



# Sisäilman VOC-arvot

Ehdotus sisäilman haihtuvien orgaanisten  
yhdisteiden viitearvoiksi

*Olavi Lyly*





Olavi Lyly

SISÄILMAN VOC-ARVOT  
Ehdotus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden viitearvoiksi

ISSN 1235-9718  
ISBN 951-718-249-X

Helsingin kaupungin ympäristökeskus  
Helsinki 1999

# Sisällys

<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>2</b>
<b>SAMMANDRAG</b> .....	<b>3</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>4</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
1.1 Ohje- ja tavoitearvot.....	5
1.2 Selvityksen tarkoitus .....	6
<b>2 AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>7</b>
2.1 Näytteidenotto- ja analysointimenetelmät .....	7
2.2 Tulosten laskenta.....	7
2.2.1 Yhdistekohtaiset tulokset .....	8
2.2.2 Menetelmien vertailu ja TVOC-pitoisuus .....	8
2.2.3 Viitearvojen määrittäminen.....	8
<b>3 TULOKSET</b> .....	<b>8</b>
3.1 Orgaanisten yhdisteiden pitoisuus asuntojen sisäilmassa .....	8
3.2 MS1- ja MS2-menetelmillä saatujen tulosten vertailu.....	10
3.3 Viitearvot .....	10
3.4 VOC- ja TVOC-pitoisuudet .....	11
<b>4 TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>11</b>
4.1 Yhdistekohtaiset tulokset .....	11
4.2 Viitearvot .....	12
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>13</b>
<b>6 LÄHTEET</b> .....	<b>14</b>

## Yhteenveto

Helsingin kaupungin ympäristökeskus selvitti vuosina 1992 ja 1994 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuusmittausten käyttökelpoisuutta asuntojen sisäilman laaduntarkastukseen. Tuolloin määritettiin viidenkymmenen ns. terveen asunnon haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keskipitoisuudet. Niitä on käytetty viitearvoina arvioitaessa, ovatko ns. valitus-asunnoista mitatut pitoisuudet kohonneita ja siten mahdollisesti terveystahaitta aiheuttavia. Valitusasuntojen asukkaat kokevat terveystahaittoja, jotka aiheutuvat mahdollisesti huonosta sisäilmasta.

Ympäristökeskuksen laboratoriossa sisäilman VOC-pitoisuus määritetään joko lyhytkestoiseen, 30 minuutin näytteenottoon perustuvalla aktiivikeräinmenetelmällä tai kuukauden mittaiseen näytteenottojaksoon perustuvalla passiivikeräinmenetelmällä. Tämän selvityksen tarkoituksena on esittää kummallakin menetelmällä mitatuille VOC-yhdisteiden funktionaalisille ryhmille viitearvot, jotka pohjautuvat helsinkiläisistä asunnoista sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi tehtyihin mittauksiin.

Vertaamalla yksittäisestä mittauksesta saatuja tuloksia viitearvoihin voidaan tarkastettavan asunnon ilmanlaatu luokitella yhdisteryhmä kerrallaan laatuasteikolla. Asteikkoa voidaan käyttää myös yhdisteiden mitatun kokonaispitoisuuden,  $\Sigma$ VOC-arvon, luokitteluun. Työläästä yhdistekohtaisten pitoisuuksien tarkastelusta voidaan tällöin suurelta osin luopua ja keskittää se niihin yhdisteisiin, joiden ryhmäkohtainen pitoisuus on kohonnut.

Selvityksessä todettiin, että samoista asunnoista eri menetelmin määritetyt VOC-pitoisuudet eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Siksi viitearvot tuotettiin menetelmäkohtaisesti.

Yhdistekohtaiset viitearvot määritettiin käyttäen ohjearvotasona yhdisteiden mediaanipitoisuutta ja normaalitasona keskiarvopitoisuutta. Aktiivimenetelmän viitearvot vastaavat pääosin aiemmin käytössä olleita.

Ryhmäkohtaiset viitearvot laskettiin yhdistekohtaisten arvojen perusteella käyttäen neliporista luokitusta. Paras luokka vastaa ohjearvotasoa. Se asetettiin ryhmäkohtaisten mediaanipitoisuuksien tasolle. Sen saavuttamisen katsottiin olevan mahdollista useimmissa asunnoissa, koska joka toisesta asunnosta mitattu arvo oli tätä pienempi. Heikoin luokka vastaa raja-arvotasoa. Sen ylityessä ei sisäilmasta johtuvaa terveystahaittaepäilyä voida kumota, vaan on ryhdyttävä toimiin päästölähteiden selvittämiseksi ja ilmanlaadun parantamiseksi.

Asunnoista määritettyjen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien summa,  $\Sigma$ VOC, edusti aktiivimenetelmää käytettäessä keskimäärin 34 % yhdisteiden arvioidusta kokonaispitoisuudesta eli TVOC-arvosta. Passiivimenetelmää käytettäessä edustavuus oli 57 %.  $\Sigma$ VOC-arvon katsottiin olevan käyttökelpoinen sisäilman laadun indikaattori, kun sitä käytetään yhdessä TVOC-arvon ja ryhmäkohtaisten viitearvojen kanssa.

Johtopäätöksinä esitetään, että ei ole aiheellista pyrkiä kovin pysyviin viitearvoihin, koska kotitalouskemikaalien koostumuksessa ja käyttötottumuksissa sekä huoneistoihin emittoivien pinnoite- ja päällystemateriaalien koostumuksessa tapahtuvat muutokset muuttavat sisäilman VOC-yhdisteiden koostumusta ja pitoisuutta. Viitearvojen tulee seurata sisäilmaston tervettä muutosta.

Ilmastollisista eroista seuraa, että sisäilman laadun merkitys on Suomessa huomattavasti keskeisempi asumisterveystekijä kuin Euroopassa keskimäärin. Kehittämällä nykyistä VOC-mittauskäytäntöä siten, että otetaan korostuneesti huomioon uusin pohjoismainen tietämys ja soveltuvin osin EU:n työryhmän suositukset, voidaan Helsingin asukkaita palvella parhaiten.

## Sammandrag

För att utreda användbarheten av uppmätta halter flyktiga organiska föreningar (VOC) för kvalitetsgranskning av inomhusluften i bostäderna kartlade Helsingfors stads miljöcentral de under åren 1992 och 1994 uppmätta halterna. Medelhalterna flyktiga organiska föreningar i femtio sk. friska bostäder bestämdes. Medelhalterna har använts som referensvärden då man evaluerat om uppmätta halter i sk. besvärshärbostäder är förhöjda och kan förorsaka hälsorisk. De som bor i sk. besvärshärbostäder upplever hälsorisker som möjligen beror på dålig inomhusluft.

Vid Helsingfors stads miljöcentral bestäms VOC-halterna i inomhusluft antingen genom kortvarig provtagning som baserar sig på en aktiv samlarmetod eller på en metod som baserar sig på en enmånads provtagningsperiod med passiv samlare. Syftet med denna utredning är att framställa referensvärden för VOC-föreningarnas funktionella grupper som uppmätts genom båda metoderna. Referensvärdena grundar sig på mätningar som gjorts i helsingforslägenheter för att utreda inomhusluftproblemet.

Genom att jämföra resultaten från enskilda mätningar med referensvärdena kan man på kvalitets-skalan klassificera den under inspektion varande bostadens inomhusluft en föreningsgrupp åt gången. Skalan kan användas även då man klassificerar föreningarnas uppmätta totalhalt. Man kan till en stor del avstå från den arbetsamma granskningen av enskilda föreningar och koncentrera sig på de föreningar vilkas grupphalter har stigit.

I utredningen konstaterade man att de i samma bostäder med olika metoder bestämda VOC-halterna inte är jämförbara. Därför togs referensvärdena fram enligt metoden.

Referensvärdena för de enskilda föreningarna bestämdes genom att använda föreningarnas medianhalt som riktvärdesnivå och medelhalten som normalnivå. Aktivmetodens referensvärdet motsvarar till största delen de som tidigare varit i bruk.

Referensvärdena för de enskilda grupperna beräknades enligt de enskilda föreningarna genom att använda en fyrstegs klassificering. Den bästa klassen motsvarar riktvärdesnivån. Den ställdes på nivån för de enskilda gruppernas medianhalter. Att uppnå detta ansågs möjligt i de flesta bostäder, då de uppmätta värdena i varannan bostad var lägre. Den svagaste klassen motsvarar gränsvärdesnivån. Då den överstigs kan man inte omkullkasta misstankar om inomhusluftens hälsorisk, utan man måste skrida till åtgärder för att utreda emissionskällorna och därmed förbättra luftens kvalitet.

Summan av halterna flyktiga organiska föreningar som bestämts i bostäderna, representerade i medeltal 34% av föreningarnas utvärderade helhetshalt eller TVOC-värde då man använde aktivmetoden. Då man använder passivmetoden var representativiteten 57%. Summa VOC-värdet ansågs vara en användbar indikator för inomhusluftens kvalitet då den används samtidigt med TVOC-värdet och de gruppenliga referensvärdena.

Som konklusion framförs, att det inte finns orsak att sträva till mycket fasta referensvärden då det i sammansättningen av hushållskemikalier och användningen av dessa samt i sammansättningen av emissionerna från ytbeläggningar och beklädningsmaterial sker förändringar och därmed förändrar inomhusluftens VOC-föreningar deras sammansättning och halter. Referensvärdena bör följa inomhusklimatets friska förändring.

Av skillnader i klimatet följer att inomhusluftens kvalitet och dess betydelse i Finland är av en betydligt centralare vikt än i Europa i medeltal. Man kan på bästa möjliga sätt tjäna Helsingforsborna genom att utveckla nuvarande VOC-mätpraxis så att man på ett framstående sätt tar i beaktande den nyaste nordiska kunskapen och dels tillämpar EU-arbetsgruppens rekommendationer.

## Summary

In 1992 and 1994, City of Helsinki Environment Centre investigated the applicability of measurement results of volatile organic compound (VOC) concentrations for the purposes of indoor air quality in residential buildings. The average concentrations of volatile organic compounds in 50 so-called healthy buildings were determined at the time. These values have been utilised as reference values in the assessment of reported cases of complaints with respect to whether the concentrations in the residences concerned were higher than normal and potentially harmful to the occupants' health. Occupants of the said residences have suffered from adverse health effects possibly caused by poor quality of indoor air.

In the laboratory of the Environment Centre, the VOC concentrations in indoor air are determined either by using a short-term method of active collection based on a sampling of 30 minutes, or a passive method based on a month-long sampling period. The purpose of this investigation is to produce reference values for the functional groups of VOCs measured with both methods based on measurements that have been conducted in residences in Helsinki in order to solve problems related to indoor air.

By comparing the results of individual measurements to the reference values, the quality of indoor air in the residence under investigation can be classified on a quality scale by compound group. The scale can also be applied to the classification of the measured total volatile organic compounds,  $\Sigma$ VOC. The laborious examination of compound-specific concentrations can then be discontinued and examinations can be concentrated on compounds with an increased group-specific concentration.

The results of the investigation show that VOC concentrations measured in the same residences using different methods are not mutually comparable. Therefore, the reference values were produced individually for each method.

Compound-specific reference values were determined by using the median concentration of compounds as the guideline value level and their average concentration as the standard level. The reference values of the active method mainly correspond to the values applied previously.

The group-specific reference values were calculated on the basis of compound-specific values by using a four-stepped classification. The best category corresponds to the guideline value level of indoor air quality. It was set at the level of group-specific median concentrations. It was considered to be achievable in most residences, because the value measured in every other residence was lower than this value. The poorest category corresponds to the threshold value level. If the threshold level is exceeded, adverse health effects caused by indoor air are possible, and action must be taken to identify the sources of emissions and to improve the quality of air.

$\Sigma$ VOC, the sum total of concentrations of volatile organic compounds determined in the residences, represented, on average, 34% of the estimated total concentration of compounds, or the TVOC value, when measured using the active method. In the passive method, the corresponding figure was 57%. The  $\Sigma$ VOC value was considered a valid indicator of indoor air quality when applied together with the TVOC value and group-specific reference values.

In conclusion, the investigation showed that there is no justification for pursuing permanent reference values, as changes in the composition of household chemicals and their consumption habits and in the composition of coating and surface materials emitting into residences alter the composition and concentration of VOCs in indoor air. Reference values should reflect a healthy change in the indoor climate.

Owing to climatic differences, the significance of indoor air quality in Finland is considerably more essential in terms of the occupants' health and comfort than in Europe on average. People living in Helsinki can best be served by developing the present measurement procedure of VOCs in such a way that the most recent Nordic know-how is taken into consideration together with the recommendations of the EU working group as applicable.

# 1 Johdanto

## 1.1 Ohje- ja tavoitearvot

Maailman Terveysjärjestö on vuonna 1987 arvioinut kattavasti 12 *haihtuvaa orgaanista yhdistettä (VOC)*<sup>a</sup> tai yhdisteryhmää ja asettanut niiden pitoisuuksille asuntojen sisäilmassa ohjearvot<sup>1</sup>. Syöväälle altistaville aineille, kuten bentseenille, ei ohjearvoa määritetä, koska niiden esiintymistä sisäilmassa ei pieninäkään pitoisuuksina pidetä hyväksyttävänä. Uusia ohjearvoja ei toistaiseksi ole odotettavissa, koska pitoisuusmittauksia tehdään monin eri menetelmin, jotka eivät ole keskenään vertailukelpoisia<sup>2</sup>.

Lääkintöhallituksen asuntojen sisäilmaa koskevassa ohjeessa vuodelta 1990 todettiin, että työaltistuksessa saatavien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitkän ajan (8 h) HTP-arvon eli haitalliseksi tunnetun pitoisuuden kymmenesosaa voidaan käyttää suuntaa-antavana arvioitaessa asuntojen sisäilman laatua. Ohjeessa esitetään varauksina, että pitkästä altistusajasta ja tavanomaista herkemmin altistuvista henkilöryhmistä, kuten lapsista ja vanhuksista, johtuen arvot voivat olla asuinkäyttöön liian korkeita.<sup>3</sup>

HTP-arvot ovat jatkuvan arvioinnin kohteena, ja niitä uudistetaan tarpeen mukaan<sup>4</sup>. Nykyiset arvot ovat vuodelta 1998<sup>5, 6</sup>. Lääkintöhallituksen ohjeen antamisen jälkeen HTP-arvojen käyttökelpoisuus yksittäisten yhdisteiden vaikutusten ja haitallisuuden arvioinnissa on tarkentunut ja parantunut merkittävästi.

Helsingin kaupungin ympäristökeskus selvitti vuosina 1992 ja 1994 VOC-mittausten käyttökelpoisuutta asumisterveyttä koskevien tarkastusten apuna<sup>7, 8</sup>. Jälkimmäisessä selvityksessä julkaistuja, 50 ns. terveestä asunnosta mitattuja, yhdistekohtaisia keskipitoisuuksia on sittemmin käytetty vertailuarvoina arvioitaessa, ovatko ns. valitusasunnoista mitatut pitoisuudet kohonneita ja siten mahdollisesti terveyshaittaa aiheuttavia.  $\Sigma$ VOC-arvon mediaani oli kyseisessä aineistossa 121  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sisäilmayhdistys laati yhdessä Rakennuttajaliiton, Arkkitehtiliiton ja Konsulttitoimistojen liiton kanssa vuonna 1995 sisäilmastolle eli asuinhuoneiden fysikaalisille ja kemiallisille muuttujille kolmiluokkaisen tavoitearvoston<sup>9</sup>. TVOC-arvon tavoitearvoiksi asetettiin 200, 300 ja 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tarpeelliseksi osoittautunut, myös rakennustyöt ja pintamateriaalit kattava luokitus on tarkistettavana.

Sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeessa<sup>10</sup> vuodelta 1997 annettiin joillekin sisäilman kaasu- ja hiukkasmaisille aineille ja yhdisteille terveyshaitan raja-arvot. Tällaisia aineita ja yhdisteitä ovat muun muassa ammoniakki, asbesti, formaldehydi, hiilidioksidi, häkä, radon ja styreeni. VOC-yhdisteistä todettiin, että niiden kokonaispitoisuuden ollessa epätavallisen korkea, yli 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tulisi yksittäisten aineiden päästölähteet selvittää.

Sisäilmaohjeen täydennykseksi laaditussa Asumisterveysoppaassa<sup>11</sup> vuodelta 1997 annettiin VOC-yhdisteiden mittaamista ja tulosten tulkintaa koskevia ohjeita. Niiden mukaan tavanomaisena kokonaispitoisuutena voidaan pitää pitoisuutta 200 - 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enimmäispitoisuutena pitoisuutta 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

---

<sup>a</sup> Haihtuvista orgaanisista yhdisteistä käytetään lyhennettä VOC (Volatile Organic Compounds). Tässä selvityksessä lyhenteellä  $\Sigma$ VOC tarkoitetaan sisäilmanäytteestä mitattujen yhdisteiden pitoisuuksien summaa ja lyhenteellä TVOC (Total Volatile Organic Compounds) arviota mitattujen ja kyseisessä näytteessä olevien muiden VOC-yhdisteiden kokonaismäärästä.



## 1.2 Selvityksen tarkoitus

Helsingin kaupungin ympäristönsuojelun tavoite- ja toimenpideohjelmassa vuosille 1994 - 1998 asetettiin keskeisimmäksi asumisterveyden parantamisen tavoitteeksi VOC-yhdisteistä aiheutuvien haittojen vähentäminen yhdessä kosteus- ja homehaittojen vähentämisen kanssa.<sup>12</sup>

VOC-mittaukseen ryhdytään, kun tarkastettavan asunnon ilmanlaadun mahdollisen heikkenemisen syynä ei ole puutteellinen ilmanvaihto, havaittava kosteus- ja homevaurio tai muu vastaava, osoitettavissa oleva seikka. Joidenkin yhdisteiden, kuten limoneenin ja heksanaalin, hajukynnysarvo on niin alhainen, että aistinvaraiset havainnot saattavat tukea mitauspäätöksen tekoa.

$\Sigma$ VOC-arvon käyttö sisäilman laadun arvioinnissa ei anna riittävää kuvaa VOC-yhdisteiden tasosta. Jonkin yhdisteen pitoisuus saattaa olla suurestikin kohonnut ilman, että se juurikaan heijastuu yhdisteiden kokonaispitoisuuteen. Toisaalta yksittäisiä yhdisteitä mitataan niin monia, että tuloksen tarkastelu ja johtopäätösten teko yhdistekohtaisten pitoisuuksien kautta vie käytännön asunnontarkastustyöltä runsaasti resursseja.

Yhdistekohtaisten tulosten tulkinta on hankalaa, koska eri yhdisteiden pitoisuudet suhteessa niiden aiheuttamaan haittaan eivät ole keskenään vertailtavissa. Yksi yhdiste aiheuttaa terveyshaittaa pieninä, toinen vasta suurina pitoisuuksina. Yhdistekohtainen tarkastelu ei myöskään ota huomioon eri yhdisteiden mahdollisia synergistisiä vaikutuksia<sup>13</sup>.

Yksittäisten VOC-yhdisteiden ja  $\Sigma$ VOC-arvon välille voidaan laskea funktionaalisten VOC-yhdisteryhmien arvoja. Niiden käyttöä on esitetty mitattujen VOC-pitoisuuksien haitallisuuden arviointiprosessin rationalisoimiseksi<sup>13</sup>.

Helsingin ympäristökeskuksessa VOC-yhdisteiden pitoisuutta mitataan joko *MS1- tai MS2-menetelmällä*<sup>b</sup>. Tämän selvityksen tarkoituksena on esittää näillä menetelmillä mitatuille haihtuville orgaanisille yhdisteille sellaiset yhdisteryhmittäiset *viitearvot*<sup>c</sup>, jotka pohjautuvat ympäristökeskuksen helsinkiläisissä asunnoissa sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi tekemiin mittauksiin.

Tavoitteena on, että vertaamalla yksittäisestä mittauksesta saatuja tuloksia viitearvoihin voidaan tarkastettavan asunnon ilmanlaatu määrittää yhdisteryhmä kerrallaan selkeällä laatuasteikolla. Samaa asteikkoa tulee voida käyttää myös  $\Sigma$ VOC-pitoisuuden kvalifiointiin. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksien tarkastelusta voidaan tällöin suurelta osin luopua ja keskittää se niihin yhdisteisiin, joiden ryhmäkohtainen pitoisuus on kohonnut.

Tarkoituksena on tuottaa myös MS1- ja MS2-menetelmillä mitatuille yhdisteille yhdistekohtaiset, asunnontarkastuksen tuottamaan reaaliaineistoon perustuvat viitearvot. Ne on tarkoitettu korvaamaan aiemmin vain MS1-menetelmällä määritetyille pitoisuuksille esitetyt normaalipitoisuusarvot<sup>8</sup>.

Selvitys on tarkoitettu asuntojen sisäilman laatuun liittyvissä tehtävissä työskentelevien käyttöön.

<sup>b</sup> MS1-lyhennettä käytetään Tenax TA -aktiivikeräinmenetelmästä, MS2-lyhennettä 3M 3500/20 -passiivikeräinmenetelmästä.

<sup>c</sup> Viitearvot ovat ilmanlaadun ohje- ja raja-arvojen tapaan käytettäviä vertailuarvoja. Niiden käyttö perustuu ympäristökeskuksen laatujärjestelmään. Kostiaisen ym.<sup>8</sup> esittämät haihtuvien orgaanisten yhdisteiden normaalipitoisuudet MS1-menetelmän näytteille ovat aiemmin esitettyjä viitearvoja.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Selvityksen aineisto koostuu niistä asuntojen sisäilmanäytteiden mittaustuloksista, jotka Helsingin kaupungin ympäristölaboratorio on tuottanut ympäristövalvontayksikön pyynnöstä, ja joissa laboratorion ilmoituksen mukaan on käytetty MS1- tai MS2-menetelmää.

Aineisto sisältää myös niiden, pääosin vuodelta 1996 olevien näytteiden tulokset, joissa analyysimenetelmänä on varmuudella ollut MS2, vaikka menetelmää ei ollut ilmoitettu tulosteessa. Käytetty menetelmä voitiin todentaa mittaustuloksen tulostusformaattista.

Mittaustulokset tallennettiin maaliskuu- ja marraskuussa 1998. Rajauksista johtuen aineisto käsittää 11.3.1996 - 31.10.1998 välisenä aikana ympäristövalvontayksikölle toimitetut mittaustulokset, yhteensä 252 sisäilmanäytettä. Lukuun sisältyy 36 näytettä, jotka on otettu sisäilmatutkimushankkeiden yhteydessä seitsemästä eri asunnosta. Näistä näytteistä seitsemän oli MS2-näytettä, yksi kustakin asunnosta, ja 29 MS1-näytettä. Niistä 22 oli toistonäytteitä.

Viitearvojen määrittämistä varten kerätty perusaineisto käsitti 103 MS1- ja 127 MS2-näytettä. 36 tutkimushankenäytettä muodostivat MS1- ja MS2-menetelmien vertailua varten kootun osa-aineiston. Tutkimushankenäytteiden ensimmäisen näytteenottokerran tulokset ovat mukana perusaineistossa. Muista poiketen tutkimushankenäytteet eivät olleet peräisin asukkaissa mahdollisia sisäilmaoireita aiheuttaneista valitusasunnoista.

### 2.1 Näytteidenotto- ja analysointimenetelmät

MS1-menetelmä perustuu lyhytkestoiseen näytteenottoon, jossa tarkastettavan asunnon ilmaa imetään Tenax-hartsia adsorbentilla täytetyn putken läpi puolen tunnin ajan. Kaasumaiset yhdisteet pidäytyvät adsorbentin pinnalle. Laboratoriossa yhdisteet vapautetaan adsorbentista kuumentamalla ja määritetään kaasukromatografi-massaspektrometrisesti.

MS2-menetelmässä asuntoon asetetaan aktiivihiiliadsorbenttia sisältävä keräin. Noin kuukauden näytteenottojakson ajan asunnon ilmasta diffundoituu epäpuhtauksia keräimeen. Laboratoriossa yhdisteet uutetaan keräimestä liuottimeen, josta ne määritetään kaasukromatografi-massaspektrometrisesti.

### 2.2 Tulosten laskenta

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden yhdistekohtainen määrittämissuoritustaso vaihtelee analyysilaitteiston herkkyuden ja kaasukromatografian kolonnin kunnon mukaan. Mikäli yksittäistä yhdistettä ei näytteessä ollut tai sen pitoisuus oli alhaisempi kuin tunnistamiseen tarvittava detektoriraja, merkittiin pitoisuus nolaksi. Samoin meneteltiin, kun yhdisteen pitoisuus jäi määrittämissuoritustasoa pienemmäksi.

Yhdisteet ryhmiteltiin EU:n työryhmän suositusten mukaisesti toiminnallisiin ryhmiin<sup>14</sup>. Niiksi valittiin Seifertin ehdotuksen mukaisesti<sup>13</sup> aromaattiset yhdisteet, alkaanit, terpeenit, karbonyylit, halogenoidut yhdisteet, esterit ja ryhmä ”muut yhdisteet”. 2-Etyyli-1-heksanolin määrittäminen ympäristölaboratoriossa alkoi keväällä 1998, mikä otettiin huomioon tunnuslukuja laskettaessa.

### 2.2.1 Yhdistekohtaiset tulokset

Yhdistekohtaisiksi tunnusluvuiksi valittiin mediaani, keskiarvo, keskihajonta ja vaihtelukerroin. Vaihtelukertoimet ja niiden keskiarvo laskettiin niiden yhdisteiden osalta, joilla oli yli 50 %:ssa näytteistä nollassa poikkeava arvo. Harvoin havaitun yhdisteen vaihtelukerroin voi nousta huomattavan korkeaksi, koska runsas nolla-arvojen osuus vinouttaa havaintojen jakaumaa. Heksanaalin ja TXIB:n MS2-aineiston jakaumia verrattiin esimerkinomaisesti Sokal & Braumanin vaihtelukertoimen testillä<sup>15</sup>.

### 2.2.2 Menetelmien vertailu ja TVOC-pitoisuus

MS1- ja MS2-menetelmillä samoista asunnoista saatuja tuloksia verrattiin t-testillä menetelmien ominaispiirteiden selvittämiseksi.

Ympäristölaboratorio on kesästä 1998 alkaen antanut VOC-mittaustulosten yhteydessä arvon näytteen TVOC-pitoisuudesta. Arvio tehdään näytteen analysoitujen ja muiden yhdisteiden kromatogrammipinta-alojen perusteella. Arvioita kertyi 66 MS1-näytteestä ja 30 MS2-näytteestä. Näytteet olivat peräisin eri asunnoista, joten eri menetelmien tulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Mitatun tuloksen suhde arvioituun esitetään.

### 2.2.3 Viitearvojen määrittäminen

Perusaineiston yhdistekohtaisista pitoisuuksista laskettiin yhdisteryhmäkohtaiset tunnusluvut. Niiden avulla asetettiin ryhmäkohtaiset viitearvot. Luokkaan *hyvä* katsottiin kuuluvaksi sellaiset mittaustulokset, joissa kyseisen yhdisteryhmän pitoisuus oli pienempi kuin ryhmän mediaani. Tulos kuului luokkaan *tyytyttävä*, kun pitoisuus alitti ryhmän keskiarvon. *Välttäväksi* pitoisuus määritettiin, kun se alitti edellisten summan. Luokan *heikko* ylärajaksi asetettiin keskiarvon ja kaksinkertaisen mediaanin summa.

$\Sigma$ VOC -pitoisuus määritettiin *hyväksi*, kun se oli pienempi kuin yhdistekohtaisten mediaanien summa. *Tyydyttävä* oli  $\Sigma$ VOC-arvon mediaania pienempi pitoisuus ja *välttävä* keskiarvoa pienempi pitoisuus. *Heikon* rajaksi määritettiin luokkien hyvä ja välttävä summa. Arvot pyöristettiin lähimpään kokonaislukuun lasketun arvon oltua pienempi kuin 10 ja lähimpään viidellä jaolliseen lukuun arvon oltua kymmentä suurempi.

## 3 Tulokset

### 3.1 Orgaanisten yhdisteiden pitoisuus asuntojen sisäilmassa

MS1- ja MS2-menetelmillä saadut, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuutta kuvaavat tunnusluvut on yhdisteittäin, yhdisteryhmittäin ja  $\Sigma$ VOC-arvon osalta esitetty taulukossa 1. Yksittäisen yhdisteen pitoisuuden vaihtelua kuvaavat mediaanin ja keskiarvon yhtä-/erisuurus ja hajonta.

Vaihtelukerroin on eri yhdisteiden pitoisuusvaihtelun suhteen vertailukelpoinen, pitoisuustasosta riippumaton suure. Alhainen vaihtelukerroin kuvaa sitä, että yhdistettä esiintyy eri asunnoissa melko samansuuruisina pitoisuuksina. Mitä korkeampi kerroin on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä näytteestä mitattu pitoisuus poikkeaa yhdisteen keskipitoisuudesta. Suuren vaihtelukertoimen omaavan yhdisteen kohonnut pitoisuus viittaa yksittäiseen emissiolähteeseen.

Taulukko 1. MS1- eli aktiivikeräinnäytteiden ja MS2- eli passiivikeräinnäytteiden yhdiste- ja yhdiste-ryhmäkohtaiset sekä summa-VOC-tulokset										
	MS1-näytteet, yhteensä 103 kpl					MS2-näytteet, yhteensä 127 kpl				
	medi-aani	keski-arvo	hajonta	vaihtelu-kerroin	n, kun arvo >0	medi-aani	keski-arvo	hajonta	vaihtelu-kerroin	n, kun arvo >0
<b>Aromaattiset yhdisteet</b>										
Bentseeni	1,4	1,6	0,9	0,6	103	1,3	1,6	1,5	0,9	126
Tolueneeni	5,2	14,4	52,7	3,6	99	10,3	15,3	17,7	1,2	127
Etyyliibentseeni	1,2	2,0	2,1	1,1	102	1,6	3,4	5,4	1,6	127
1,4-Ksyleeni	2,9	5,1	7,1	1,4	102	3,3	8,5	16,1	1,9	127
Styreeni	0,5	0,8	0,9	1,1	83	1,2	1,0	1,0	1,1	96
1,2-Ksyleeni	1,0	1,5	2,5	1,6	99	1,2	2,7	4,9	1,8	127
Probyyliibentseeni	0,4	1,1	4,5	4,1	99	0,4	0,7	1,1	1,7	127
1,3,5-Trimetyyliibentseeni	0,3	1,4	6,2	4,5	103	0,4	0,7	1,1	1,6	127
1,2,4,5-Tetrametyyliibentseeni	0,0	0,2	0,6		47	0,2	0,2	0,3	1,6	85
Naftaleeni	0,2	0,2	0,2	0,9	78	0,0	0,2	0,4		51
1,3,5-Trietyyliibentseeni	0,0	0,0	0,0		9	0,0	0,0	0,1		6
1-Metyyliinaftaleeni	0,1	0,1	0,1	1,2	65	0,0	0,1	0,2		25
Bifenyylä	0,0	0,0	0,1		39	0,0	0,1	0,2		18
<b>Aromaattiset</b>	<b>15,3</b>	<b>28,5</b>				<b>19,8</b>	<b>34,5</b>			
<b>Alkaanit</b>										
Heptaani	1,4	3,2	8,7	2,7	85	1,0	2,6	6,0	2,3	117
Oktaani	0,0	1,5	6,7		32	0,0	0,5	1,1		37
Nonaani	0,0	1,2	3,5		39	0,0	1,6	5,7		47
Dekaani	0,5	4,3	15,1	3,5	58	1,5	4,2	12,8	3,0	108
Undekaani	1,8	4,5	10,8	2,4	78	1,5	4,2	9,8	2,3	115
Dodekaani	1,2	1,9	2,9	1,5	80	0,9	2,0	3,3	1,6	100
Tridekaani	0,6	0,8	1,1	1,4	61	0,5	1,0	1,4	1,4	111
Tetradekaani	1,0	1,2	1,3	1,1	86	1,1	1,4	0,8	0,6	126
Pentadekaani	1,1	1,3	0,8	0,6	98	1,3	1,5	0,8	0,5	127
Heksadekaani	1,2	1,5	1,4	0,9	96	1,5	1,6	0,9	0,6	124
<b>Alkaanit</b>	<b>11,8</b>	<b>21,4</b>				<b>9,4</b>	<b>20,6</b>			
<b>Terpeenit</b>										
Pineeni	11,0	16,2	14,8	0,9	103	7,5	10,1	9,2	0,9	126
Delta-3-kareeni	3,8	6,0	7,5	1,2	101	2,1	2,9	3,1	1,1	122
Limoneeni	5,1	13,5	30,3	2,2	103	8,1	20,8	31,9	1,5	127
Kamferi	0,3	0,5	0,8	1,7	88	0,2	0,5	1,3	2,6	126
<b>Terpeenit</b>	<b>24,3</b>	<b>36,2</b>				<b>17,9</b>	<b>34,3</b>			
<b>Karbonyylit</b>										
Heksanaali	8,2	11,5	9,9	0,9	103	30,5	32,7	24,1	0,7	127
Bentsaldehydi	1,2	1,7	1,8	1,1	85	1,2	1,8	1,7	0,9	106
6-Metyyli-5-hepten-2-oni	1,7	1,6	1,2	0,8	77	0,0	0,4	0,7		41
Oktanaali	2,8	3,9	4,9	1,2	103	2,9	4,8	8,8	1,8	123
Nonanaali	7,1	8,3	4,4	0,5	102	2,5	2,7	1,2	0,5	123
<b>Karbonyylit</b>	<b>23,7</b>	<b>27,0</b>				<b>37,0</b>	<b>42,4</b>			
<b>Halogenoidut yhdisteet</b>										
1,1,1,-Triklloorietaani	0,7	1,5	3,6	2,5	103	0,7	1,3	1,9	1,5	107
Triklloorieteeni	0,2	0,3	0,4	1,5	66	0,2	0,3	0,5	1,7	97
Tetrakloorieteeni	0,3	0,4	0,5	1,2	78	0,0	0,2	0,4		62
Klooribentseeni	0,0	0,0	0,0		5	0,0	0,0	0,0		4
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	0,0	0,0	0,1		4	0,0	0,0	0,0		1
1,4-Diklooribentseeni	0,0	0,3	1,5		48	0,0	0,8	5,6		38
2,4-Diklooritolueneeni	0,0	0,0	0,1		19	0,0	0,0	0,1		1
1,2,4-Triklooribentseeni	0,0	0,1	0,1		50	0,0	0,0	0,1		15
<b>Halogenoidut</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>				<b>0,9</b>	<b>2,6</b>			
<b>Esterit</b>										
Butyyliasetaatti	1,5	4,1	13,5	3,3	94	1,4	2,6	3,6	1,4	113
TXIB	13,5	35,8	56,9	1,6	100	5,5	18,8	35,4	1,9	127
<b>Esterit</b>	<b>16,1</b>	<b>39,9</b>				<b>6,9</b>	<b>21,4</b>			
<b>Muut yhdisteet</b>										
2-Etoksietanoli	0,0	0,8	2,2		25	0,0	0,2	0,9		13
Metyylisykloheksaani	0,4	1,4	4,9	3,5	71	0,6	1,8	4,3	2,4	111
1-Pentanolä	1,3	2,3	3,0	1,3	92	0,9	1,2	1,3	1,1	102
Furfuraali	0,3	0,7	1,1	1,5	59	0,0	0,4	0,7		52
1-Asetoksi-2-etoksietaanä	0,0	0,1	0,5		4	0,0	0,0	0,0		7
Propyyliisikloheksaani	0,0	0,4	1,1		48	0,0	0,4	1,4		50
Fenoli	0,8	1,0	0,9	0,9	91	1,4	1,0	1,0	1,0	80
2-Etyyli-1-heksanolä	9,4	15,6	15,2	1,0	28	1,3	1,7	1,3	0,8	27
<b>Muut</b>	<b>12,2</b>	<b>22,5</b>		<b>x = 1,7</b>		<b>4,2</b>	<b>6,7</b>		<b>x = 1,5</b>	
<b>Yhteensä</b>	<b>105,2</b>					<b>96,0</b>				
<b>Summa-VOC</b>	<b>133,6</b>	<b>178,1</b>				<b>145,6</b>	<b>162,5</b>			

Heksanaalin vaihtelukerroin oli 0,7 ja TXIB:n 1,9. Yhdisteiden jakaumien todettiin MS2-näyteaineistossa eroavan toisistaan erittäin merkitsevästi. TXIB:n mediaani  $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja keskiarvo  $18,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ovat huomattavasti pienempiä kuin heksanaalin  $30,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $32,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mutta suurimmat mitatut pitoisuudet ovat yhtä suuria tai suurempia.

*Ohjearvona*<sup>d</sup> yksittäiselle yhdisteelle voidaan pitää yhdisteen mediaanipitoisuutta. *Tavanomaisella tasolla* pitoisuus on vielä silloin, kun se on yhdisteen keskiarvopitoisuutta pienempi. *Raja-arvotasoa*<sup>e</sup> ei yksittäisille yhdisteille esitetä.

### 3.2 MS1- ja MS2-menetelmillä saatujen tulosten vertailu

Seitsemässä asunnossa mitattiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuutta siten, että tutkittavista huoneista otettiin useita MS1-menetelmän näytteitä samanaikaisesti, kun MS2-menetelmän passiivikeräin oli toiminnassa. Vertailun tulokset on esitetty taulukossa 2. Ryhmässä ”muut yhdisteet” ei ole mukana 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuutta, koska sitä ei joulukuussa 1997, jolloin näytteet analysoitiin, vielä määritetty. Muutoin ryhmien yhdistekoostumus on sama kuin taulukossa 1.

Yhdisteryhmä	MS1, n = 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MS2, n = 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	eron merkitsevyys
Aromaattiset	35	28	ns
Alkaanit	19	22	ns
Terpeenit	50	57	ns
Karbonyylit	20	50	< 0,001
Halogenoidut	3,1	0,7	< 0,001
Esterit	140	61	< 0,001
Muut yhdisteet	9	12	ns
Yhteensä	276	230	ns

Tulosten mukaan eri menetelmillä aromaattisille yhdisteille, alkaaneille ja terpeeneille mitatut pitoisuudet ovat samansuuruisia. Karbonyylien, halogenoitujen yhdisteiden ja estereiden pitoisuus on vahvasti sidolla käytettyyn menetelmään. Vastaavan suuntaiset tulokset ovat nähtävissä myös taulukon 1 perusaineistossa. Taulukon 1 arvojen perusteella vaikuttaa siltä, että ryhmässä ”muut yhdisteet” havaittu ei-merkitsevä ero on muuttunut 2-etyyli-1-heksanolin mukaantulon jälkeen merkitseväksi.

### 3.3 Viitearvot

Taulukossa 3 esitetään yhdisteryhmittäiset ja  $\Sigma\text{VOC}$ -arvon viitearvot. Ryhmäkohtaisista arvoista luokan *hyvä* arvo vastaa *ohjearvoa*. Joka toisessa tutkitussa kohteessa ryhmäkohtainen arvo on tätä parempi. Luokan *välttävä* ylityksiä voidaan sallia kahden yhdisteryhmän osalta, kun  $\Sigma\text{VOC}$ -arvo pysyy *tydyttävänä*. Se vastaa  $\Sigma\text{VOC}$ -arvon *ohjearvoa*. Arvo *heikko* vastaa sekä yhdisteryhmittäin että  $\Sigma\text{VOC}$ -arvon osalta *raja-arvoa*.

<sup>d</sup> Tässä selvityksessä ohjearvolla tarkoitetaan pitoisuustasoa, joka on kohtuudella saavutettavissa. Arvo ei perustu tietoon terveyshaittaa aiheuttavasta pitoisuudesta.

<sup>e</sup> Raja-arvolla tarkoitetaan arvoa, jota ei tulisi ylittää. Sen ylittyessä on ryhdyttävä toimenpiteisiin ilmanlaadun parantamiseksi, koska ilmanlaadusta johtuvaa terveyshaitan epäilyä ei voida sulkea pois.

**Taulukko 3. Yhdisteryhmittäiset viitearvot laatuluokittain MS1- ja MS2-näytteille sekä vastaavat  $\Sigma$ VOC-arvot,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ohje- ja raja-arvotasot rasteroitu.**

MS1, Tenax-aktiivikeräin				Yhdiste-ryhmä	MS2, 3M-passiivikeräin			
Laatuluokka					Laatuluokka			
Heikko	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä		Hyvä	Tyydyttävä	Välttävä	Heikko
60	45	30	15	Aromaattiset	20	35	55	75
45	35	25	10	Alkaanit	10	20	30	40
85	60	35	25	Terpeenit	20	35	50	70
75	50	25	25	Karbonyylit	35	40	80	115
6	4	3	2	Halogenoidut	1	3	4	4
70	55	40	15	Esterit	7	20	30	35
45	35	25	10	Muut yhdisteet	4	7	10	15
280	180	135	105	$\Sigma$ VOC	95	145	165	260

### 3.4 VOC- ja TVOC-pitoisuudet

$\Sigma$ VOC-pitoisuus lasketaan Helsingin kaupungin ympäristölaboratoriossa näytteestä analysoitujen 50 VOC-yhdisteen pitoisuuksien summana. Näiden lisäksi sisäilmassa voi olla moninkertainen lukumäärä muita, mitattavien yhdisteiden kanssa samoissa lämpötiloissa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Näytteen TVOC-pitoisuus muodostuu näytteestä määritettyjen ja näytteen sisältämien muiden yhdisteiden yhteenlasketusta pitoisuudesta. Taulukkoon 4 on kerätty  $\Sigma$ VOC-pitoisuuksien ja näytteistä arvioitujen TVOC-pitoisuuksien keskiarvot niistä näytteistä, joille oli annettu molemmat arvot. Kummankin, erityisesti MS1-menetelmän, tuloksissa ero lasketun ja arvioidun pitoisuuden välillä on huomattava.

**Taulukko 4. Laskettujen  $\Sigma$ VOC-arvojen ja TVOC-yhdisteiden arvioitujen kokonaispitoisuuksien keskiarvojen vertailu, pitoisuudet  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

	MS1, n = 66	MS2, n = 30
$\Sigma$ VOC-	147,6	99,3
TVOC	434,9	174,6
Edellisten suhde, %	33,9	56,9

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Yhdistekohtaiset tulokset

Ympäristökeskus laati MS1-menetelmällä mitatuille yhdisteille yhdistekohtaiset normaaliarvot menetelmän käyttöönoton yhteydessä. Asunnot, joiden sisäilmanäytteistä normaaliarvot määritettiin, olivat vähintään kaksi vuotta vanhoja, eikä niitä ollut remontoitu näytteenottoa edeltäneen vuoden aikana. Kolmas kriteeri oli asukkaiden oireettomuus sisäilman suhteen. Normaaliarvoiksi esitettiin 50 huoneistosta mitatun pitoisuuden mediaania ja keskiarvoa.<sup>8</sup>

Nyt mitatuista 50 yhdisteestä 45 on täysin samoja em. aineiston kanssa. 21 yhdisteen pitoisuus vastasi aiempia normaaliarvoja. 14 yhdisteelle saatiin nyt pienempi ja 10 yhdisteelle suurempi pitoisuus. Alkaanien, karbonyylien, halogenoitujen yhdisteiden ja ryhmän ”muut yhdisteet” yhdisteiden pitoisuudet olivat kauttaaltaan hyvin samansuuruisia kuin aiemmin.

Terpeeneille mitattiin limoneenia lukuunottamatta aiempaa korkeampia pitoisuuksia. Aromaattisten yhdisteiden pitoisuudet olivat samoja tai hieman pienempiä kuin aiemmin, poikkeuksena tolueni, jonka mediaanipitoisuus,  $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , oli nyt tuntuvasti pienempi kuin aiempi arvo,  $20,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Toisen poikkeuksen muodosti estereihin kuuluva TXIB, jonka mediaani- ja keskiarvopitoisuudet olivat aiempaa huomattavasti suurempia mediaanin oltua ennen  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja nyt  $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sekä keskiarvon  $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $35,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Aineistokriteerit selittävät TXIB:n kohdalla havaitun eron. Korkeimmat TXIB-pitoisuudet mitataan uusista tai vasta remontoituista huoneistoista, joihin on äskettäin asennettu lattiapinnoitteeksi muovimatto. Lähes kaikkien uusien muovimattojen päästöjen pääkomponenttina on niitä tutkittaessa ollut TXIB<sup>16</sup>. Kohonnut terpeenipitoisuus on niin ikään selitettävissä aineistojen eroilla. Korkeita terpeenipitoisuuksia mitataan uusista tai remontoituista sekä vastikään kalustetuista asunnoista. Niiden pääasiallisina lähteinä ovat tuoreet puumateriaalit, kuitu-, kipsi- ja lastulevyt sekä maalit ja liuottimet<sup>8</sup>.

Tolueneipitoisuuden ero saattaa johtua esimerkiksi puhdistusaineista. Muun muassa Teho-Tolu-puhdistusaine sisälsi vuonna 1994 toluenia 8,5 %, vuoden 1995 reseptin mukaan enää 0,9 %, ja tolueneittomat reseptit tulivat käyttöön 10.10.1995 valmistajan hakiessa tuotteille ympäristömerkkiä<sup>17</sup>. Samaan suuntaan lienevät kehittyneet muidenkin, aiemmin toluenia sisältäneiden puhdistusaineiden reseptit.

MS1-menetelmällä nyt ja aiemmin saadut mediaani- ja keskiarvopitoisuudet ovat edellä mainitut poikkeukset huomioon ottaen samansuuruisia, eivätkä aineistojen  $\Sigma\text{VOC}$ -arvojen mediaanit,  $121,0$  ja  $133,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , eroa toisistaan. Nyt esitetyt viitearvot ovat yhdenmukaisia aiempien normaaliarvojen kanssa.

MS2-menetelmällä määritetyille yhdistekohtaisille pitoisuuksille ei ole aiemmin esitetty viitearvoja. Nyt esitetyt on tuotettu samoin perustein kuin MS1-menetelmän arvot. Esitetyistä ohjearvo- ja tavanomainen taso -normituksesta poikkeaminen edellyttäisi perusteltua epäilyä siitä, että tutkituissa kohteissa tiettyjen samojen yhdisteiden pitoisuus olisi useammin koholla kuin tavanomaisella tasolla.

## 4.2 Viitearvot

Seifert<sup>13</sup> on esittänyt käytettäväksi VOC-yhdisteryhmille seuraavia viitearvoja: alkaanit  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aromaattiset yhdisteet  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , terpeenit  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , halogenoidut hiilivedyt  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esterit  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aldehydit  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muut yhdisteet  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja TVOC  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Seifert määrittelee TVOC-arvon kunkin yhdisteryhmän kymmenen runsaimman yhdisteen summana. Viitearvoihin liittyy suositus, jonka mukaan yksittäisen yhdisteen pitoisuus ei saisi nousta yli 50 %:n kyseisen yhdisteryhmän pitoisuudesta, eikä yli 10 %:n yhdisteiden kokonaispitoisuudesta. Arvot on määritetty aktiivimenetelmällä aktiivihiiiliasorbenttiin kerätyistä näytteistä 500 asunnon näyteaineiston perusteella<sup>18</sup>.

Käytetty hiiliputkimenetelmä soveltuu erityisesti alhaisen kiehumispisteen yhdisteiden pitoisuuksien selvittämiseen. Niitä ovat muun muassa monet liikenneperäiset yhdisteet. Suomessa, jossa päästölähteet löytyvät useammin huoneiston sisältä tai rakenteista kuin korvausilmasta, katsotaan hiiliputkimenetelmän soveltuvan MS1-menetelmän täydentäjäksi.<sup>11</sup>

Vaikka eri menetelmin saadut viitearvot eivät ole keskenään vertailukelpoisia, voidaan niiden asettamismetodeja vertailla. Helsingin näyteaineistossa muissa yhdisteryhmissä kuin alkaaneissa on ryhmän kokonaispitoisuutta selvästi dominoiva yhdiste, joten perusteita yhdistekohtaisten enimmäisosuussuosituksen antamiseen ei ole.

Taulukon 3 hyvää sisäilman laatua indikoivat arvot kuvaavat tasoa, joka mittaustulosten mukaan vallitsee joka toisessa asunnossa, ja jonka voidaan siten katsoa olevan muissakin asunnoissa kohtuudella saavutettavissa. Arvot vastaavat EU:n työryhmän ilmanlaatukriteeriksi suositamaa ALARA-tasoa (*as low as reasonably achievable*, niin alhainen kuin järkevästi mahdollinen)<sup>14</sup>.

Ympäristökeskuksen aiemman selvityksen perusteella on otaksuttu, että MS1-menetelmällä mitattu  $\Sigma$ VOC -arvo edustaa noin 70 - 80 % huoneilman TVOC-pitoisuudesta<sup>8</sup>. Tämän selvityksen mukaan  $\Sigma$ VOC -arvot edustavat siitä vain kolmasosaa. Vaikuttaa siltä, että tämän ja aiemman selvityksen kohdeasuntojen VOC-pitoisuuksissa olisi huomattavaa eroa niiden yhdisteiden suhteen, joiden pitoisuutta ei erikseen määritetty.

Kohdeasuntojen ikä on yksi mahdollinen eroa selittävä tekijä. Emissiotutkimukset viittaavat siihen, että uusissa rakennuksissa, joissa muovimatto on asennettu ylimäärän rakennekosteutta sisältävän betonin päälle, voivat 1-butanolin ja 2-etyyli-1-heksanolin päästöt olla hyvin korkeita<sup>19</sup>. Tällaisia kohteita sisältyi vain tämän selvityksen aineistoon.

MS2-menetelmän  $\Sigma$ VOC - ja TVOC-arvojen suhde, 57 %, vastaa sitä tasoa, mikä ko. suhteelle on kirjallisuudessa kuvattu. Myös MS1-menetelmän tulos mahtuu aiemmin havaitun vaihtelun rajoihin<sup>14</sup>.

Kun  $\Sigma$ VOC -arvolle esitettyjä taulukon 3 viitearvoja verrataan aiempiin suosituksiin, ovat nyt esitetyt arvot TVOC-suhde huomioonottaen samaa luokkaa<sup>9</sup> tai tiukempia<sup>10,11</sup>. Nyt esitetyt tulokset tukevat sitä, että ylin hyväksyttävä TVOC-arvo on tasoa  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kasvatamalla määritettävien yhdisteiden lukua EU:n työryhmän<sup>14</sup> suosittamaan minimikoostumukseen, joka käsittää 74 yhdistettä ja niihin mahdollisesti sisältymättömät kymmenen näytteessä suurimpana pitoisuutena esiintyvää yhdistettä, kasvaisivat viitearvot olennaisesti nykyisistä. Samalla  $\Sigma$ VOC - ja TVOC-arvojen ero kaventuisi.  $\Sigma$ VOC - ja TVOC-arvojen määrittely poikkeaa eri suosituksissa, mikä on otettava huomioon arvoja verrattaessa.

Tunnusomaista koko näyteaineistolle on se, että mitattujen pitoisuuksien summa eri näytteissä on suhteellisen stabiili. MS1-menetelmällä saaduissa tuloksissa  $\Sigma$ VOC -arvo  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylittyi kolmesti, MS2-menetelmällä kerran. MS1-menetelmän tuloksissa ylitykset johtuivat yhden yhdisteen korkeista pitoisuuksista. Kahdesti yhdiste oli tolueni, kerran TXIB.  $\Sigma$ VOC -arvoa voidaanakin pitää käyttökelpoisena ilmanlaadun indikaattorina, kun sitä käytetään yhdessä yhdiste- ja yhdisteryhmäkohtaisten pitoisuuksien sekä arvioidun kokonaispitoisuuden kanssa.

Alkoholiryhmä on osoittautunut keskeiseksi lattiapäällysteiden sekundaariemissioyhdisteryhmäksi ja 1-butanoli ja 2-etyyli-1-heksanoli runsaasti emittoituviksi yhdisteiksi<sup>19, 20, 21</sup>. 2-Etyyli-1-heksanoli liitettiin analysoitaviin yhdisteisiin keväällä 1998. Sen vaikutus viitearvoihin voitiin ottaa huomioon, koska siitä oli kertynyt riittävä, yli 24 mittaustulosta käsittävä aineisto.

## 5 Johtopäätökset

Kotitalouskemikaalien koostumuksessa ja käyttötottumuksissa sekä huoneistoihin emittoivien pinnoite- ja päällystemateriaalien koostumuksessa tapahtuvat muutokset muuttavat sisäilman VOC-yhdisteiden koostumusta ja pitoisuutta. Myös analysoitavien yhdisteiden määrä on lisääntynyt. Näiden seikkojen vuoksi ei ole syytä pyrkiä pysyviin viitearvoihin, vaan arvojen olisi suotava muuttua terveen kehityksen mukana, mutta kuitenkin varjeltuna ”sairas talo -syndrooman” vaikutuksilta.



Mukauttamalla analysoitavat yhdisteet ja metodit EU:n työryhmän<sup>14</sup> suositusten mukaisiksi saataisiin kerätyksi muiden samoin toimivien laboratorioiden tuloksiin nähden vertailukelpoista aineistoa. Toisaalta työryhmän suositukset eivät tue Helsingissä käyttökelpoiseksi koetun MS2-menetelmän käyttöä. Siitä luopumiseen ei kuitenkaan ole suositukseen huomioita ottaen painavia perusteita. Menetelmää on käytetty Helsingissä menestyksekkäästi myös ulkoilman VOC-yhdisteiden selvittämiseen<sup>22</sup>. Näin siihen saatu kenttätutkimustuntuma on hyvä.

Ilmastollisista eroista seuraa, että sisäilman laadun merkitys on Suomessa huomattavasti keskeisempi asumisterveystekijä kuin Euroopassa keskimäärin. Asumiskulttuurieroista johtuen sisäilman koostumuksessa on kansallisia ominaispiirteitä. Kehittämällä nykyistä VOC-mittauskäytäntöä siten, että otetaan korostuneesti huomioon uusin pohjoismainen tietämys ja soveltuvin osin EU:n työryhmän suositukset, voidaan Helsingin asukkaita palvella parhaiten.

## 6 Lähteet

- <sup>1</sup> Air Quality Guidelines for Europe. 1987. World Health Organization. Regional Office for Europe. Copenhagen. WHO Regional Publications, European Series No. 23. ISBN 92-890-1114-9. 426 s.
- <sup>2</sup> Risto Aurola, Sosiaali- ja terveysministeriö, suullinen tiedonanto 11.12.1997.
- <sup>3</sup> Asuntojen kuntoa ja hoitoa koskeva opas. 1990. Lääkintöhallitus. ISBN 951-95660-7-4. 54 s.
- <sup>4</sup> <http://www.occuphealth.fi/ttl/projekti/htp/>
- <sup>5</sup> Sosiaali- ja terveysministeriön päätös haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista. Suomen säädöskokoelma 365/1998. 1 s.
- <sup>6</sup> HTP-arvot 1998. Turvallisuustiedote n:o 25. Sosiaali- ja terveysministeriö, työsuojeluosasto, Kemian työsuojeluneuvottelukunta. ISBN 951-735-087-2, ISSN 0358-2876. 50 s.
- <sup>7</sup> Kostiainen, R., Sinervo, T., Nokelainen, S., Viinikka, M. ja Mykkänen, S. 1992. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sisäilmassa. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 8/1992. ISSN 1235-9718. ISBN 951-772-314-8. 12 + 10 s.
- <sup>8</sup> Kostiainen, R., Nokelainen, S. ja Ahonen, S. 1994. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 13/1994. ISSN 1235-9718. ISBN 951-772-553-1. 21 s.
- <sup>9</sup> Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus. Sisäilmayhdistys, Suomen Rakennustajaliitto, Suomen Arkkitehtiliitto, Suomen Konsulttitoimistojen Liitto. Sisäilmayhdistys ry. Julkaisu 5. ISBN 951-97186-2-1. ISSN 1237-1866. 32 s.
- <sup>10</sup> Sisäilmaohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki 1997. ISBN 952-00-0261-8. ISSN 1236-116X. 72 s.
- <sup>11</sup> Aurola, R. ja Välikylä, T. (toim.) 1997. Asumisterveysopas. Asuntojen terveydelliset olosuhteet. Ympäristö ja Terveys -lehti. Pori 1997. ISBN 952-9637-10-1. 144 s.
- <sup>12</sup> Helsingin kaupungin ympäristönsuojelun tavoite- ja toimenpideohjelma vuosille 1994-98. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 3/1994. ISSN 1235-9718. ISBN 951-772-485-3. 58 + 12 s.
- <sup>13</sup> Seifert, B. 1990. Regulating Indoor Air. Indoor Air '90. Proceedings of the 5th international conference on indoor air quality and climate. Toronto 29.7.-3.8.1990. Vol. 3. ss. 35 - 43.
- <sup>14</sup> EU-ECA IAQ WG13 1997. Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality investigations. Working Group 13. European Collaborative Action "Indoor Air Quality and

- 
- its Impact on Man". Environment and Quality of Life. Report 19. EUR 17675 EN. European Commission. Environment institute. Joint Research Centre. Ispra, Italy. ISBN 92-828-1078-X. 56 s.
- <sup>15</sup> Ranta, E, Rita, H. ja Kouki, J. 1997. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. Kuudes painos. Yliopistopaino. ISBN 951-570-085-X. 569 s.
- <sup>16</sup> Saarela, K. 1992. Rakennusmateriaalien orgaaniset päästöt ja niiden vähentäminen. Ympäristöministeriö, Kaavoitus- ja rakennusosasto. Selvitys 3/92. ISSN 0786-5228, ISBN 951-37-0909-4. 68 s.
- <sup>17</sup> Lappalainen, M. 1999. Henkel Oy. Suullinen tiedonanto 5.1.1999.
- <sup>18</sup> Saarela, K. 1998. VTT. Suullinen tiedonanto koskien Seifertin käyttämää metodia ja asuntojen lukumäärää. Tiedonanto perustuu monistetyyppiseen julkaisuun, jonka lyhennelmä on julkaistu (viite 13).
- <sup>19</sup> Fritsche, M. 1996. Kemisk emission från golvläm på betong. Effekt av olika fukt- och alkalispärrar. Examenarbete E-96:1. Arb. nr 581. Institutionen för Byggnadsmaterial. Chalmers tekniska högskola. Göteborg. 44 + 18 s.
- <sup>20</sup> Follin, T. 1997. Airing out pollutions. Healthy Buildings/IAQ '97. Global issues and regional solutions. Proceedings, Vol. 3. ISBN 0-929900-25-1. ss. 353 - 356.
- <sup>21</sup> Sjöberg, A. 1997. Ongoing research. Floor systems, moisture and alkali. Ibid. ss. 567 - 570.
- <sup>22</sup> Kurki, E., Rasmus, E. ja Linkola, E. 1996. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ulkoilmassa Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 1/1996. ISSN 1235-9718. ISBN 951-772-787-9. 40 s.



## HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1998

10. *Pyö V, Lyly O. PCB elementtialojen saumaussmassoissa 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 1969 - 1996*
13. *Pönkä A, Pitkälä A, Aminoff I, Kalso S. Jauheliiman laatu helsinkiläisissä vähittäismyymälöissä*
14. *Kuhmonen A, Aminoff I, Pitkälä A, Raussi V, Niiranen M. Silakkajalosteet Helsingin Silakkamarkkinoilla 1986 - 1997*
15. *Pyrylä R. Saastuneen maa-alueen kunnostuskustannukset*
16. *Koskimies P. Östersundomin lintuvesien linnusto ja suojele*
17. *Koskimies P. Östersundomin lintuvesien käyttö- ja hoitosuunnitelma*

## HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1999

1. *Pönkä A, Pitkälä A, Kalso S, Niiranen M. Savusilakan ja savustilan mikrobiologinen ja aistinvarainen laatu Helsingissä vuosina 1995 - 1998*
2. *Lyly O. Sisäilman VOC-arvot. Ehdotus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden viitearvoiksi*

<b>KUVAILELLEHTI</b>				
Tekijä(t) <i>Olavi Lyly</i>				
Nimike <i>Sisäilman VOC-arvot. Ehdotus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden viitearvoiksi</i>				
Julkaisija <i>Helsingin kaupungin ympäristökeskus</i>		Julkaisuaika <i>1999</i>	Sivumäärä <i>15</i>	Liitteet
Sarjan nimike <i>Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja</i>			Osanumero <i>2/99</i>	
ISSN-numero <i>1235-9718</i>	Kieli			
ISBN-numero <i>951-718-249-X</i>	Koko teos <i>fin</i>	Yhteenveto <i>fin, swe, eng</i>	Taulukot <i>fin</i>	Kuvatestit
Avainsanat <i>VOC, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, sisäilma, pitoisuus, viitearvot</i>				
Lisätietoja <i>Olavi Lyly, p. (09) 7312 2757, sähköposti olavi.lyly@ymk.hel.fi</i> <i>Markku Viinikka, p. (09) 7312 2756, sähköposti markku.viinikka@ymk.hel.fi</i> <i>Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinginkatu 24, 00530 Helsinki</i>				