi
- 5(7) Asunto 4; absoluuttiset kosteudet
Asunto 5; pesuhuone
Asunto 5; olohuone
Asunto 5; ontelolaatta
Asunto 5; ulkoseinä
Asunto 5; absoluuttiset kosteudet
Asunto 6; pesuhuone
Asunto 6; olohuone
- 6(7) Asunto 6; ontelolaatan pinnasta 2...3 cm
Asunto 6; ulkoseinä
Asunto 6; pesuhuoneen LVI-asennushormi
Asunto 6; absoluuttiset kosteudet
Asunto 7; pesuhuone
Asunto 7; olohuone
Asunto 7; ontelolaatta
Asunto 7; ulkoseinä
- 7(7) Asunto 7; absoluuttiset kosteudet



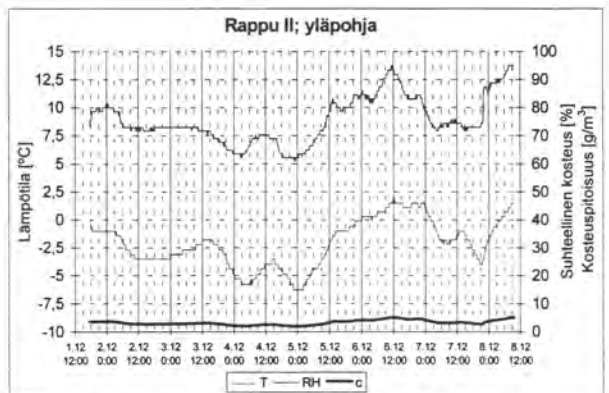
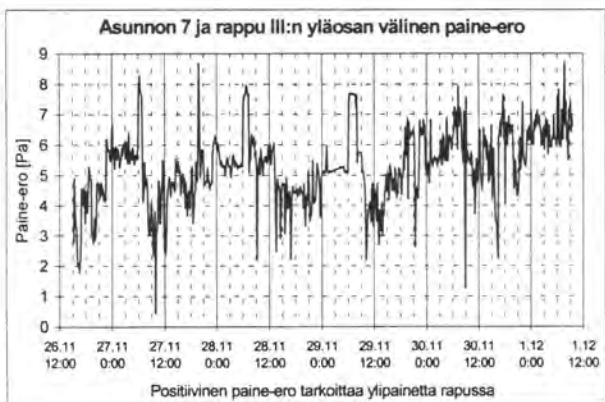
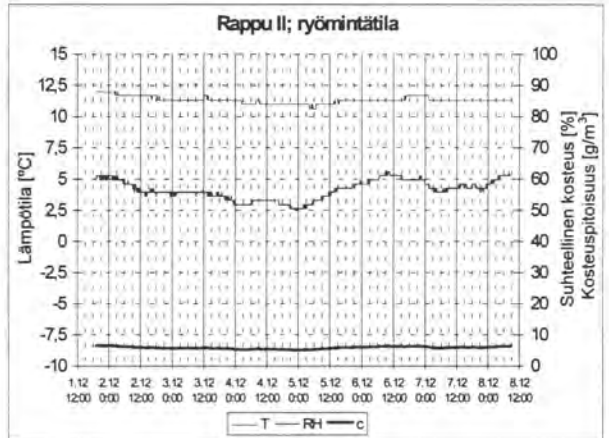
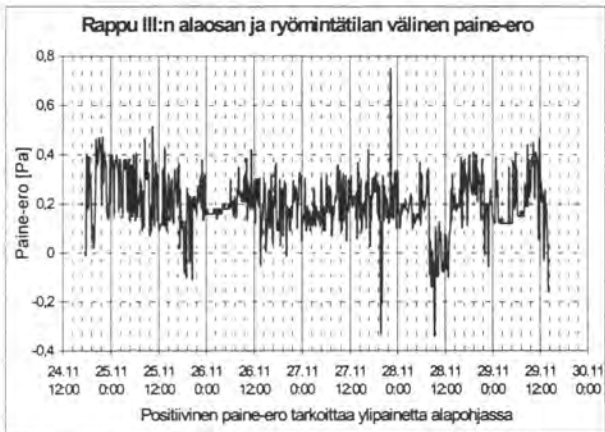
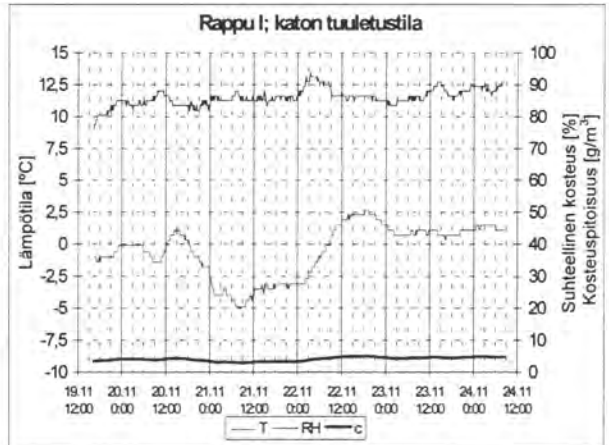
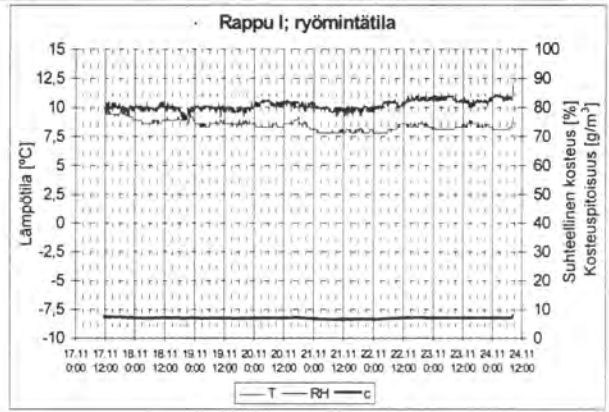
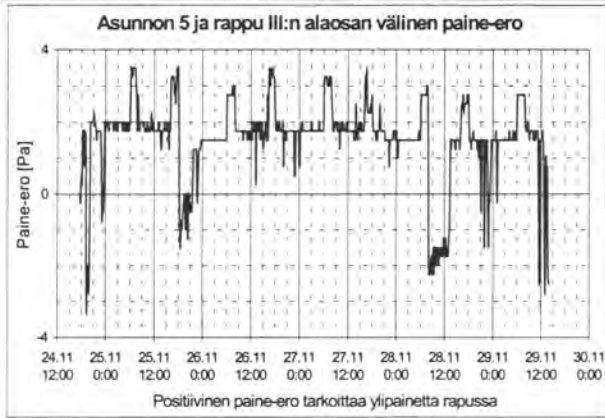
LIITE 4 1(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



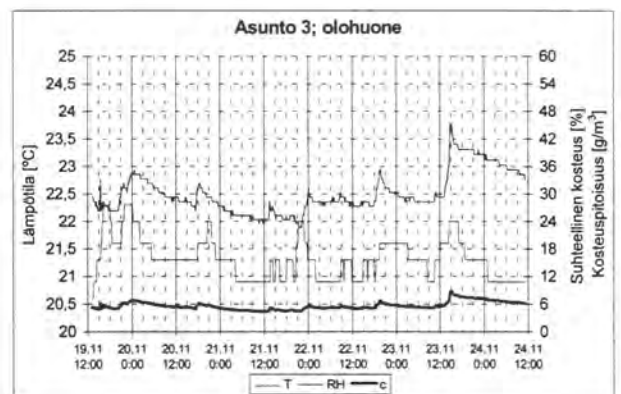
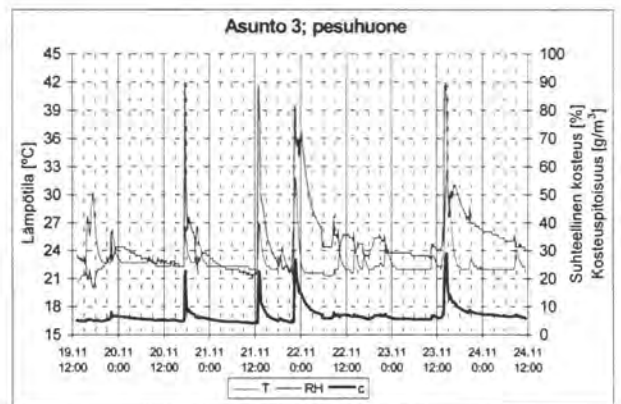
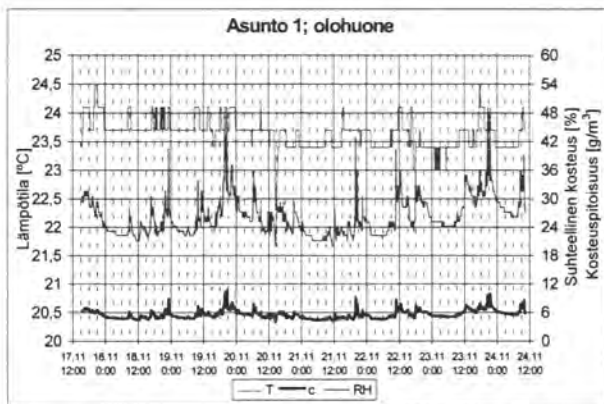
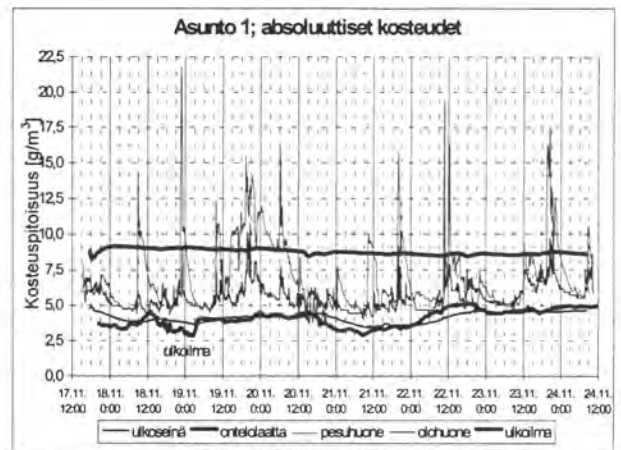
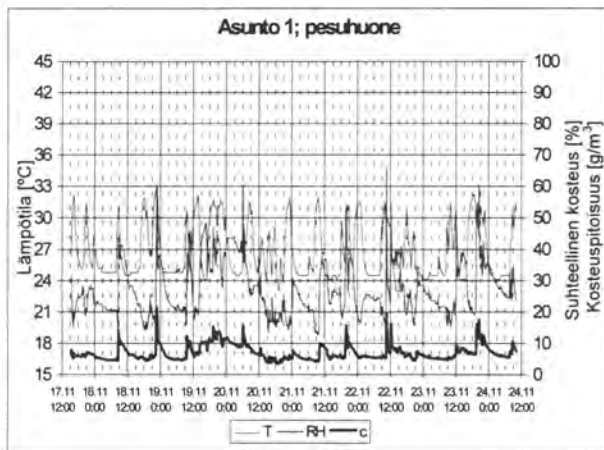
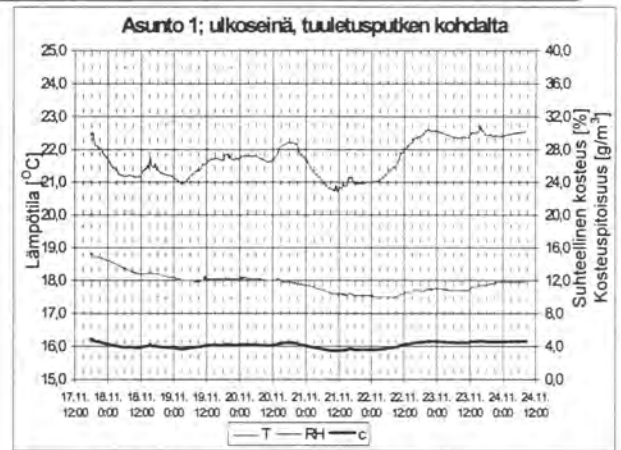
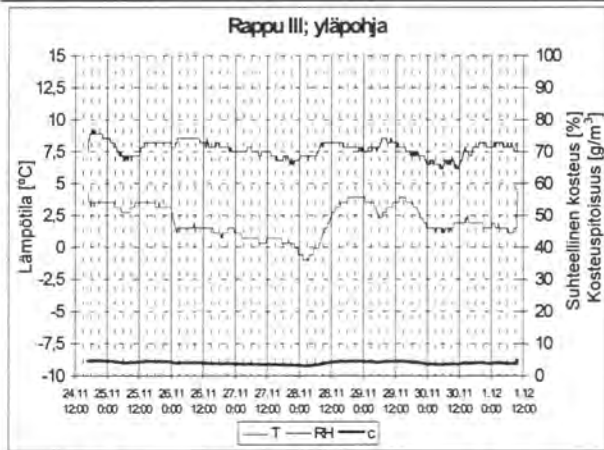
LIITE 4 2(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



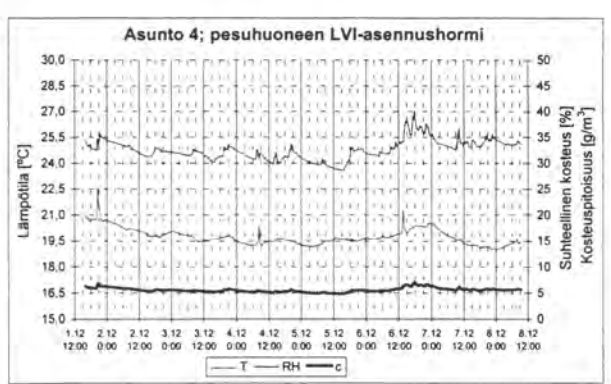
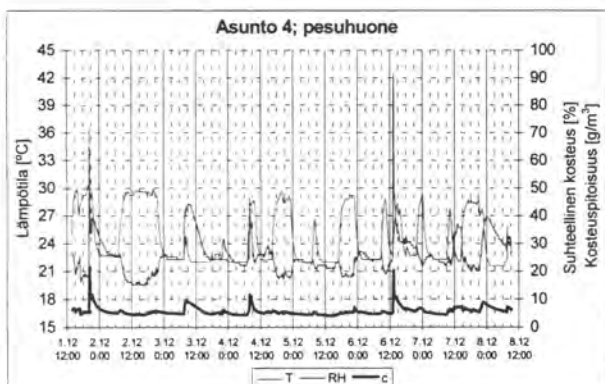
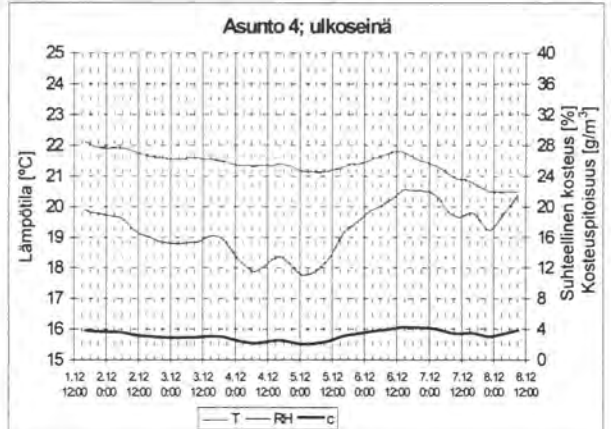
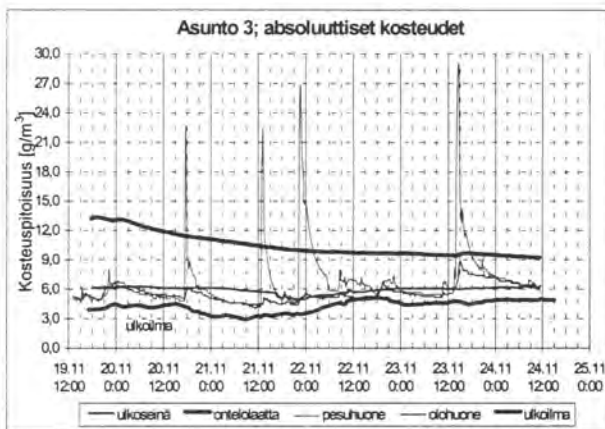
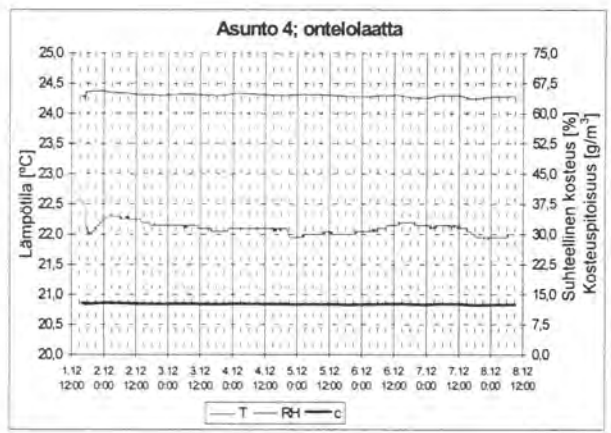
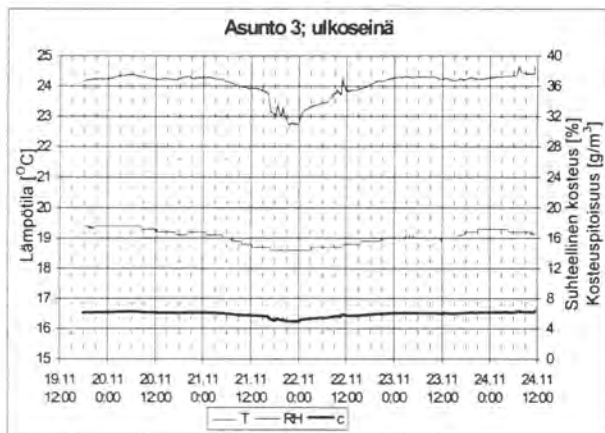
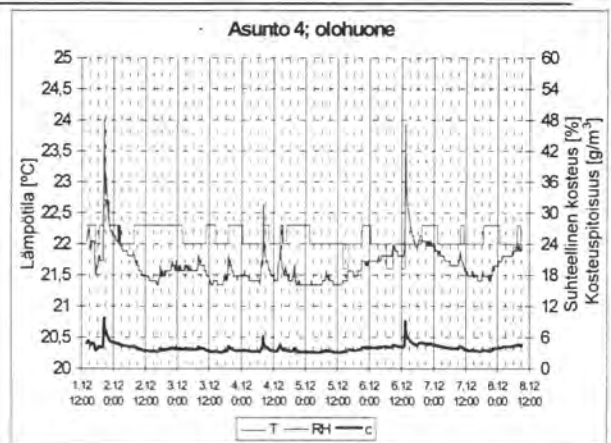
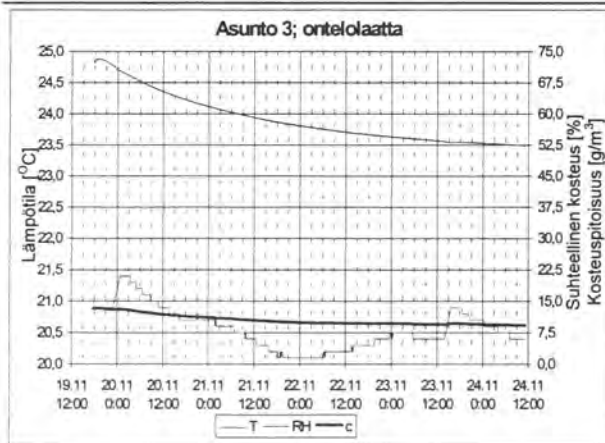
LIITE 4 3(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



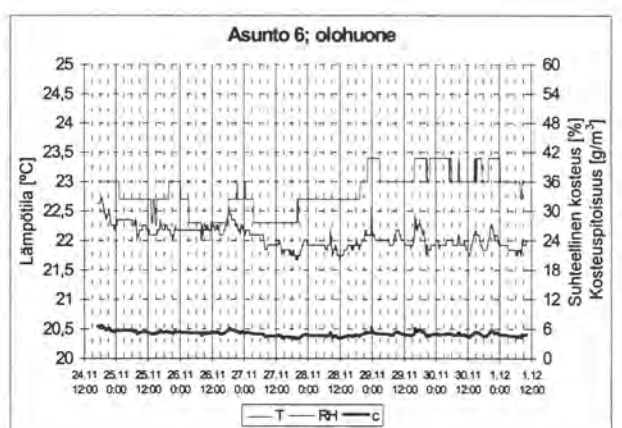
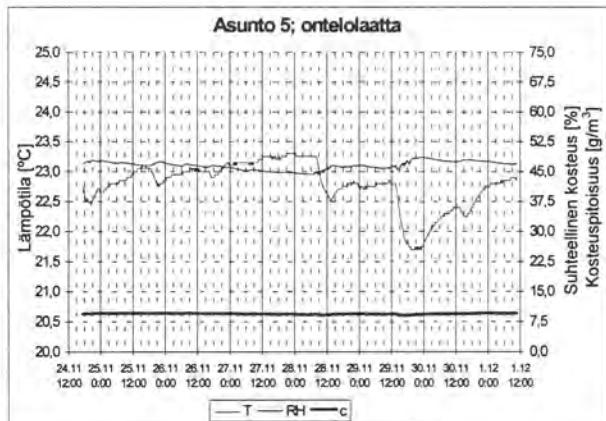
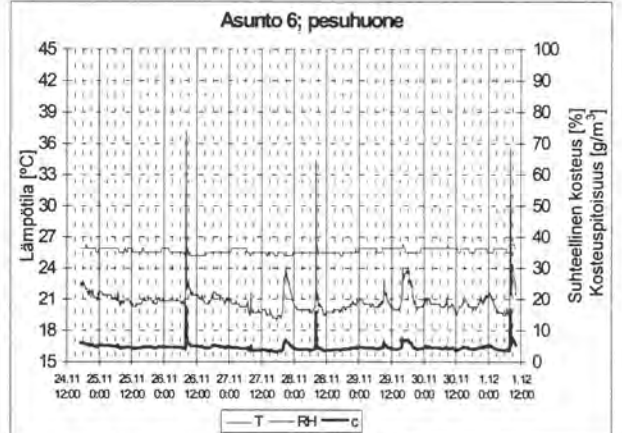
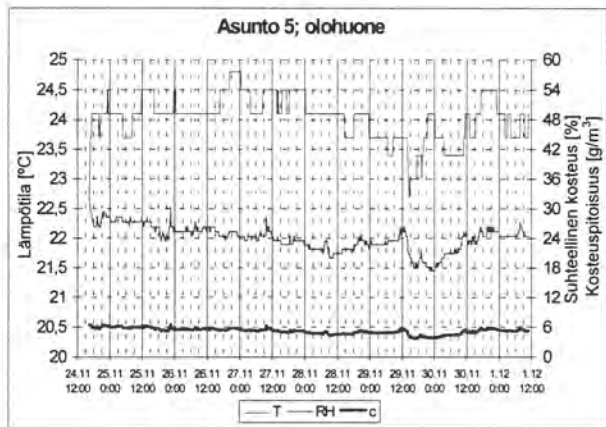
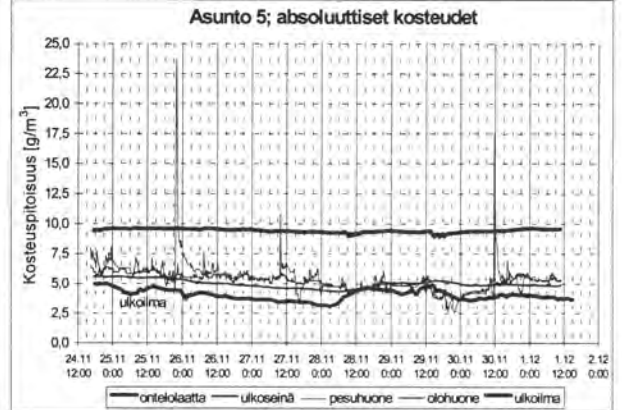
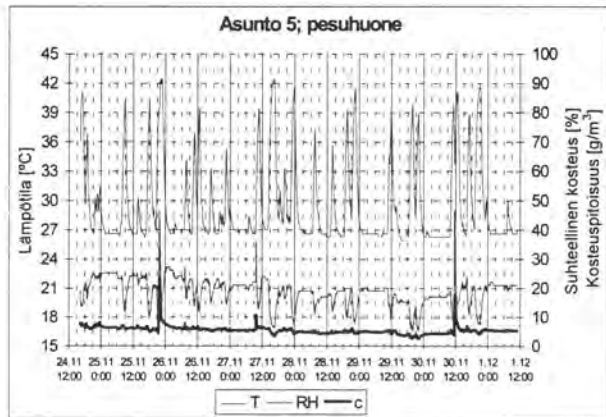
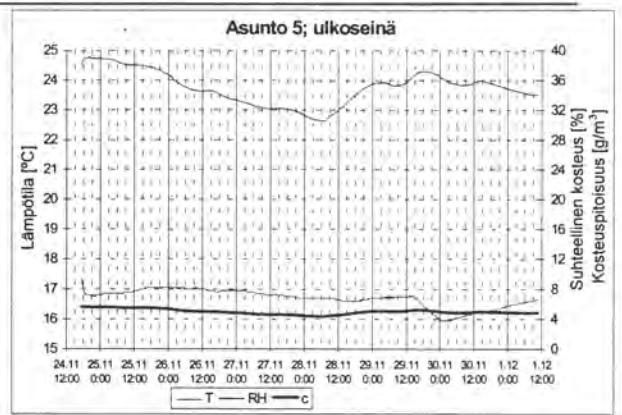
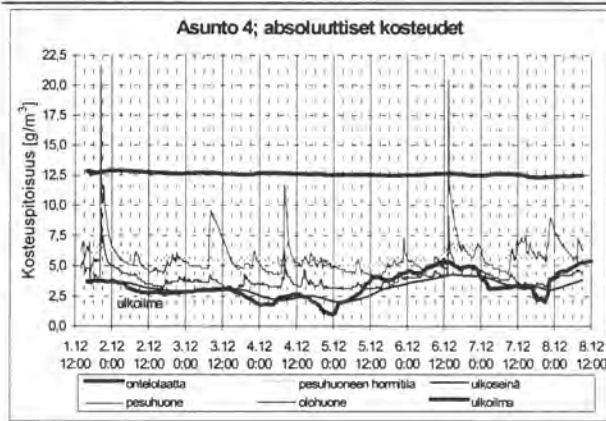
LIITE 4 4(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



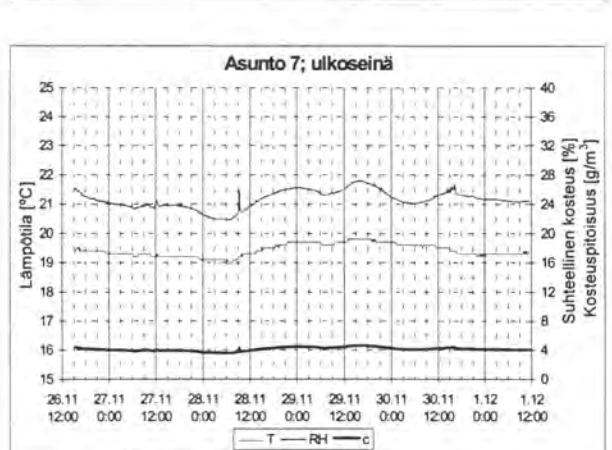
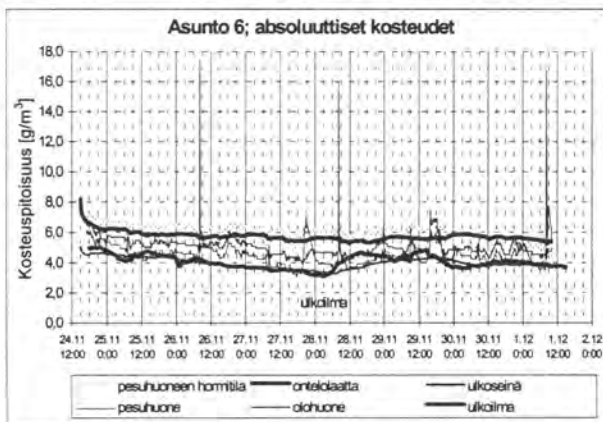
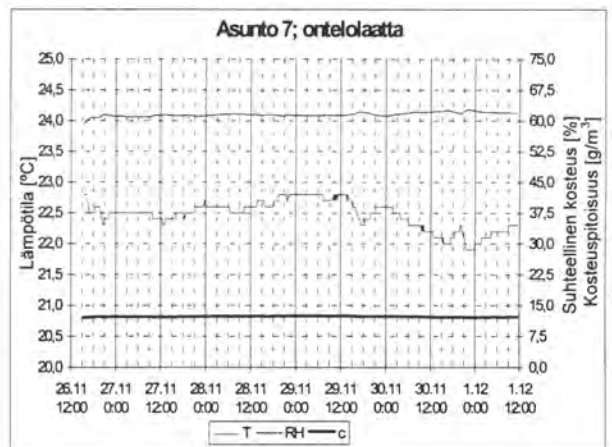
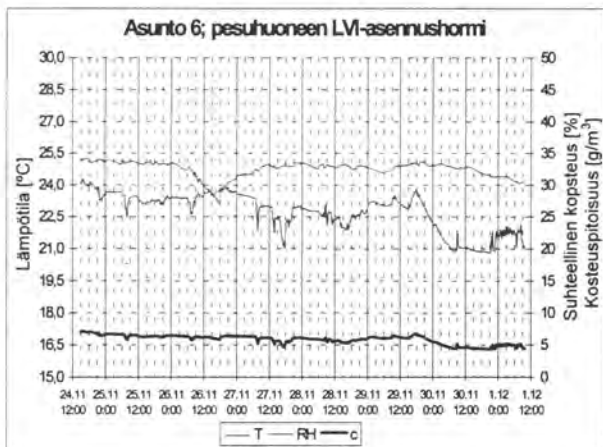
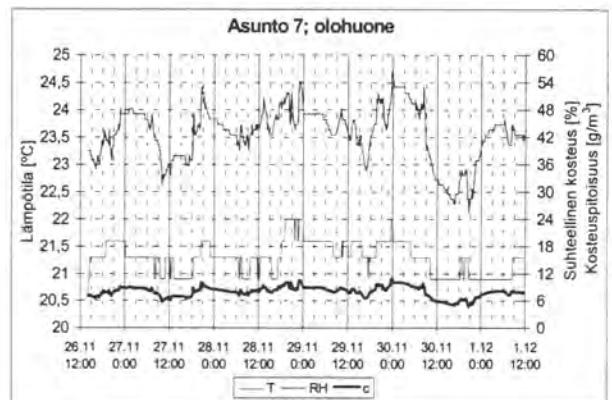
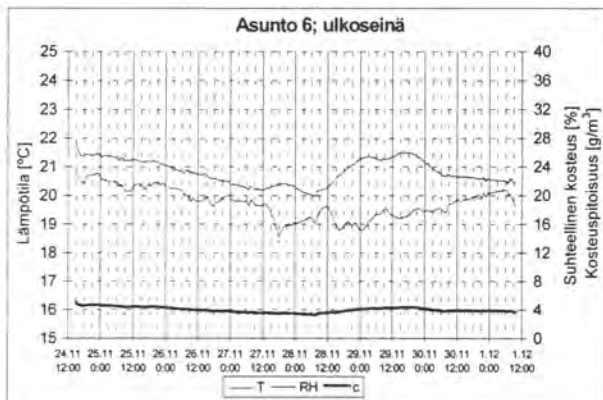
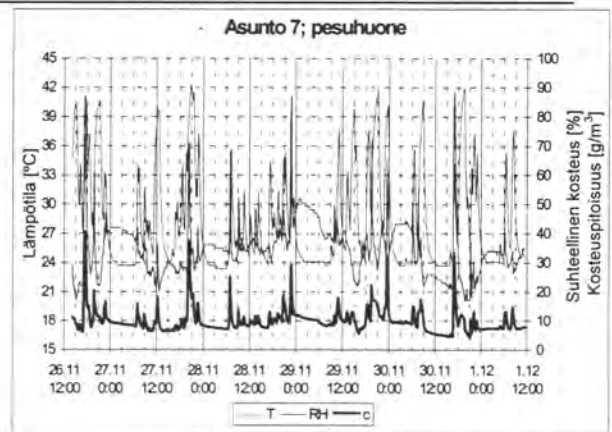
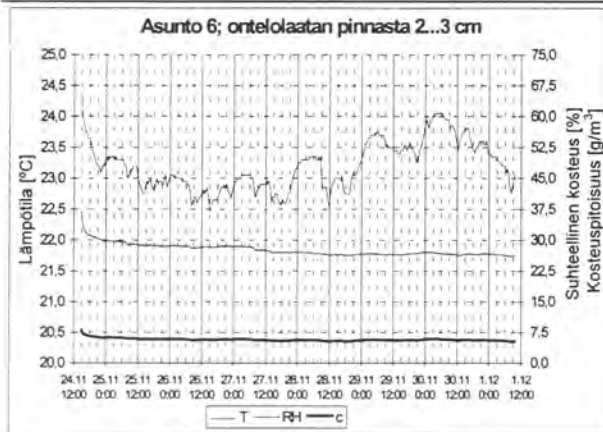
LIITE 4 5(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



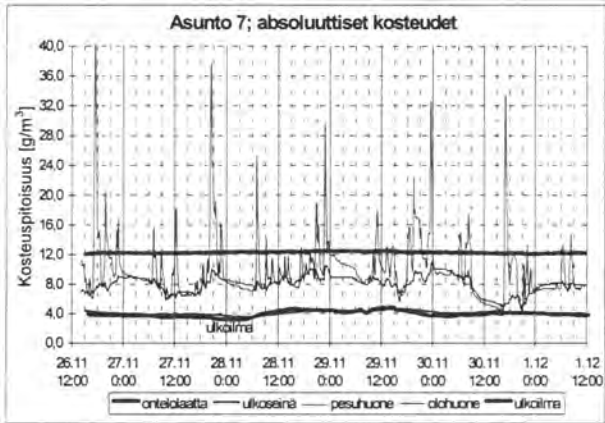
LIITE 4 6(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



LIITE 4 7(7)

Rakennusfysikaaliset mittaustulokset



LIITE 5

VOC-mittaustulokset

- 1(9) Asunnon 1 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 2(9) Asunnon 2 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 3(9) Asunnon 3 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 4(9) Asunnon 4 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 5(9) Asunnon 5 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 6(9) Asunnon 6 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 7(9) Asunnon 7 hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 8(9) Asuntojen 1, 4 ja 5 alapohjien hetkelliset VOC-pitoisuudet
- 9(9) Kaikkien asuntojen ja asunnon 1 LVI-asennushormin keskimääräiset VOC-pitoisuudet noin kolmen viikon ajanjaksolta

LIITE 5 1(9)
Hetkelliset VOC-pitoisuudet

ASUNTO 1 µg/m ³	17.11.-97 ap1	17.11.-97 ip1	19.11.-97 ap 2	19.11.-97 ip 2
HALOGENOIDUT				
1,1,1-Trikloorietaani	0,9	0,8	0,8	0,7
Trikloorieteeni	0,5	0,6	0,4	0,4
Tetrakloorieteeni	0,5	0,4	0,3	0,2
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
1,4-Diklooribentseeni	0,1	ei tod.	0,1	0,1
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	0,1	0,1
AROMAATTISET				
Bentseeni	1,2	1,3	1,5	1,2
Tolueeni	4,3	4,4	4,0	3,2
Etyylibentseeni	5,6	6,0	4,8	4,4
1,4-Ksyleeni	5,8	6,1	6,7	6,3
Styreeni	5,1	5,2	5,5	5,2
1,2-Ksyleeni	4,9	1,0	1,3	0,9
Propyylibentseeni	0,6	0,7	0,6	0,6
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,3	0,4	0,3	0,4
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	0,1	0,2	0,1	0,1
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
Naftaleeni	0,2	0,2	0,3	0,2
1-Metyylinaftaleeni	0,1	0,1	0,1	0,1
Bifenyylä	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
Fenoli	0,8	0,9	1,1	0,9
ALIFAATTISET/SYKLISET				
Heptaani	1,7	1,4	1,0	0,5
Oktaani	0,7	ei tod.	0,5	0,5
Nonaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Dekaani	0,5	ei tod.	ei tod.	0,1
Undekaani	0,9	0,4	0,7	ei tod.
Dodekaani	1,3	0,6	0,6	1,4
Tridekaani	1,0	1,1	0,5	ei tod.
Tetradekaani	1,1	0,7	1,6	1,6
Pentadekaani	1,4	1,1	1,5	1,9
Heksadekaani	1,7	0,9	1,8	2,2
Metyylisykloheksaani	0,8	0,7	0,8	0,7
Propyyლისykloheksaani	0,3	ei tod.	0,3	0,2
TERPEENIT				
alfa-Pineeni	13,6	15,0	15,7	14,1
delta-3-Kareeni	7,9	8,0	8,4	7,6
Limoneeni	6,8	6,4	6,1	5,4
Kamferi	0,2	ei tod.	0,5	0,2
ALDEHYDIT				
Heksanaali	9,1	8,9	8,4	8,0
Oktanaali	1,7	1,8	1,8	1,6
Nonanaali	6,7	6,2	6,0	7,2
Furfuraali	0,5	0,5	0,2	0,3
Bentsaldehydi	0,6	0,6	0,6	0,7
MUUT				
1-Pentanoli	0,9	1,3	0,8	1,4
Butyyliasetaatti	1,4	1,4	1,2	1,6
1-Asetoksi-2-etoksietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,4
6-Metyyli-5-hepten-oni	1,5	1,2	1,1	ei tod.
2-Etoksietaanoli	0,5	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TXIB	42,2	36,9	165,0	193,1
TVOC (summa)	135,7	123,1	253,5	275,6

LIITE 5 2(9)
Hetkelliset VOC-pitoisuudet

ASUNTO 2 µg/m ³	18.11.97 ap1	18.11.97 ip2	20.11.97 ap2	20.11.97 ip2
HALOGENOIDUT				
1,1,1-Trikloorietaani	0,5	1,7	0,4	0,5
Trikloorieteeni	0,5	ei tod.	1,3	1,3
Tetrakloorieteeni	0,8	0,4	1,3	1,3
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,4-Diklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
AROMAATTISET				
Bentseeni	2,4	1,8	2,3	1,9
Tolueeni	11,9	8,6	10,8	14,7
Etyylibentseeni	1,7	1,3	2,4	2,2
1,4-Ksyleeni	5,3	3,6	7,6	6,7
Styreeni	0,8	0,6	0,6	0,6
1,2-Ksyleeni	1,4	2,0	1,6	1,4
Propyylibentseeni	0,5	0,4	0,5	0,4
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,5	0,5	0,5	0,5
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	0,2	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Naftaleeni	0,2	0,2	ei tod.	0,2
1-Metyyli-naftaleeni	0,1	0,1	ei tod.	ei tod.
Bifenyylä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Fenoli	1,1	0,8	1,1	1,0
ALIFAATTISET/SYKLISET				
Heptaani	0,4	ei tod.	0,9	ei tod.
Oktaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Nonaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Dekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Undekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	1,4
Dodekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	1,7
Tridekaani	1,2	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Tetradekaani	ei tod.	ei tod.	1,3	1,1
Pentadekaani	1,4	ei tod.	1,1	1,3
Heksadekaani	1,1	1,3	ei tod.	ei tod.
Metyylisykloheksaani	0,4	0,4	0,8	0,6
Propylisykloheksaani	ei tod.	ei tod.	0,5	ei tod.
TERPEENIT				
alfa-Pineeni	28,0	28,9	29,4	27,2
delta-3-Kareeni	10,8	11,4	11,2	10,7
Limoneeni	17,1	17,7	16,1	12,2
Kamferi	0,6	ei tod.	0,2	ei tod.
ALDEHYDIT				
Heksanaali	8,4	8,3	8,5	8,7
Oktanaali	0,9	2,1	1,9	2,0
Nonanaali	7,2	7,6	6,9	6,0
Furfuraali	ei tod.	0,5	ei tod.	ei tod.
Bentsaldehydi	0,7	0,6	0,6	0,6
MUUT				
1-Pentanolä	1,5	1,2	0,9	1,9
Butyyliasetaatti	3,8	3,1	1,8	1,6
1-Asetoksi-2-etoksietaanä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
6-Metyyli-5-hepten-oni	ei tod.	1,9	1,0	1,3
2-Etoksietanolä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TXIB	55,4	57,4	116,3	137,7
TVOC (summa)	153,7	150,4	229,9	248,7

LIITE 5 3(9)
Hetkelliset VOC-pitoisuudet

ASUNTO 3 µg/m ³	18.11.97 ap1	18.11.97 ip1	20.11.97 ap2	20.11.97 ip2
HALOGENOIDUT				
1,1,1-Trikloorietaani	0,4	0,6	0,5	0,6
Trikloorieteeni	0,5	ei tod.	0,8	1,2
Tetrakloorieteeni	1,9	1,8	2,5	2,6
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,4-Diklooribentseeni	4,0	4,4	4,9	4,8
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	0,2	0,2
AROMAATTISET				
Bentseeni	2,3	2,0	2,3	2,1
Tolueeni	13,2	12,5	10,0	8,9
Etyylibentseeni	1,6	1,5	4,1	3,4
1,4-Ksyleeni	4,7	4,2	13,0	10,7
Styreeni	0,8	0,55	0,8	0,9
1,2-Ksyleeni	0,2	0,1	3,3	3,6
Propyylibentseeni	0,5	0,5	0,6	0,4
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,5	0,5	0,5	0,5
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Naftaleeni	0,2	0,2	0,3	0,2
1-Metyyli-naftaleeni	0,1	0,1	0,1	0,1
Bifenyylä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,1
Fenoli	1,4	1,5	1,7	1,5
ALIFAATTISET/SYKLISET				
Heptaani	11,7	10,1	6,4	6,1
Oktaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Nonaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Dekaani	ei tod.	ei tod.	1,6	ei tod.
Undekaani	ei tod.	ei tod.	1,3	ei tod.
Dodekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Tridekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Tetradekaani	1,1	ei tod.	1,6	ei tod.
Pentadekaani	1,5	1,5	1,2	1,6
Heksadekaani	1,6	1,9	ei tod.	ei tod.
Metyylisykloheksaani	5,6	5,4	3,6	3,3
Propyyllisykloheksaani	ei tod.	ei tod.	0,7	0,7
TERPEENIT				
alfa-Pineeni	8,1	9,2	8,3	8,2
delta-3-Kareeni	3,4	3,9	3,7	3,2
Limoneeni	13,0	12,5	10,4	9,7
Kamferi	ei tod.	ei tod.	0,7	ei tod.
ALDEHYDIT				
Heksanaali	10,5	11,8	11,0	10,7
Oktanaali	2,2	2,4	2,4	2,9
Nonanaali	5,5	6,7	7,1	6,6
Furfuraali	0,2	0,6	ei tod.	ei tod.
Bentsaldehydi	0,7	0,7	0,8	0,7
MUUT				
1-Pentanoli	0,8	1,8	2,1	0,9
Butyyliasetaatti	9,2	9,2	7,2	7,4
1-Asetoksi-2-etoksietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
6-Metyyli-5-hepten-oni	1,2	1,1	1,4	1,7
2-Etoksietanoli	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TXIB	140,1	122,3	169,8	175,7
TVOC (summa)	248,6	231,3	286,9	281,1

LIITE 5 6(9)
Hetkelliset VOC-pitoisuudet

ASUNTO 6 µg/m ³	24.11-97 ap1	24.11-97 ip1	26.11-97 ap2	26.11-97 ip2
HALOGENOIDUT				
1,1,1-Trikloorietaani	0,9	0,8	0,8	0,8
Trikloorieteeni	0,3	0,3	ei tod.	ei tod.
Tetrakloorieteeni	3,6	3,8	2,0	2,1
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,4-Diklooribentseni	0,1	ei tod.	0,1	0,1
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	0,1	ei tod.	ei tod.	ei tod.
AROMAATTISET				
Bentseeni	3,1	3,1	4,3	3,5
Tolueeni	20,0	16,8	18,3	19,6
Etyylibentseeni	2,1	7,6	3,6	3,6
1,4-Ksyleeni	6,6	19,4	12,3	12,3
Styreeni	1,1	1,2	1,5	1,3
1,2-Ksyleeni	0,4	5,1	2,7	2,8
Propyylibentseeni	0,6	0,6	0,8	0,8
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,6	0,7	0,9	0,9
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	0,2	0,2	0,4	0,2
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Naftaleeni	0,5	0,5	0,5	0,5
1-Metyyli-naftaleeni	0,2	0,2	0,2	0,2
Bifenyylä	0,1	ei tod.	ei tod.	0,1
Fenoli	3,3	3,4	2,6	2,7
ALIFAATTISET/SYKLISET				
Heptaani	4,7	3,8	3,4	3,9
Oktaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Nonaani	ei tod.	ei tod.	3,0	2,1
Dekaani	2,4	2,7	6,5	5,5
Undekaani	3,5	2,4	2,9	4,7
Dodekaani	1,9	2,2	1,9	1,7
Tridekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Tetradekaani	1,5	1,1	1,1	ei tod.
Pentadekaani	1,9	1,7	1,8	1,6
Heksadekaani	1,6	ei tod.	1,4	1,5
Metyylisykloheksaani	2,7	2,0	2,3	2,6
Propyyli-sykloheksaani	0,7	1,0	1,4	1,2
TERPEENIT				
alfa-Pineeni	6,0	6,1	4,5	5,0
delta-3-Kareeni	2,6	2,8	1,9	2,3
Limoneeni	7,0	8,3	5,3	5,4
Kamferi	0,3	0,2	0,1	0,2
ALDEHYDIT				
Heksanaali	8,0	8,1	5,9	6,2
Oktanaali	2,6	3,1	3,8	3,5
Nonanaali	4,0	4,7	2,1	3,4
Furfuraali	2,7	3,0	3,4	3,3
Bentsaldehydi	1,6	1,7	0,7	0,7
MUUT				
1-Pentanolä	1,4	0,9	1,4	0,6
Butyyliasettaatti	2,1	2,2	1,2	1,5
1-Asetoksi-2-etoksietaaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	1,4
6-Metyyli-5-hepten-oni	1,9	1,5	0,7	1,3
2-Etoksietanolä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TXIB	155,8	158,5	62,7	64,4
TVOC (summa)	260,5	281,5	170,2	175,6

LIITE 5 7(9)
Hetkelliset VOC-pitoisuudet

ASUNTO 7 µg/m ³	24.11.97 ap1	24.11.97 ip1	26.11.97 ap2	26.11.97 ip2
HALOGENOIDUT				
1,1,1-Trikloorietaani	1,3	1,1	0,7	0,7
Trikloorieteeni	0,3	0,3	0,5	0,4
Tetrakloorieteeni	0,4	0,3	0,3	0,3
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	0,1	ei tod.	ei tod.
1,4-Diklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	0,1	0,1	ei tod.	ei tod.
AROMAATTISET				
Bentseeni	2,6	2,6	2,3	2,0
Tolueeni	8,5	9,0	15,0	13,4
Etyylibentseeni	1,3	1,4	1,9	1,8
1,4-Ksyleeni	3,7	4,0	6,0	5,0
Styreeni	0,8	0,8	0,7	0,6
1,2-Ksyleeni	0,9	0,1	0,8	0,5
Propyylibentseeni	0,7	0,7	1,0	0,9
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,8	0,8	1,1	1,0
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	0,2	0,2	0,2	0,3
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Naftaleeni	0,3	0,3	0,3	0,3
1-Metyylinaftaleeni	0,2	0,1	0,1	0,1
Bifenyyli	0,1	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Fenoli	2,1	2,2	1,7	1,4
ALIFAATTISET/SYKLISET				
Heptaani	1,4	1,1	1,8	1,5
Oktaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Nonaani	3,0	3,0	5,9	5,2
Dekaani	11,4	13,0	14,4	12,5
Undekaani	29,0	31,4	22,2	22,3
Dodekaani	22,0	25,0	18,8	18,6
Tridekaani	6,1	6,9	4,8	5,8
Tetradekaani	1,7	1,4	1,8	1,6
Pentadekaani	2,2	2,1	2,4	2,0
Heksadekaani	1,8	2,3	1,5	1,5
Metyylisykloheksaani	0,8	0,6	0,7	0,7
Propyyლისykloheksaani	1,0	1,1	2,3	2,0
TERPEENIT				
alfa-Pineeni	19,1	18,5	15,3	15,2
delta-3-Kareeni	7,6	7,2	6,5	6,1
Limoneeni	63,4	60,0	29,9	27,9
Kamferi	0,7	0,5	0,7	0,2
ALDEHYDIT				
Heksanaali	15,4	15,9	12,2	11,8
Oktanaali	7,1	7,6	7,1	6,5
Nonanaali	8,2	9,2	9,1	8,6
Furfuraali	1,1	0,4	0,4	0,5
Bentsaldehydi	1,8	1,7	0,9	0,8
MUUT				
1-Pentanoli	3,9	5,2	1,2	2,6
Butyyliasetaatti	3,1	3,4	2,9	2,5
1-Asetoksi-2-etoksietaan	ei tod.	1,3	ei tod.	ei tod.
6-Metyyli-5-hepten-oni	2,0	2,4	1,1	0,7
2-Etoksietanoli	ei tod.	5,1	ei tod.	ei tod.
TXIB	164,8	183,5	71,4	65,9
TVOC (summa)	402,8	433,6	268,0	251,8

LIITE 5 8(9)
Alapohjien hetkelliset VOC-pitoisuudet

ALAPOHJAT µg/m ³	ASUNTO 1 ap1	ASUNTO 1 ip1	ASUNTO 4 ap1	ASUNTO 4 ip1	ASUNTO 5 ap1	ASUNTO 5 ip1
HALOGENOIDUT						
1,1,1-Trikloorietaani	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4
Trikloorieteeni	ei tod.	0,2	ei tod.	0,2	0,3	0,5
Tetrakloorieteeni	ei tod.	0,2	0,2	0,1	0,2	ei tod.
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,4-Diklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
AROMAATTISET						
Bentseeni	0,8	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3
Tolueeni	0,9	0,8	0,7	0,8	0,3	0,3
Etyylibentseeni	0,6	0,9	1,0	0,9	1,1	1,2
1,4-Ksyleeni	1,1	0,9	1,1	1,2	0,4	0,3
Styreeni	0,3	0,5	0,8	0,7	0,8	0,7
1,2-Ksyleeni	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2
Propyylibentseeni	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	ei tod.
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Naftaleeni	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	ei tod.
1-Metyylinaftaleeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
Bifenyylä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,1	ei tod.
Fenoli	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
ALIFAATTISET/SYKLISET						
Heptaani	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7
Oktaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,4	ei tod.	ei tod.
Nonaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Dekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Undekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Dodekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Tridekaani	0,3	0,3	0,3	ei tod.	0,5	0,3
Tetradekaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Pentadekaani	ei tod.	0,2	0,2	ei tod.	0,3	ei tod.
Heksadekaani	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,1
Metyylisykloheksaani	0,5	0,5	0,2	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Propyylisykloheksaani	0,6	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TERPEENIT						
alfa-Pineeni	1,0	1,0	1,8	1,8	0,7	0,7
delta-3-Kareeni	0,6	0,4	0,5	0,2	0,6	0,6
Limoneeni	0,5	0,1	ei tod.	0,4	ei tod.	ei tod.
Kamferi	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,4	0,1
ALDEHYDIT						
Heksanaali	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,7	ei tod.	ei tod.
Oktaanaali	0,9	0,7	0,7	0,7	0,3	0,5
Nonanaali	1,6	0,8	1,8	0,7	ei tod.	1,6
Furfuraali	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Bentsaldehydi	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
MUUT						
1-Pentanolä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Butyyliasetaatti	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1-Asetoksi-2-etoksietaanä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
6-Metyyli-5-hepten-oni	0,6	0,9	0,5	0,6	0,4	0,3
2-Etoksietanolä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TXIB	0,1	0,1	0,3	0,2	0,7	0,2
TVOC (summa)	12,5	12	13,5	13	9,6	9,5

LIITE 5 9(9)
Keskimääräiset VOC-pitoisuudet noin 3 viikon ajanjaksolta

PASSIIVIKERÄIN- TULOKSET µg/m ³	ASUNTO 1 Olohuone	ASUNTO 1 LVI- asennus- hormi	ASUNTO 2 Olohuone	ASUNTO 3 Olohuone	ASUNTO 4 Olohuone	ASUNTO 5 Olohuone	ASUNTO 6 Olohuone	ASUNTO 7 Olohuone
HALOGENOIDUT								
Trikloorieteeni	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3
Tetrakloorieteeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	1,0	ei tod.	ei tod.	0,7	ei tod.
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Klooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,4-Diklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	1,8	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
2,4-Diklooritolueeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
1,2,4-Triklooribentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
AROMAATTISET								
Bentseeni	1,9	1,5	1,8	1,7	1,7	6,3	7,3	2,0
Tolueeni	8,1	2,7	7,3	4,5	3,8	15	27	14
Etyylibentseeni	2,7	16	1,0	1,1	0,2	2,4	1,4	1,9
1,4-Ksyleeni	4,0	21	2,2	2,9	5,9	15	13	6,3
Styreeni	2,7	10	<1,2	<1,2	0,1	2,1	1,4	<1,2
1,2-Ksyleeni	1,4	6,7	1,0	1,2	1,9	3,8	2,9	2,1
Propyylibentseeni	0,4	0,7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,6
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5	0,7
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,3,5-Trietyylibentseeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Naftaleeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	<0,7	<0,7	ei tod.
1-Metyyli-naftaleeni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Bifenyylä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Fenoli	ei tod.	ei tod.	<1,4	<1,4	<1,4	2	1,9	ei tod.
ALIFAATTISET/SYKLISET								
Heptaani	2,2	6,4	1,0	29	1,0	1,8	4,9	2,0
Oktaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	1,6	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
Nonaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	2,5
Dekaani	0,5	ei tod.	ei tod.	3,1	<0,5	1,4	2,0	12
Undekaani	0,6	ei tod.	0,5	2,3	0,6	1,4	1,4	26
Dodekaani	<0,7	ei tod.	<0,7	<0,7	<0,7	1,2	1,0	20
Tridekaani	1	ei tod.	<0,3	0,5	0,4	0,8	0,6	5,7
Tetradekaani	1,3	0,7	0,6	0,8	1	1,9	0,9	1,4
Pentadekaani	1,1	1,4	0,8	0,7	1,5	2,1	1,0	1,6
Heksadekaani	1,3	0,9	0,8	0,9	1,2	1,3	0,8	1,4
Metyylisykloheksaani	1,2	3,8	0,5	24	0,7	26	3,7	1,2
Propyyllisykloheksaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,4	ei tod.	ei tod.	<0,2	0,6
TERPEENIT								
alfa-Pineeni	11	5,8	14,0	4,7	11	4,6	2,1	11
delta-3-Kareeni	4,4	2,1	4,3	1,3	4,4	1,3	0,9	3,7
Limoneeni	16	3,7	9,0	66	22	50	8,0	146
Kamferi	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5
ALDEHYDIT								
Heksanaali	53	13	40,0	44	44	36	26,0	61
Oktanaali	2,8	1,2	ei tod.	2,7	ei tod.	1,4	1,9	12
Nonanaali	2,9	ei tod.	2,8	2,3	1,6	1,6	<1,6	3,2
Furfuraali	ei tod.	ei tod.	ei tod.	<0,9	ei tod.	2,7	4,5	<0,9
Bentsaldehydi	ei tod.	1,4	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
MUUT								
1-Pentanolä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	0,9	0,7	0,9	<0,6	3,4
Butyyliasetaatti	2,4	ei tod.	0,9	15	<0,5	0,7	<0,5	1,8
1-Asetoksi-2-etoksietaaani	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
6-Metyyli-5-hepten-oni	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
2-Etoksietanolä	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.
TXIB	76	5,9	46	65	65	50	47,0	56
Nikotiini	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	ei tod.	<6,2	ei tod.
TVOC (summa)	199,2	195,2	135,0	279,1	170,1	243,3	163,2	401,9

LIITE 6

Ammoniakkimittaustulokset

- 1(2) Asuntojen 1, 2, 3 ja 4 ammoniakkimittaustulokset
- 2(2) Asuntojen 5, 6 ja 7 ammoniakkimittaustulokset

LIITE 6 1(2)
Ammoniakkimittaustulokset

Asunto 1		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		17.11.1997	17.11.1997	19.11.1997	19.11.1997
Näytteenottoaika		10.02-11.42	13.11-14.51	9.43-11.23	11.50-13.30
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	41	41	27	31
Suht. kosteus	%	23	29	29	28
Lämpötila	°C	23,7	23,7	23,9	23,9
<i>Lasten makuuhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	42	34	32	27
Suht. kosteus	%	21	27	27	27
Lämpötila	°C	23,9	23,9	23,9	23,9
Asunto 2					
		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		18.11.1997	18.11.1997	20.11.1997	20.11.1997
Näytteenottoaika		10.15-11.55	12.15-13.55	9.57-11.37	12.07-13.57
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	23	18	18	25
Suht. kosteus	%	29	28	29	29
Lämpötila	°C	21,9	21,6	22,3	22,3
<i>Lasten makuuhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	17	17	16	19
Suht. kosteus	%	27	27	28	29
Lämpötila	°C	22,1	21,9	22,3	22,3
Asunto 3					
		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		18.11.1997	18.11.1997	20.11.1997	20.11.1997
Näytteenottoaika		10.21-12.01	12.10-13.50	10.10-11.50	12.10-13.50
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	23	21	18	17
Suht. kosteus	%	28	29	32	32
Lämpötila	°C	21,4	21,3	21,5	21,5
<i>Lasten makuuhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	17	16	12	12
Suht. kosteus	%	26	27	32	32
Lämpötila	°C	21,6	21,6	21,5	21,5
Asunto 4					
		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		1.12.1997	1.12.1997	3.12.1997	3.12.1997
Näytteenottoaika		10.30-12.00	12.11-13.51	10.10-11.50	12.05-13.45
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	26	24	27	29
Suht. kosteus	%	25	25	23	21,5
Lämpötila	°C	22,7	22,7	-	-
<i>Lastenhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	19	24	21	24
Suht. kosteus	%	26	25	22,5	22,5
Lämpötila	°C	22,7	22,7	22,5	22,5

LIITE 6 2(2)
Ammoniakkimittaustulokset

Asunto 5		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		25.11.1997	25.11.1997	27.11.1997	27.11.1997
Näytteenottoaika		9.58-11.38	11.45-13.25	9.51-11.31	11.40-13.20
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	159	155	163	134
Suht. kosteus	%	32	32	29	29
Lämpötila	°C	24,4	24,4	24,3	24,3
<i>Lasten makuuhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	193	186	218	185
Suht. kosteus	%	32	32	30	30
Lämpötila	°C	24,4	24,4	24,5	24,5
Asunto 6					
		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		24.11.1997	24.11.1997	26.11.1997	26.11.1997
Näytteenottoaika		10.17-11.57	12.23-14.03	10.10-11.55	12.10-13.50
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	103	105	85	85
Suht. kosteus	%	43	43	28	28
Lämpötila	°C	23,4	23,4	22,8	22,8
<i>Makuuhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	76	104	71	69
Suht. kosteus	%	47	47	29	29
Lämpötila	°C	24,0	24,0	22,8	22,8
Asunto 7					
		ap1	ip1	ap2	ip2
Pvm		24.11.1997	24.11.1997	26.11.1997	26.11.1997
Näytteenottoaika		10.05-11.45	12.17-13.57	10.00-11.40	12.15-13.55
<i>Olohuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	32	24	25	27
Suht. kosteus	%	48	-	44	44
Lämpötila	°C	22,2	-	21,6	21,6
<i>Lasten makuuhuone</i>					
NH ₃ -pit.	µg/m ³	33	31	25	30
Suht. kosteus	%	45	-	41	41
Lämpötila	°C	22,3	-	21,6	21,6

LIITE 7 1(1)
Kaikkien asuntojen formaldehydimittaustulokset

LIITE 7

Kaikkien asuntojen formaldehydimittaustulokset

Mittauskohde	Mittauspäivä	Formaldehydipitoisuus/ mg/m ³
Asunto 1	20.11.1997	0,03
Asunto 2	20.11.1997	0,03
Asunto 3	20.11.1997	0,03
Asunto 4	20.11.1997	0,04
Asunto 5	27.11.1997	0,05
Asunto 6	27.11.1997	0,05
Asunto 7	27.11.1997	0,03

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1998

1. *Pakkala T, Tiainen J, Pitkänen M. Helsingin lintuatlas. Pesimälinnusto 1996 - 97*
2. *Vuori T (toim). Katsaus Helsingin ympäristön tilaan 1998*
3. *Mikkola-Roos M, Oesch T. Viikki-Vanhankaupunginlahti. Ekologinen tila, kunnostus- ja hoitosuunnitelma*
4. *Pesonen L (toim). Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 1997*
5. *Pönkä A, Saari S, Hämäläinen M-R, Janatuinen P, Mattila K, Holopainen M. Kaupunkilaisten näkemys ympäristöterveydenhuollon merkityksestä ja järjestämisestä Helsingissä*
6. *Ruth O. Mätäjoki - nimeään parempi. Kaupunkipuron virtaama, aineskuljetus ja veden laatu sekä valuma-alueen virkistyskäyttö*
7. *Ketola T. Veden laatu ja ainekuljetus Mellunkylänpurossa, Itä-Helsingissä*
8. *Levonen L, Kurtto A, Seimola T. Helsingiläisten Harakka 10 vuotta*
9. *Partanen T, Ahonen S, Aminoff I, Haglund B, Jämsen P, Siltanen I, Weber T, Pönkä A. Päiväkoti-ikäisten lasten ravinnonsaanti päiväkodissa ja kotona*
10. *Pyy V, Lyly O. PCB elementtitalojen saumausmassoissa ja pihojen maaperässä*
11. *Viljanen M, Kettunen A-V, Makkonen M, Kangas R, Järnefelt P. Rakenneratkaisut ja sisäilman laatu. 1990-luvun asuinkerrostalotutkimus*
12. *Pellikka K, Viljamaa H. Eläinplankton Helsingin merialueella vuosina 1969 - 1996*
13. *Pönkä A, Pitkälä A, Aminoff I, Kalso S. Jauhelihan laatu helsinkiläisissä vähittäismyymälöissä*

KUVAILULEHTI				
Tekijä(t) <i>Martti Viljanen, Ari-Veikko Kettunen, Mari Makkonen, Riikka Kangas, Päivi Järnefelt</i>				
Nimike <i>Rakenneratkaisut ja sisäilman laatu. 1990-luvun asuinkerrostalotutkimus</i>				
Julkaisija	Julkaisu-aika	Sivumäärä	Litteet	
<i>Helsingin kaupungin ympäristökeskus</i>	<i>1998</i>	<i>59</i>	<i>7</i>	
Sarjan nimike		Osanumero		
<i>Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja</i>		<i>11/98</i>		
ISSN-numero	Kieli			
<i>1235-9718</i>				
ISBN-numero	Koko teos	Tiivistelmä	Taulukot	Kuvatestit
<i>951-718-176-0</i>	<i>fin</i>	<i>fin, swe</i>	<i>fin</i>	<i>fin</i>
Avainsanat <i>sisäilma, asumisterveys, rakennusfysiikka, ammoniakki, VOC-yhdisteet, formaldehydi, mikrobit</i>				
Lisätietoja <i>Ari-Veikko Kettunen, p. (09) 451 3712, sähköposti ari-veikko.kettunen@hut.fi Teknillinen korkeakoulu, PL 2100, 02015 TKK Markku Viinikka, p. (09) 7312 2756, sähköposti markku.viinikka@ymk.hel.fi Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinginkatu 24, 00530 Helsinki</i>				