

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa

Risto Kostiainen, Sirpa Nokelainen ja Seppo Ahonen



Helsinki 1994

Julkaisu on painettu sataprosenttiselle uusiopaperille.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa

Risto Kostiainen, Sirpa Nokelainen ja Seppo Ahonen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
SAMMANDRAG.....	2
JOHDANTO	3
MENETELMÄ	4
TULOKSET JA POHDINTA	5
Ulko- ja huoneilma	5
Normaaliasunnot	6
Normaali- ja valitusasunnot	10
TAPAUSSKOHTAISIA ESIMERKKEJÄ	13
YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	15
KIRJALLISUUS	14
LIITE 1	19

TIIVISTELMÄ

Työssä määritettiin 48 haihtuvan orgaanisen hiilivedyn (VOC) pitoisuudet termodesorptio/kaasukromatografia/massaspektrometrialla 38 valitusasunnossa, joissa asukkaat olivat valittaneet sairaan talon oireyhtymää muistuttavia oireita, 50 normaaliasunnossa, joissa oireilua ei esiintynyt sekä 28 Helsingin alueelta kerätystä ulkoilmanäytteestä. Tutkittujen normaaliasuntojen perusteella yksittäisille VOC:lle määritettiin huoneilman normaalipitoisuudet, joita verrattiin valitusasuntojen ja ulkoilman pitoisuuksiin.

VOC:ien pitoisuudet huoneilmassa olivat selkeästi korkeammat kuin kaupunki-alueen ulkoilmassa. Tutkittujen VOC:ien kokonaispitoisuuksien (TVOC) mediaani huoneilmassa oli $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ulkoilmassa $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat suuresti eri asunnoissa, mikä osoittaa, että huoneilman laatuun vaikuttavat suuresti rakennus- ja sisustusmateriaalit, kalusteet ja ihmisen oma toiminta. Pitoisuuksien suuren vaihtelun takia vasta noin 10-50 kertaisia pitoisuuksia normaalitasoon verrattuna voidaan pitää poikkeuksellisen korkeina. Korkeita pitoisuuksia todettiin useammin valitus- kuin normaaliasunnoissa. Kuitenkin noin joka toisessa valitusasunnossa VOC:ien pitoisuudet olivat normaalitasoa. Noin joka viidennessä valitusasunnossa valituksen aiheuttaja pystyttiin käytetyllä menetelmällä osoittamaan ja eliminoimaan. Aromaatistien hiilivetyjen, metyylysykloheksaanin, terpeenien, 1,1,1-trikloorietaanin ja tetrakloorieteenin pitoisuudet valitusasunnoissa olivat tavallisimmin poikkeuksellisen korkeita.

SAMMANDRAG

I arbetet bestämdes halterna av 48 flyktiga organiska kolväten (VOC) med hjälp av termodesorptions/gaskromatografi/massa-spektrometri. 38 bestämningar gjordes på luft från problemstäder där invånarna klagat över symptom som liknar dem vid inneluft syndrom, 50 bestämningar gjordes på luft från normalbostäder, där inga klagomål förekommit och 28 bestämningar gjordes på uteluft i Helsingfors regionen. Undersökningsresultaten för normalbostäderna står som grund för normalhalten på enskilda VOC-föreningar i inneluft och de jämfördes med VOC-halterna i luft från problembostäderna och uteluften.

VOC halterna i inneluften var märkbart högre än motsvarande värden för stadsregionens uteluft. Medianen för totalhalten (TVOC) av de undersökta VOC-föreningarna i inneluften var 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och i uteluften 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Halterna av de enskilda föreningarna varierade mycket i olika bostäder, vilket tyder på att byggnads- och inredningsmaterialens beskaffenhet, möblerna och människans egen aktivitet i hög grad påverkar rumsluftens kvalitet. På grund av halternas stora varians kan först halter som avviker 10-50 faldigt från normalvärdena anses vara exceptionellt höga. Höga halter konstaterades oftare i problem-bostäderna än i normalbostäderna. Ända var halterna VOC-föreningar i varannan problem-bostad normala. Ungefär i var femte problembostad kunde orsaken till klagomålet påvisas genom användandet av metoden och elimineras. Halterna av de aromatiska kolvätena, metylcykloheksan, terpener, 1,1,1-tri-kloretan och tetrakloretan var oftare exceptionellt höga i problembostäderna.

JOHDANTO

Liikenteen ja teollisuuden päästöt, lisääntyvä kemikaalien käyttö ja kasvava energian kulutus ovat lisänneet ilman epäpuhtauksien määrää. Ulkoilman ja työpaikkailman laatua on tutkittu hyvin laajasti, mutta vastaavanlaista huomiota ei ole kiinnitetty huoneilmaan. Kuitenkin ihmiset viettävät suurimman osan ajastaan sisällä ja siten huoneilma vaikuttaa ihmisen terveyteen enemmän kuin ulkoilma. Huoneilman laatu määräytyy monien kemiallisten, mikrobiologisten ja fysikaalisten tekijöiden summana. Huoneilman laatuun vaikuttavat mm. erilaiset orgaaniset yhdisteet, pöly ja siihen sitoutunut orgaaninen ja epäorgaaninen aines, erilaiset mikrobit esim. homeet, bakteerit ja sienet sekä ehkä tärkeimpänä ilman vaihtuvuus. Asumisviihtyvyyteen vaikuttavat myös monet fysikaaliset tekijät esim. lämpötila, ilman kosteus ja valaistus. Huonon huoneilman seurauksena asukkaat valittavat oireita, jotka muistuttavat läheisesti sisäilman oireyhtymää, jonka maailman terveysjärjestö on listannut seuraavasti /1/:

1. Silmien, nenän ja kurkun ärsytys
 - kuivuus, kuorsaaminen, muutokset äänessä, yskä ja hengitysteiden infektiot
2. Ihon ja limakalvojen ärsytys
 - limakalvojen kuivuus, ihon punoitus ja kuivuus
3. Neurotoksiset oireet
 - henkinen väsymys, muistin ja keskittymiskyvyn huonontuminen, päänsärky, pahoinvointi ja huimaus.
4. Luokittelemattomat yliherkkyysoireet
 - vuotavat silmät ja nenä sekä astmaattiset oireet ihmisillä, joilla ei ole todettu astmaa.
5. Haju- ja makuaistien muutokset.

Viimeisten vuosien aikana mielenkiinto huoneilmassa esiintyviin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (VOC) on lisääntynyt, koska monet VOC:t aiheuttavat suurina pitoisuuksina sairaan talon oireyhtymää muistuttavia oireita. Huoneilmasta on tunnistettu aikaisemmassa tutkimuksessa yli kaksisataa erilaista VOC:ia

/2/, joiden pääasiallisia päästölähteitä ovat mm. rakennus- ja sisustusmateriaalit, liuottimet, hajusteet, ulkoilma, maaperä ja ihmisen oma toiminta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää VOC:ien pitoisuudet normaaliasunnoissa, joissa ei oireiltu, ja valitusasunnoissa, joissa asukkaat valittivat sairaan talon oireyhtymää muistuttavia oireita. Pitoisuuksia vertailemalla pyrittiin selvittämään voivatko VOC:t olla valitusten aiheuttajia.

MENETELMÄ

Näytteet kerättiin Tenaxilla pakattuihin lasiputkiin. Ennen pakkausta lasiputket (pituus 17.6 cm, sisähalkaisija 3 mm) puhdistettiin vedellä, metanolilla, dikloorimetäänilla ja heksaanilla. Putket täytettiin Tenax-TA (60/80 mesh, Chrompack) hartsilla (100 mg). Tenax-patsaan kumpaankin päähän lisättiin hieman lasivillaa, joka oli puhdistettu vedellä, metanolilla, asetonilla, heksaanilla ja kuumentamalla. Pakatut lasiputket puhdistettiin ennen näytteenottoa kuumentamalla niitä 290 °C:ssa 14 tuntia helium-virtauksessa (50 ml/min).

Standardiseokset ja sisäiset standardit (bromibentseeni ja bromioktaani) valmistettiin metanoliin. Standardisuorien määrittämiseksi kolmeen puhdistettuun Tenax-putkeen injektointiin standardeja 5, 25 ja 50 ng ja sisäisiä standardeja 25 ng. Putkien läpi johdettiin puhdasta synteettistä ilmaa 2,5 l virtausnopeudella 80 ml/min, minkä jälkeen putket analysoitiin ja standardisuorat määritettiin. Ennen varsinaista näytteenottoa puhdistettuihin Tenax-putkiin lisättiin sisäiset standardit. Sisäilmaa imettiin Tenax-putkien läpi n. 2,5 l virtausnopeudella 80 ml/min SKC low flow sample 222-3 pumpulla. Keräyksen jälkeen näyteputken päät suljettiin ja putki käärittiin alumiinifolioon. Näytteet säilytettiin jääkaapissa eksikaattorissa ja analysointiin mahdollisimman pikaisesti.

Tenax-putkiin kerätyt näytteet analysoitiin termodesorptio/kaasukromatografi/massaspektrometrillä (TD/GC/MS). Termodesorptiolaitteisto oli Tekmar LC-2000, kaasukromatografi HP-5890 ja massaspektrometri HP-5970. Näytettä desorpoitiin termisesti 15 min lämpötilassa 250 °C, minkä jälkeen yhdisteet

kerättiin kylmäloukkuun, jonka lämpötila oli -150 °C. Ennen termistä desorptiota Tenax-putkiin kerääntynyt vesi poistettiin käänteisellä heliumvirralla (4 min). Desorption jälkeen kylmäloukku lämmitettiin nopeasti 250 °C:een (0.75 min). Kylmäloukusta desorpoituneet yhdisteet erotettiin GC:llä. Käytetty kolonni oli DB-5 (pituus 25 m, sisähalkaisija 0.25 mm, filmin paksuus 0.025 mm). Kaasukromatografi oli liitettynä suoraan massaspektrometriin, jolla yhdisteet tunnistettiin. Yhdisteet ionisoitiin elektroni-ionisaatiolla (70 eV). Käytetty pyyhkäisyalue oli 45-250 u (pyyhkäisy/0,8 s).

TULOKSET JA POHDINTA

Työssä määritettiin 48 VOC:n pitoisuudet termodesorptio/kaasukromatografia/massaspektrometrialla 38 valitusasunnossa, joissa asukkaat olivat valittaneet sairaan talon oireyhtymää muistuttavia oireita ja 50 normaaliasunnossa, joissa oireilua ei esiintynyt. Tutkimukseen valitut normaaliasunnnot olivat vähintään kaksi vuotta vanhoja eikä niitä oltu remontoitu näytteenottoa edeltävän vuoden aikana. Tutkittujen normaaliasuntojen perusteella yksittäisille VOC:lle määritettiin huoneilman normaalipitoisuudet, joita verrattiin valitusasuntojen pitoisuuksiin. Tutkimuksen kohteena olleet yhdisteet edustavat noin 70-80%:a VOC:ien kokonaispitoisuudesta huoneilmassa. Työssä analysoitiin myös 28 ulkoilmanäytettä, jotka oli kerätty samoilta alueilta kuin normaaliasuntojen huoneilmanäytteet.

ULKO- JA HUONEILMA

Huoneilmasta todettiin selvästi useampia VOC:ja kuin ulkoilmasta. Huoneilman pääkomponentteja olivat aromaattiset, sykliset ja alifaattiset hiilivedyt, aldehydit, alkoholit, esterit, ketonit, terpeenit ja klooratut hiilivedyt. Ulkoilman tavallisimpia VOC:ja olivat aromaattiset, sykliset ja alifaattiset hiilivedyt, jotka ovat tyypillisiä fossiilisten polttoaineiden palamistuotteita, ja ovat peräisin pääasiassa liikenteen ja teollisuuden päästöistä. Tutkittujen yhdisteiden yhteenlaskettujen

pitoisuuksien (TVOC) mediaani huoneilmassa oli $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ulkoilmassa $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 1). Ulkoilman TVOC-pitoisuudet eivät ylittäneet huoneilman pitoisuuksia edes kaikkein vilkkaimmin liikennöidyillä alueilla ruuhka-aikaan. Ulkoilman pääkomponenttien bentseenin, tolueenin, ksyleenien, etyylibentseenin, metyyliykloheksaanin ja bentsaldehydin pitoisuudet olivat vilkkaasti liikennöidyillä alueilla vain lievästi korkeammat kuin huoneilmassa. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että ulkoilma ei vaikuta suuresti huoneilman VOC:ien pitoisuuksiin normaaliasunnoissa. Tuloksista ei kuitenkaan voida tehdä selkeätä johtopäätöstä, että huoneilma olisi terveyden kannalta haitallisempaa kuin ruuhka-alueen kaupunki-ilma, koska ulkoilman laatuun vaikuttavat VOC:ien lisäksi lukuisat muut yhdisteet, kuten esimerkiksi polyaromaattiset hiilivedyt, häkä, typen oksidit, leijuva pöly jne. Lisäksi sisäilman pöly poikkeaa ulkoilman pölystä.

NORMAALIASUNNOT

Tutkittujen yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) normaaliasuntojen huoneilmassa olivat välillä $40\text{-}235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mediaanin ollessa $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 1). Aiemmin tehdyssä tutkimuksessa on todettu, että oireilua ei esiinny, jos VOC:ien kokonaispitoisuus on alle $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pitoisuuden ollessa välillä $200\text{-}3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ saattaa esiintyä oireilua, tätä korkeammat pitoisuudet aiheuttavat epämiellyttävän olon ja pitoisuuden ylittäessä $25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ilmaantuu myrkytysoireita /3/. Esitettyjä toteamuksia on kuitenkin pidettävä lähinnä viitteellisinä, koska ihmiset reagoivat huoneilman epäpuhtauksiin hyvin eri tavalla. Mitatut pitoisuudet normaaliasunnoissa olivat samaa luokkaa kuin ulkomaisissa tutkimuksissa /4-7/, joten ulkomailla esitetyt raja-arvot tai suositukset soveltuisivat käytettäväksi myös Suomessa. VOC:ien kokonaispitoisuuden raja-arvoksi voisi harkita Norjassa asetettua ohjearvoa $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /8/.

Yksittäisten VOC:ien pitoisuudet vaihtelivat suuresti tutkituissa normaaliasunnoissa (Taulukko 1), mikä osoittaa, että huoneilman laatuun vaikuttavat suuresti mm. rakennus- ja sisustusmateriaalit, kalusteet ja ihmisen oma toiminta. VOC:ien päästölähteitä on esitetty tarkemmin taulukossa 5. Huoneilman pääkomponentteja

YHDISTE	NORMAALIASUNNON SISÄILMA					ULKOILMA				
	KESKI-ARVO	KESKI-HAJONTA	MEDIAANI	MIN	MAX	KESKI-ARVO	KESKI-HAJONTA	MEDIAANI	MIN	MAX
	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3
HALOGENOIDUT										
1,1,1-trikloorietaani	1,55	1,86	1,03	0,00	7,76	0,37	0,25	0,30	0,00	0,80
trikloorieteeni	0,97	3,00	0,25	0,00	20,38	0,11	0,08	0,13	0,00	0,24
tetrakloorieteeni	0,46	0,78	0,30	0,00	5,65	0,68	1,48	0,24	0,00	5,13
1,1,2,2-tetrakloorietaani	0,07	0,15	0,00	0,00	0,55	0,05	0,12	0,00	0,00	0,43
klooribentseeni	0,02	0,03	0,00	0,00	0,16	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04
1,4-diklooribentseeni	0,65	1,48	0,08	0,00	8,94	0,08	0,28	0,01	0,00	1,28
2,4-diklooritolueeni	0,03	0,04	0,00	0,00	0,12	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04
1,2,4-triklooribentseeni	0,21	0,30	0,10	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
AROMAATTISET										
bentseeni	4,90	6,24	3,11	0,21	38,55	0,74	0,93	0,18	0,00	2,83
tolueeni	21,27	13,51	20,22	0,60	70,36	7,88	13,46	3,96	1,18	64,19
etyylibentseeni	3,20	2,30	2,41	0,62	10,54	2,21	3,83	1,02	0,30	18,18
1,4-ksyleeni	7,42	5,27	5,77	1,51	21,46	5,98	9,40	2,90	0,81	44,82
styreeni	0,75	0,82	0,46	0,08	3,87	0,21	0,30	0,10	0,04	1,38
1,2-ksyleeni	2,37	1,62	1,80	0,53	7,17	2,52	4,06	1,20	0,31	19,18
propyylibentseeni	0,84	0,94	0,62	0,21	6,59	0,55	0,87	0,33	0,06	4,18
1,3,5-trimetyylibentseeni	0,86	0,70	0,68	0,27	4,57	0,63	1,02	0,34	0,10	4,82
1,2,4,5-tetrametyylibentseeni	0,25	0,26	0,16	0,00	1,38	0,13	0,20	0,08	0,00	0,94
1,3,5-trietyylibentseeni	0,02	0,03	0,00	0,00	0,11	0,01	0,01	0,01	0,00	0,05
naftaleeni	0,44	0,46	0,31	0,00	1,63	0,24	0,21	0,16	0,06	0,86
1-metyylinaftaleeni	0,08	0,12	0,04	0,00	0,51	0,03	0,03	0,02	0,00	0,12
bifenyylä	0,16	0,66	0,05	0,00	4,70	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
ALIFAATTISET JA SYKLISET										
heptaani	1,67	2,04	1,02	0,00	13,23	1,16	1,40	0,86	0,00	6,17
oktaani	1,35	1,69	0,87	0,00	9,01	0,21	0,55	0,00	0,00	2,06
nonaani	3,01	5,83	1,48	0,00	33,66	0,40	0,51	0,19	0,00	1,66
dekaani	3,45	3,94	2,25	0,39	24,96	0,92	1,08	0,49	0,00	4,01
undekaani	2,22	2,10	1,76	0,20	11,35	0,83	0,65	0,87	0,00	2,54
dodekaani	1,45	1,53	0,89	0,00	7,47	0,16	0,20	0,00	0,00	0,69
tridekaani	0,82	0,99	0,60	0,00	5,68	0,12	0,18	0,00	0,00	0,66
tetradekaani	1,83	3,78	1,15	0,00	27,45	0,08	0,17	0,00	0,00	0,52
pentadekaani	1,73	4,12	1,06	0,00	30,01	0,25	0,34	0,17	0,00	1,09
hexadekaani	1,08	0,62	1,10	0,00	2,59	0,15	0,19	0,00	0,00	0,56
metyyliisykloheksaani	1,17	1,53	0,68	0,00	9,72	1,32	2,40	0,48	0,00	10,17
propyyliisykloheksaani	0,67	1,09	0,38	0,00	6,44	0,09	0,14	0,00	0,00	0,44
TERPEENIT										
alfa-pineeni	9,32	7,85	7,70	1,05	36,41	0,11	0,20	0,00	0,00	0,71
delta-3-kareeni	2,76	2,94	1,90	0,00	13,08	0,09	0,12	0,06	0,00	0,42
limoneeni	14,20	11,79	8,83	1,34	51,56	0,35	0,77	0,14	0,00	3,31
kamfori	0,30	0,24	0,22	0,00	1,32	0,07	0,06	0,07	0,00	0,21
ALDEHYDIT										
heksanaali	6,60	4,65	5,41	1,08	25,07	0,28	0,24	0,24	0,00	0,98
oktanaali	4,63	4,52	3,62	1,14	26,58	0,56	0,42	0,53	0,00	1,58
nonanaali	3,57	2,38	2,97	0,71	10,14	0,39	0,52	0,24	0,00	1,74
2-furankarboksialdehydi	1,56	1,44	1,05	0,16	6,30	0,17	0,16	0,12	0,00	0,50
bentsaldehydi	2,09	1,07	1,79	0,91	6,56	2,63	1,28	2,26	1,07	6,53
MUUT										
1-pentanolä	2,56	3,29	1,62	0,15	18,81	0,61	1,42	0,18	0,00	3,21
fenolä	0,88	0,65	0,70	0,04	2,95	0,25	0,30	0,11	0,00	0,92
butyyliasetatti	3,52	4,95	2,29	0,29	32,55	0,19	0,19	0,09	0,00	0,68
1-asetoksi-2-etoksietääni	0,30	0,56	0,10	0,00	3,63	0,25	0,39	0,18	0,00	1,75
6-metyyli-5-hepten-2-oni	1,73	1,44	1,26	0,00	5,37	0,21	0,30	0,00	0,00	1,05
txib	3,52	4,97	1,62	0,36	20,99					
TVOC	123,22	50,17	121,01	40,84	235,85	26,27	13,21	21,51	16,05	62,22

Taulukko 1. VOC:ien pitoisuudet ulkoilmassa ja normaaliasuntojen huoneilmassa.

normaaliasunnoissa olivat aromaattiset hiilivedyt, terpeenit ja aldehydit. Huoneilmassa on usein myös lukuisia alifaattisia, syklistisiä ja kloorattuja hiilivetyjä, mutta niiden pitoisuudet ovat alhaisia.

Aromaattisten yhdisteiden pääkomponentti huoneilmassa oli tolueni, jonka keskimääräinen pitoisuus oli noin $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bentseenin pitoisuus oli noin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä etyylibentseenin ja ksyleenien yhteenlaskettu pitoisuus noin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Muiden aromaattisten yhdisteiden pitoisuudet olivat tavallisesti alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bentseenin on todettu olevan syöpää aiheuttava aine. Tolueni on neurotoksinen aine, jolla on narkoottinen vaikutus. Muutoin yhdisteet ovat silmiä ja limakalvoja ärsyttäviä aineita, jotka voivat aiheuttaa suurina pitoisuuksina (vertaa HTP_{8h} -arvot, taulukko 5, liite 1) pahoinvointia, päänsärkyä ja oksentelua. Aromaattisten yhdisteiden on selvästi todettu aiheuttavan oireilua, jos niiden yhteenlaskettu pitoisuus huoneilmassa on suurempi kuin $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /9/. Tämä pitoisuus ei ylittynyt yhdessäkään normaaliasunnossa. Aromaattisten yhdisteiden hajukynnysarvot ovat välillä $200\text{--}10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 5, liite 1), eivätkä ne siten aiheuta normaaliasunnoissa hajuongelmia. Kuitenkin aromaattisten yhdisteiden ja varsinkin bentseenin pitoisuudet tulisi saada huoneilmassa alemmiksi niiden terveyshaittojen takia. Aromaattisten yhdisteiden pääasiallisia päästölähteitä ovat erilaiset rakennusmateriaalit (Taulukko 5, liite 1), joiden oikealla valinnalla voitaisiin pienentää aromaattisten yhdisteiden pitoisuutta. Kotitalouksissa aromaattisia hiilivetyjä sisältävien liuottimien, puhdistusaineiden ja liimojen käyttöä sisätiloissa tulisi välttää.

Työssä tutkittujen aldehydien (Taulukko 1) yhteenlaskettu keskimääräinen pitoisuus normaaliasunnoissa oli noin $10\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tutkitut aldehydit eivät aiheuttane todettuina pitoisuuksina terveysriskejä. Aldehydien ja varsinkin bentsaldehydin hajukynnysarvot ovat kuitenkin alhaisia (Taulukko 5, liite 1) ja ne voivat aiheuttaa hajuhaittaa. Nyt tehdyssä työssä ei tutkittu formaldehydiä, koska sitä ei voida analysoida GC/MS:lla. Formaldehydi on erittäin haitallinen aine, joka voi aiheuttaa mm. syöpää. Formaldehydipitoisuudet voivat olla huoneilmassa huomattavan korkeita, mikä usein johtuu lastulevyn käytöstä rakennusmateriaalina /10/.

Monoterpeenit ovat toluenin ohella huoneilman pääkomponentteja. Yleisimmin esiintyvien terpeenien, α -pineeni, limoneeni ja Δ^3 -kareeni, yhteenlaskettu keskimääräinen pitoisuus huoneilmassa oli noin 25-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. α -pineeni ja limoneeni ovat mutageeneja ja niiden on epäilty aiheuttavan syöpää, josta ei kuitenkaan ole selvää näyttöä /9/. Terpeenien hajukynnysarvot ovat alhaisia ja ne voivat aiheuttaa hajuhaittaa (Taulukko 5, liite 1). Terpeenien päästölähteitä ovat lähinnä puumateriaalit, hajusteet ja puhdistusaineet. Mahdollisten terveyshaittojen ehkäisemiseksi terpeenejä sisältävien hajusteiden ja puhdistusaineiden käyttöä tulisi kotitalouksissa välttää.

Kloorattujen hiilivetyjen keskimääräiset pitoisuudet olivat normaaliasunnoissa suhteellisen alhaisia. Joissakin yksittäisissä asunnoissa kloorattujen hiilivetyjen, etenkin 1,1,1-trikloorietaanin, trikloorieteenin, tetrakloorieteenin ja 1,4-diklooribentseenin pitoisuudet olivat kuitenkin korkeita ($>10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Eläinkokeissa näiden yhdisteiden on todettu aiheuttavan syöpää /9/. Muutoin klooratut hiilivedyt ovat hengitysteitä ja limakalvoja ärsyttäviä aineita. Tetrakloorieteenillä on narkoottinen vaikutus. Tetra-, tri- ja dikloorieteeni voivat hajota vinyylikloridiksi, joka on voimakas karsinogeeni. Vinyylikloridia ei sen suuren haihtuvuutensa takia kyetty määrittämään työssä käytetyllä menetelmällä. Kloorattujen yhdisteiden hajukynnysarvot ovat korkeita (Taulukko 5, liite 1) eikä niitä voida aistein havaita. Kloorattuja alifaattisia yhdisteitä tulee huoneilmaan mm. liimoista, liuottimista, kuivapesuaineista ja vaahdotetuista polymeeripohjaisista eristeistä. 1,4-diklooribentseeniä käytetään koimyrkkynä sekä hajusteina ilman raikastimissa ja deodoranteissa. (Taulukko 5, liite 1). Kloorattujen yhdisteiden käyttöä tulisi voimakkaasti rajoittaa niiden terveyshaittojen takia.

Huoneilmassa on lukuisia erilaisia alkaaneja /2/, joiden pitoisuudet normaaliasunnoissa ovat kuitenkin alhaisia. Alkaanit eivät ole kovin toksisia aineita, eivätkä ne aiheuta terveydellistä riskiä todettuina pitoisuuksina. Alkaanien hajukynnysarvot ovat tasoa 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 5, liite 1) eikä niitä voida normaaliasunnoissa aistein havaita. Muiden VOC:ien pitoisuudet normaaliasunnoissa olivat suhteellisen alhaisia, tyypillisesti alle 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurimpina pitoisuuksina esiintyivät etikkahapon butyyliesteri, 1-asetoksi-2-etoksietaaani ja

muovimattojen emittoima 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli, di-isobutyraatti (TXIB).

NORMAALI- JA VALITUSASUNNOT

Taulukossa 2 on verrattu niiden valitus- ja normaaliasuntojen prosentuaalista määrää, joissa yksittäisen VOC:n pitoisuus oli 5-10, 10-50, 50-200 ja 200-1000 kertaa suurempi kuin VOC:n pitoisuuden mediaani normaaliasunnossa. Yli 50-kertaisia ylityksiä mediaaniin nähden ei todettu yhdessäkään normaaliasunnossa, mutta noin joka viidennessä valitusasunnossa (vrt. Taulukko 3). Pitoisuuksien suuren vaihtelun takia, myös normaaliasunnoissa todettiin joidenkin VOC:ien pitoisuuksien ylittävän 5-10 ja 10-50 kertaa mediaanin, mutta selvästi harvemmin kuin valitusasunnoissa.

Aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet olivat noin 10-15%:ssa kaikista valitusasunnoista selkeästi suuremmat kuin normaaliasunnoissa. Useimmiten toluenin, etyylibentseenin, ksyleenien ja propyylibentseenin pitoisuudet olivat poikkeuksellisen korkeita, joissakin asunnoissa jopa satoja kertoja korkeammat kuin normaalisti. Alkyylibentseenien päästölähteiksi todettiin tässä tutkimuksessa mm. saastunut maaperä, pakokaasut ja liimat. Alkyylysykloheksaaneja ja terpeenejä todettiin myös useissa valitusasunnoissa kohonneina pitoisuuksina. Terpeenien pitoisuudet olivat selvästi normaalia korkeammat, jos asunnossa oli käytetty terpeenejä sisältäviä puhdistusaineita ja hajusteita. Yksittäisistä yhdisteistä 1,1,1-trikloorietaanin ja tetrakloorieteenin pitoisuudet olivat ainakin viisi kertaa korkeammat kuin normaalisti noin joka neljännessä valituskohteessa. Tetrakloorieteeniä käytetään kuivapesuaineena ja usein korkeita pitoisuuksia mitattiin asunnoissa, joissa säilytettiin kuivapesulla pestyjä vaatteita. Trikloorieteeniä ja 1,4-diklooribentseeniä todettiin kohonneina pitoisuuksina useista valitusasunnoista, mutta poikkeuksellisen paljon myös normaaliasunnoista. TXIB, joka tulee huoneilmaan muovimatoista, näyttäisi myös esiintyvän usein valitusasunnoissa kohonneena pitoisuutena.

Yhdiste	Norm. asunnon	Normaaliasunnot				Valitusasunnot			
	mediaani (ug/m3)	5-10 (%)	10-50 (%)	50-200 (%)	200-1000 (%)	5-10 (%)	10-50 (%)	50-200 (%)	200-1000 (%)
KLOORATUT									
1,1,1-trikloorietaani	1,03	8,0	-	-	-	13,2	10,5	2,6	-
trikloorieteeni	0,25	4,0	6,0	-	-	7,9	5,3	-	-
tetrakloorieteeni	0,30	-	2,0	-	-	13,2	10,5	2,6	-
1,1,2,2-tetrakloorietaani	0,00	-	-	-	-	-	5,3	-	-
klooribentseeni	0,00	2,0	2,0	-	-	2,6	-	-	-
1,4-diklooribentseeni	0,08	6,0	18,0	-	-	7,9	2,6	5,3	-
2,4-diklooritolueeni	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2,4-triklooribentseeni	0,10	2,0	-	-	-	-	-	-	-
AROMAATTISET									
bentseeni	3,11	2,0	-	-	-	5,3	2,6	-	-
tolueeni	20,22	-	-	-	-	10,5	2,6	2,6	-
etyylibentseeni	2,41	-	-	-	-	-	10,5	-	2,6
1,4-ksyleeni	5,77	-	-	-	-	2,6	10,5	-	2,6
styreeni	0,46	2,0	2,0	-	-	7,9	-	2,6	-
1,2-ksyleeni	1,80	-	-	-	-	7,9	5,3	-	2,6
propyylibentseeni	0,62	-	2,0	-	-	10,5	2,6	-	2,6
1,3,5-trimetyylibentseeni	0,68	2,0	-	-	-	5,3	5,3	-	2,6
1,2,4,5-tetrametyylibentseeni	0,16	4,0	-	-	-	2,6	5,3	-	2,6
1,3,5-trietyylibentseeni	0,00	6,0	-	-	-	-	2,6	2,6	-
naftaleeni	0,31	6,0	-	-	-	2,6	5,3	5,3	-
1-metyylnaftaleeni	0,04	2,0	-	-	-	-	2,6	-	-
bifenyyli	0,05	-	2,0	-	-	-	-	-	-
ALIFAATTISET JA SYKLISET									
heptaani	1,02	4,0	-	-	-	2,6	7,9	2,6	-
oktaani	0,87	2,0	2,0	-	-	5,3	0,0	2,6	-
nonaani	1,48	2,0	4,0	-	-	2,6	2,6	2,6	-
dekaani	2,25	-	2,0	-	-	5,3	2,6	2,6	-
undekaani	1,76	2,0	-	-	-	7,9	5,3	2,6	-
dodekaani	0,89	8,0	-	-	-	7,9	2,6	-	-
tridekaani	0,60	4,0	-	-	-	5,3	-	-	-
tetradekaani	1,15	-	2,0	-	-	-	-	-	-
pentadekaani	1,06	2,0	-	-	-	-	-	-	-
hexadekaani	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-
metyyliisikloheksaani	0,68	10,0	-	-	-	5,3	13,2	-	2,6
propyyliisikloheksaani	0,38	4,0	4,0	-	-	10,5	2,6	-	2,6
TERPEENIT									
alfa-pineeni	7,70	-	2,0	-	-	10,5	2,6	-	-
delta-3-kareeni	1,90	8,0	-	-	-	10,5	7,9	-	-
limoneeni	8,83	4,0	-	-	-	10,5	-	-	-
kamfori	0,22	2,0	-	-	-	10,5	5,3	-	-
ALDEHYDIT									
heksanaali	5,41	-	-	-	-	-	5,3	-	-
oktanaali	3,62	-	2,0	-	-	5,3	2,6	2,6	-
nonanaali	2,97	-	-	-	-	2,6	-	-	-
2-furankarboksisaldehydi	1,05	4,0	-	-	-	-	-	-	-
bentsaldehydi	1,79	-	-	-	-	2,6	2,6	-	-
MUUT									
1-pentanol	1,62	2,0	2,0	-	-	4,2	2,6	2,6	-
fenoli	0,70	2,0	-	-	-	-	-	-	-
butyyliasetaatti	2,29	2,0	2,0	-	-	-	-	-	-
1-asetoksi-2-etoksietaani	0,10	2,0	2,0	-	-	2,6	2,6	2,6	-
6-metyyli-5-hepten-2-oni	1,26	-	-	-	-	-	-	-	-
txib	1,62	10,0	-	-	-	7,1	21,4	-	-
TVOC	121,01	-	-	-	-	-	2,6	-	-
Keskiarvo		2,4	1,2	-	-	4,5	3,8	0,9	0,4

Taulukko 2. Valitus- ja normaaliasuntojen prosentuaaliset määrät, joissa yksittäisen VOC:n pitoisuus oli 5-10, 10-50, 50-200 ja 200-1000 kertaa suurempi kuin VOC:n pitoisuuden mediaani normaaliasunnossa.

Taulukossa 3 on esitetty niiden asuntojen prosentuaalinen määrä, joissa ainakin yhden VOC:n pitoisuus ylittää 5-10, 10-50, 50-200 ja 200-1000 kertaaisesti pitoisuuden mediaanin normaaliasunnoissa. Tämäkin vertailu osoittaa, että VOC:ja esiintyy korkeina pitoisuuksina useammin valitus- kuin normaaliasunnoissa. Ainakin yhden VOC:n pitoisuus oli vähintään 50 kertaa suurempi kuin normaaliasunnon mediaani noin joka viidennessä valitusasunnossa, mutta ei yhdessäkään normaaliasunnossa. Taulukoissa 2 ja 3 esitettyjen tulosten perusteella VOC:ien pitoisuuksia huoneilmassa voidaan pitää poikkeuksellisen korkeina, jos pitoisuudet ovat 10-50 kertaa korkeammat kuin pitoisuuksien mediaani normaaliasunnoissa.

Ylitys	Normaali asunto (%)	Valitus asunto (%)
5-10	52	66
10-50	40	53
50-200	0	18
200-1000	0	2,6

Taulukko 3. Valitus- ja normaaliasuntojen prosentuaaliset määrät, joissa ainakin yhden VOC:n pitoisuus ylittää 5-10, 10-50, 50-200 ja 200-1000 kertaaisesti pitoisuuden mediaanin normaaliasunnoissa

Noin 40-50%:ssa kaikista tutkituista valitusasunnoista VOC:ien pitoisuudet olivat normaalitasoa. Näissä tapauksissa valituksen aiheuttaja voi olla jokin muu tekijä kuin VOC, esimerkiksi jokin mikrobi, pöly tai orgaaninen yhdiste, jota käytetyllä menetelmällä ei kyetä analysoimaan. Tällaisia yhdisteitä ovat erittäin haihtuvat, polaariset tai haihtumattomat yhdisteet. Niissäkin asunnoissa, joissa VOC:n pitoisuus huoneilmassa selkeästi ylittää normaalitason, todettua yhdistettä ei voida kiistatta osoittaa valituksen aiheuttajaksi, koska huoneilman laatu määräytyy useiden tekijöiden summana. Toisaalta VOC:t voivat aiheuttaa myös hyvin pieninä pitoisuuksina oireita yliherkkyydestä kärsiville henkilöille. Vaikka VOC:ien osoittaminen valituksen aiheuttajaksi on vaikeata, se on kuitenkin joissakin tapauksissa mahdollista. Seuraavassa on esitetty tapauksia, joissa valituksen aiheuttajaksi on osoittautunut jokin VOC.

TAPAUSSKOHTAISIA ESIMERKKEJÄ

Taulukossa 4 on esitetty tapauskohtaisia esimerkkejä valitusasunnoista. Asunnossa 1 asukkaat valittivat bensiinin hajusta sekä oireista, jotka muistuttivat sairaan talon oireyhtymää. Asunnosta todettiin erilaisia aromaattisia, alifaattisia ja sykliisiä hiilivetyjä, joiden pitoisuudet ylittivät 50-1000 kertaisesti pitoisuuksien mediaanin normaaliasunnoissa. Todetut yhdisteet ovat tyypillisiä bensiinin komponentteja. Valituksen aiheuttajaksi paljastui läheinen huoltoasema, jonka maanalaiseen tankkiin oli tullut vuoto. Bensiini voi kulkeutua kaasumaisessa muodossa maaperässä pitkienkin matkojen päähän. Huoneilmaan yhdisteet voivat tulla suoraan maan pinnan alapuolella olevan seinän läpi, sähköjohtojen ja viemäriputkien läpivientien kautta tai viemäriverkoston kautta. Tässä tapauksessa yhdisteiden todettiin kulkeutuvan asuntoon viemäriverkoston kautta, koska bensiinin komponenttien pitoisuudet käymälässä olivat selvästi korkeammat kuin olohuoneessa. Vuoden kuluttua laajojen maaperäsaneerausten jälkeen huoneilman aromaattisten yhdisteiden pitoisuudet olivat pudonneet normaalitasolle.

Valituskohde 2 oli vanhan pesulan tiloihin rakennettu päiväkotikoti. Päiväkodin työntekijät ja lapset valittivat sairaan talon oireyhtymää muistuttavia oireita. Lisäksi lattiamattoihin oli ilmaantunut värillisiä läikkiä. Päiväkodista otetusta näytteestä todettiin tetrakloorieteeniä $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä on noin 100 kertaa enemmän kuin normaaliasunnoissa. Lattiamaton ja betonilattian todettiin myös emittoivan poikkeuksellisen runsaasti tetrakloorieteeniä. Pesulassa on aikoinaan käytetty tetrakloorieteeniä kuivapesuaineena, jota on mahdollisesti päässyt betonilattialle. Tetrakloorieteeni on adsorboitunut betoniin, josta se on vapautunut hiljalleen aiheuttaen mahdollisesti lattiamaton pigmentin muutoksia sekä kohonneen pitoisuuden huoneilmassa.

Huoneilmaan voi tunkeutua myös pakokaasuja virheellisen ilmastoinnin myötä tai rakenteissa olevien halkeamien kautta. Esimerkkinä tällaisesta on valituskohde 3, jossa valitettiin hetkellisiä pakokaasujen hajuja sekä päänsärkyä. Kohteen alakerrassa oli pysäköintihalli. Hallin ilmastointikanavan poistoputken edestä

YHDISTE	Norm. asunnon	VALITUSASUNTO						
	mediaani	1	2	3	4	5	6	7
	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)
HALOGENOIDUT								
1,1,1-trikloorietaani	1,03	55,05	0,99	0,88	13,53	5,32	0,69	9,49
trikloorieteeni	0,25	0,00	0,29	1,28	4,30	0,75	0,48	0,38
tetrakloorieteeni	0,30	1,86	29,85	0,73	0,43	0,73	0,19	0,24
1,1,2,2-tetrakloorietaani	0,00	0,00	0,00	0,13	0,39	0,00	0,00	0,00
klooribentseeni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
1,4-diklooribentseeni	0,08	0,00	0,00	0,28	5,36	0,95	0,00	0,11
2,4-diklooritolueeni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,2,4-triklooribentseeni	0,10	0,00	0,00	0,08	0,14	0,21	0,00	0,00
AROMAATTISET								
bentseeni	3,11	21,20	1,96	38,53	5,41	3,96	2,46	1,60
tolueeni	20,22	2526,24	4,60	101,54	29,99	11,33	155,88	174,35
etyylibentseeni	2,41	747,24	2,74	19,72	3,03	3,30	5,31	2,25
1,4-ksyleeni	5,77	2241,03	5,89	50,25	9,53	7,49	17,13	5,46
styreeni	0,46	6,20	0,56	3,17	1,28	43,82	0,84	1,98
1,2-ksyleeni	1,80	1101,35	1,74	22,33	3,35	2,45	6,16	1,81
propyylibentseeni	0,62	349,00	1,34	5,55	0,73	0,69	5,95	0,51
1,3,5-trimetyylibentseeni	0,68	421,05	1,16	6,84	0,72	0,67	6,76	0,55
1,2,4,5-tetrametyylibentseeni	0,16	75,16	0,18	1,38	0,26	0,13	3,33	0,30
1,3,5-trietyylibentseeni	0,00	3,57	0,00	0,02	0,13	0,03	0,20	0,00
naftaleeni	0,31	16,20	0,24	1,74	0,66	26,26	0,86	0,72
1-metyyli-naftaleeni	0,43	2,89	1,08	0,24	0,28	0,23	0,81	1,13
bifenyylä	0,05	0,17	0,00	0,07	0,11	0,10	0,00	0,00
ALIFAATTISET JA SYKLISET								
heptaani	1,02	2,34	1,66	9,13	1,60	1,18	1,49	46,22
oktaani	0,87	221,23	0,77	2,36	1,53	1,84	4,40	0,50
nonaani	1,48	225,45	4,96	1,70	1,58	2,54	30,77	5,79
dekaani	2,25	340,94	7,79	3,54	3,15	4,28	62,02	13,17
undekaani	1,76	150,41	4,06	2,29	2,70	2,84	44,01	11,40
dodekaani	0,89	20,40	1,21	1,15	1,46	1,61	7,63	5,62
tridekaani	0,60	4,64	0,00	0,51	1,44	0,70	0,00	0,00
tetradekaani	1,15	0,00	2,22	0,66	2,49	1,41	1,25	2,10
pentadekaani	1,06	0,00	2,22	0,67	3,09	0,71	0,96	2,08
hexadekaani	1,10	0,00	1,72	0,27	2,21	0,24	1,01	2,30
metyylisykloheksaani	0,68	484,11	1,42	11,81	0,63	0,60	1,00	7,88
propylisykloheksaani	0,38	12,01	1,18	0,66	0,54	0,68	8,54	2,82
TERPEENIT								
alfa-pineeni	7,70	0,00	6,64	1,64	6,95	4,11	34,10	45,12
delta-3-kareeni	1,90	1,24	1,64	0,24	2,02	1,07	8,60	17,23
limoneeni	8,83	5,02	1,18	3,63	34,19	25,54	20,03	86,63
karnfori	0,22	2,26	0,15	0,07	1,56	0,81	0,34	3,05
ALDEHYDIT								
heksanaali	5,41	86,51	0,78	1,94	32,12	9,06	80,88	5,27
oktanaali	3,62	166,31	5,54	1,78	3,50	4,07	47,54	11,70
nonanaali	2,97	32,12	0,00	0,47	5,91	4,94	1,08	2,71
2-furankarboxialdehydi	1,05	0,33	0,09	0,46	1,02	4,02	1,19	2,10
bentsaldehydi	1,79	4,09	2,21	3,46	1,42	3,39	2,08	3,71
MUUT								
1-pentanolä	1,62	209,28	0,16	6,80	3,22	2,02	1,46	1,53
fenolä	0,70	0,84	0,34	1,64	1,65	2,66	0,66	1,08
butyyliasetaatä	2,29	0,49	0,27	2,15	11,38	1,53	0,83	3,78
1-asetoksi-2-etoksietaaä	0,10	0,00	0,55	0,74	32,08	0,08	0,00	1,52
6-metyyli-5-hepten-2-oni	1,26	0,00	0,00	0,00	3,09	0,67	0,79	0,00
txib	1,62	0,32	0,77	2,11	1,23	0,45	8,50	7,47
TVOC	121,01	9538,20	102,15	316,65	242,15	191,02	578,29	493,66

Taulukko 4. VOC:ien pitoisuudet eräissä valituskohteissa.

otettu näyte oli GC/MS analyysin perusteella hyvin samanlainen kuin valituskohteesta otettu näyte. Ilmastointiin tehdyt korjaukset poistivat ongelman.

Esimerkkinä kulutustavaroiden emissioista on asunto 4. Asukas valitti jatkuvasta päänsärystä ja pahoinvoinnista sekä pahasta hajusta. Asunnosta todettiin 1,1,1-trikloorietaania, trikloorieteeniä, 1,4-diklooribentseeniä ja 1-asetoksi-2-etoksietäänia selvästi kohonneina pitoisuuksina. Todettujen yhdisteiden päästölähteeksi todettiin asukkaan hankkima uusi nahkasohva, jonka poistaminen asunnosta poisti sekä hajuongelman että oireet. Tapaus osoittaa, että kulutustavaroita hankittaessa on kiinnitettävä huomiota myös mahdollisiin hajuhaittoihin.

Usein päästölähdettä ei kuitenkaan kyetty tarkasti määrittämään, vaikka yksittäisten VOC:ien pitoisuudet selkeästi ylittivät normaalitason. Tällaisesta tapauksesta on esimerkkinä asunto 5. Huoneistossa todettiin selvästi kohonneena pitoisuutena styreeniä ja naftaleeniä. Styreenin päästölähteeksi epäiltiin polymeeripohjaista hartsiä, mutta naftaleenin päästölähdettä ei kyetty selvästi osoittamaan. Asunnoissa 6 ja 7 todettiin useiden yhdisteiden pitoisuuksien ylittävän normaalitason. Yhdisteiden päästölähteiksi epäiltiin rakennusmateriaaleja, mutta päästölähteitä ei kyetty yksiselitteisesti selvittämään.

YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

VOC:ien pitoisuudet huoneilmassa ovat selkeästi korkeammat kuin kaupunkialueen ulkoilmassa. Tutkittujen yhdisteiden yhteenlaskettujen pitoisuuksien (TVOC) mediaani huoneilmassa oli $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ulkoilmassa $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat suuresti eri asunnoissa, mikä osoittaa, että huoneilman laatuun vaikuttavat suuresti rakennus- ja sisustusmateriaalit, kalusteet ja ihmisen oma toiminta. Pitoisuuksien suuren vaihtelun takia vasta noin 10-50 kertaisia pitoisuuksia normaalitasoon verrattuna voidaan pitää poikkeuksellisen korkeina. Korkeita pitoisuuksia todettiin useammin valitus- kuin normaaliasunnoissa. Kuitenkin noin joka toisessa valitusasunnossa VOC:ien pitoisuudet olivat normaalitasoa. Noin joka viidennessä valitusasunnossa valituksen aiheuttaja

pystyttiin käytetyllä menetelmällä selkeästi osoittamaan ja eliminoimaan. Aromattisten hiilivetyjen, metyyliisikloheksaanin, terpeenien, 1,1,1-trikloorietaanin ja tetrakloorieteenin pitoisuudet valitusasunnoissa olivat tavallisimmin poikkeuksellisen korkeita.

VOC:ien pitoisuudet normaaliasunnoissa olivat noin 10000-100000 alhaisemmat kuin HTP_{8h} -arvot /11/. Tutkittujen yhdisteiden todettiin aiheuttavan selkeitä oireita valitusasunnoissa (Taulukko 4), joissa pitoisuudet olivat noin 100-1000 kertaa alhaisemmat kuin HTP_{8h} -arvot. Edellä esitettyjen seikkojen perusteella VOC:ien enimmäispitoisuuksille esitetty nykyinen suositus /12/, joka on 10 kertaa HTP_{8h} -arvoja alhaisempi, on aivan liian korkea. Raja-arvoiksi voitaisiin harkita yhdisteestä riippuen noin 1000 kertaa alhaisempia pitoisuuksia kuin HTP_{8h} -arvot, mitkä olisivat vieläkin noin 100 kertaa korkeammat kuin VOC:ien pitoisuudet normaaliasunnoissa.

VOC:ien emissioita voidaan pienentää oikeiden rakennusmateriaalien valinnalla sekä järjestämällä asuntoihin riittävän tehokas ilmanvaihto. Jatkotutkimuksissa tullaan kiinnittämään erityistä huomiota rakennusmateriaalien emissioihin. Pyrkimyksenä on myös kehittää yksinkertainen ja luotettava menetelmä ilman vaihtuvuuden mittaamiseksi.

KIITOKSET

Tekijät kiittävät Markku Viinikkaa, Pirjo Mölsää ja Helena Poutasta heidän avustaan tämän tutkimuksen tekemisessä.

KIRJALLISUUS

1. WHO (1983). Indoor Air Pollutants; Exposure and Health Effects Assessment. Euro reports and studies working group, report No. 78; Nördlingen, WHO, Copenhagen
2. R. Kostianen, T. Sinervo, S. Nokelainen, M. Viinikka ja S. Mykkänen, Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 8, 1992, Helsinki.
3. L. Möllhave, Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health, Indoor Air'90, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, 15-33, 1990.
4. C. Krause, W. Mailahn, R. Nagel, B. Seifert, D. Ullrich, Occurrence of Volatile Organic Compounds in the Air of 500 Homes in the Federal Republic of Germany, Indoor Air' 87, Vol 1, 102-106, Berlin 17- 21 August, 1987.
5. M.S. Black, C.W. Bayer, Measurement of Indoor Air Quality in Office Building Environments in Relation to Construction Materials, Healthy Buildings' 88, Stockholm, Vol. 3., 311-326.
6. M. De Bortoli, H. Knöppel, E. Pechio, A. Peil, L. Rogora, H. Schauenburg, H. Schlitt, H. Vissers, Measurements of Indoor Air Quality and Comparison with Ambient Air, Report EUR 9656 EN, Comm. Europ. Commun. Luxembourg, 1985.
7. M.M. Samfield, Indoor Air Quality Data Base for Organic Compounds: EPA-600/13, 1992.

8. K. Saarela, Rakennusmateriaalien orgaaniset päästöt ja niiden vähentäminen, Ympäristöministeriö, Kaavoitus- ja rakennusosasto, Selvitys 3, 1992, s. 48.
9. L.A. Wallace, The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study; Summary and Analysis: EPA-600/19, Volume 1, 1987, 107.
10. J. Rintala, M. Viinikka, S. Ahonen ja P. Forss, Asuntojen formaldehyditutkimukset Helsingissä 1981-1989, Helsingin ympäristölautakunnan julkaisuja 4/1991, Helsinki 1991.
11. HTP-arvot 1993, Turvallisuustiedote 25, 1993, Työministeriö, Kemian työsuojeluneuvottelukunta, Tampere 1993
12. T. Assmuth, T. Strandgerg, A. Jouti ja K. Kalevi, Kemiallisesti saastuneen maaperän tutkimusmenetelmät, Vesi- ympäristöhallitus, Helsinki 1992, s. 100.

Taulukko 5. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden normaalipitoisuudet, hajukynnysarvot, työhygieniaraja-arvot ja mahdolliset päästölähteet.

Yhdiste	Mediaani ja (keskiarvo) normaaliasunnossa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hajukynnysarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Työhygieniaraja-arvo (mg/m^3)	Mahdollinen päästölähde
KLOORATUT YHDISTEET				
1,1,1 -Trikloorietaani	1,03 (1,55)	$2,1 \cdot 10^6$	540	liimat, kuivapesuaineet, liuotin
Triklloorieteeni	0,25 (0,97)		160	maalien liuottimet, kuivapesuaineet, liimat, vaahtoeristeet, musteet, valokuvausfilmit
Tetrakloorieteeni	0,30 (0,46)	$3,1 \cdot 10^4$ - $3,2 \cdot 10^5$	335	kuivapesuaineet, liimat, vaahtoeristeet, musteet
1,1,2,2-Tetrakloorietaani	0,00 (0,07)		7	
Klooribentseeni	0,00 (0,02)		230	maalit, torjunta-aine
1,4-Diklooribentseeni	0,08 (0,65)	$9,0 \cdot 10^4$	450	deodorantit, koimyrkky
2,4-Diklooritolueeni	0,00 (0,03)			
1,2,4-Triklooribentseeni	0,10 (0,21)		40	deodorantit, koimyrkky
AROMAATTISET YHDISTEET				
Bentseeni	3,11 (4,90)	$4,5 \cdot 10^3$ - $1,8 \cdot 10^5$	15	tupakka, liimat, liuottimet, lastulevyt, vaahtoeristeet, musteet, pakokaasut
Tolueeni	20,22 (21,27)	$8,0 \cdot 10^3$ - $1,4 \cdot 10^5$	375	liimat, tapetit, kalsiumsilikaattilevyt, lattiapäällysteet, maalit, lastulevyt, tupakka, pakokaasut, bensiini
Etylibentseeni	2,41 (3,2)		435	lattia- ja seinäpinnoitteet, vaahtoeristeet, lastulevyt, tiivistysaineet, liimat, kalsiumsilikaattilevyt, maalit, lakat, liuottimet, polyuretaani, pakokaasut, bensiini
1,4- ja 1,3- Ksyleeni	5,77 (7,42)	$348-1,0 \cdot 10^5$	435	Kts. etylibentseeni
Styreeni	0,46 (0,75)	$202-2,1 \cdot 10^3$	85	Kts. etylibentseeni, hartsit
1,2-Ksyleeni	1,80 (2,37)	$348-1,0 \cdot 10^5$	435	Kts. etylibentseeni
Propyylibentseeni	0,62 (0,84)			maalit, pakokaasut
1,3,5-Trimetyylibentseeni	0,68 (0,86)	$4,5 \cdot 10^3$	120	liimat, lattiapinnoitteet, tapetit, lattiavahat, polyuretaani
1,2,4,5-Tetrametyylibentseeni	0,16 (0,25)			maalit, pakokaasut
1,3,5-Trietylibentseeni	0,00 (0,02)			Kts. 1,3,5-trimetyylibentseeni
Naftaleeni	0,31 (0,44)	$1,5 \cdot 10^3$ - $3,8 \cdot 10^4$	50	polttoöljyt, pakokaasut, koimyrkky
1-Metyylinaftaleeni	0,04 (0,08)	58-95		polttoöljy, pakokaasut
Bifenyylit	0,05 (0,16)		1	pakokaasut

Yhdiste	Mediaani ja (keskiarvo) normaaliasunnossa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hajukynnys-arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Työhygieniaraaja-arvo (mg/m^3)	Mahdollinen päästölähte
ALIFAATTISET JA SYKLISET HIILIVEDYT				
Heptaani	1,02 (1,67)		1200	liuotin, pakokaasut
Oktaani	0,87 (1,35)		1400	lattiapäällysteet, liimat, lattiavaha
Nonane	1,48 (3,01)	$6,0 \cdot 10^4$ - $3,4 \cdot 10^6$	1050	Tapetit, tiivistysaineet, lattiapinnoitteet, lastulevyt, liimat, lattiavaha, polyuretaani, pakokaasut
Dekaani	2,25 (3,45)	$3,1 \cdot 10^4$		Kts. nonaani
Undekaani	1,76 (2,22)	$2,3 \cdot 10^4$		Kts. nonaani
Dodekaani	0,89 (1,45)	$3,7 \cdot 10^4$		Kts. nonaani
Tridekaani	0,60 (0,82)			polttoöljy, pakokaasut
Tetradekaani	1,15 (1,83)			pakokaasut
Pentadekaani	1,06 (1,73)			pakokaasut
Heksadekaani	1,10 (1,08)			pakokaasut
Metyylisykloheksaani	0,68 (1,17)		1600	pakokaasut, liuotin
Propyyllisykloheksaani	0,38 (0,67)			
TERPEENIT				
Alfa-pineeni	7,70 (9,32)	847		puumateriaalit, hajusteet, puhdistusaineet, kuitulevyt, kipsilevyt, liuottimet, maalit, lastulevy
delta-3-kareeni	1,90 (2,76)			Kts. alfa-pineeni
Limoneeni	8,83 (14,20)	10-56		Kts. alfa-pineeni, lattiavahat
Kamfori	0,22 (0,30)	$7,8 \cdot 10^3$ - $8,7 \cdot 10^3$		koimyrkky
ALDEHYDIT				
Heksanaali	5,41 (6,60)	39		Polyuretaani, lattiavahat, lastulevyt, hajusteet, keinokuidut, tapetit
Oktanaali	3,62 (4,63)			Kts. heksanaali
Nonanaali	2,97 (3,57)	374		Kts. heksanaali
2-furankarboxialdehydi	1,05 (1,56)			
Bentsaldehydi	1,79 (2,09)	$8-3,7 \cdot 10^3$		Pakokaasut, lastulevyt, kuitulevyt
MUUT				
1-Pentanol	1,62 (2,56)	$3 \cdot 10^3$		Liuotin
Fenoli	0,70 (0,88)		19	Lattiamatot

Yhdiste	Mediaani ja (keskiarvo) normaaliasunnossa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hajukynnys-arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Työhygieniara- arvo (mg/m^3)	Mahdollinen päästölähde
Butyyliasetaatti	2,29 (3,52)	$3,5 \cdot 10^3$	710	Lakat, liimat
1-asetoksi-2-etoksietaani	0,10 (0,30)			
6-metyyli-5-heptenoni	1,26 (1,73)			tekstiilit
TXIB	1,62 (3,52)			muovimatot

HELSINGIN KAUPUNGIN
YMPÄRISTÖKESKUS
Sturenkatu 25
00510 HELSINKI

KUVAILELEHTI

Tekijä(t) Risto Kostiainen, Sirpa Nokelainen ja Seppo Ahonen			
Nimike Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa			
Julkaisija	Julkaisuaika	Sivumäärä	Liitteet
Helsingin kaupungin ympäristökeskus	1994	18	1
Sarjan nimike		Osanumero	
Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja		13/94	
ISSN-numero 1235-9718	Kieli		
ISBN-numero 951-772-553-1	Koko teos	Tiivistelmä	Taulukot
	fin	fin, swe	fin
Avainsanat Huoneilma, valitusasunto, normaaliasunto			
UDK			
Lisätietoja: Risto Kostiainen, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, ympäristölaboratorio Helsinginkatu 24, 00530 Helsinki puh. 7099 2658			

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1994

1. Lasten sairastuvuus päiväkodeissa ja ryhmäperhepäiväkodeissa Helsingissä ja Mäntsälässä
2. Jauhelihan laatu Helsingissä vuosina 1990 - 1993
3. Helsingin kaupungin ympäristönsuojelun tavoite- ja toimenpideohjelma vuosille 1994 - 98
4. Terveysthuollon toimipisteiden jätehuolto
5. Review of the state of the environment in Helsinki
6. Helsingin ja Espoon merialueiden veloitettarkkailu vuonna 1993
7. Saastuneiden maa-alueiden kunnostusmenetelmät Helsingissä
8. Ääneneristävyys helsinkiläisissä kerrostaloissa
9. Miljövärden i Helsingfors stad
Målsättnings- och åtgärdsprogram för åren 1994 - 1998
10. Pohjaeläimistö ja pohjasedimentti Helsingin ja Espoon merialueilla vuonna 1991
11. Korujen nikkelpitoisuuden valvonta
12. Ilmansaasteet, iskeemiset sydänsairaudet ja aivoverenkiertohäiriöt Helsingissä
13. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa

Julkaisujen tilaus:

ympäristökeskuksen tiedotus
Sturenkatu 25, 00510 HELSINKI
puh. 7099 2815, fax 7099 2842

ISSN 1235-9718

ISBN 951-772-553-1