



Helsingin kaupungin

Ympäristökeskuksen julkaisuja

8/92



Haihtuvat
orgaaniset yhdisteet
sisäilmassa

Risto Kostiainen, Tuija Sinervo, Sirpa Nokelainen,
Markku Viinikka ja Sirpa Mykkänen

HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET SISÄILMASSA

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	1
REFERAT.....	2
JOHDANTO.....	3
MENETELMÄ.....	5
TULOKSET JA POHDINTA.....	5
Aromaattiset hiilivedyt.....	6
Alifaattiset ja sykliiset hiilivedyt.....	7
Halogenoidut hiilivedyt.....	7
Terpeenit.....	8
Aldehydit ja ketonit.....	8
Alkoholit, esterit ja hapot.....	9
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet normaali- ja valitusasunnoissa.....	9
YHTEENVETO.....	11
KIRJALLISUUS.....	12
LIITE 1 (Taulukko 2).....	13

TIIVISTELMÄ

Työssä tutkittiin termodesorptio-kaasukromatografia-massaspektrometrilla 13 näytettä asunnoista, joista valitettiin huonon ilman laadun takia ja 13 näytettä normaaliasunnoista. Työssä selvitettiin mitä orgaanisia yhdisteitä sisäilmassa esiintyy ja mitkä yhdisteet aiheuttavat valituksia.

Tutkittujen näytteiden perusteella voidaan todeta, että sisäilmassa esiintyy useita satoja erilaisia yhdisteitä. Yleisimmin esiintyviä yhdisteitä olivat terpeenit, lyhytketjuiset alkyylibentseenit, alkaanit, alifaattiset aldehydit, jotkut sykloalkaanit ja tetrakloorieteeni. Todettujen yhdisteiden suhteelliset määrät vaihtelivat paljon eri asuntojen kesken.

Tutkituista valitusasunnoista (13 kpl) voitiin osoittaa mahdollinen valituksen aiheuttaja 7:ssä tapauksessa. Valituksen aiheuttajia tutkituissa asunnoissa olivat todennäköisesti erilaiset alkyylibentseenit (varsinkin C_7 - C_{14} -alkyylibentseenit), n-heptaani, C_{1-3} -sykloalkaanit, tetrakloorieteeni, 1,4-diklooribentseeni, alifaattiset aldehydit, butanoli, etikkahappo, fenoli ja fenyylialkoholi. Tutkittujen näytteiden perusteella näyttäisi siltä, että mitään yksittäistä yhdistettä tai yhdisteryhmää ei voida osoittaa yleisesti valituksen aiheuttajaksi, vaan ongelmat ovat lähinnä tapauskohtaisia.

REFERAT

I arbetet undersöktes 26 luftprov tagna i bostäder termo-desorptions-gaskromatografi-massspektrometriskt. I hälften av fallen hade klagomål angående bostadens luftkvalitet framförts. 13 av proven var tagna i normal bostäder. I arbetet klarlades vilka organiska föreningar som förekommer i rumsluft och vilka föreningar som orsakar klagomål.

På basen av de undersökta proven konstaterades att det i rumsluft förekommer flere hundra olika föreningar. Oftast förekom föreningar som terpenier, alkylbensener med kort kolkedja, alkaner, alifatiska aldehyder, vissa sykloalkaner och tetrakloreten. I olika bostäder varierade mängdförhållandena av de påvisade föreningarna mycket.

För bostäderna med klagomål (13 st) kunde en möjlig orsak till klagomålet påvisas i sju fall. Det som förorsakade klagomål i de undersökta bostäderna var sannolikt olika alkylbensener (i synnerhet C_{7-14} -cyklobensenerna), n-heptan, C_{1-3} -cykloalkanerna, tetrakloreten, 1,4-diklorbensen, alifatiska aldehyder, butanol, ättiksyra, fenol och fenylalkohol. På basen av de undersökta proven verkar det som om man inte kan peka på något enskilt ämne eller någon förening som allmänt skulle orsaka klagomålen. Problemen tycks vara olikartade i de enskilda fallen.

JOHDANTO

Ilman laadun vaikutus ihmisen terveyteen on tullut yhä tärkeämmäksi kysymykseksi viimeisten vuosikymmenten aikana. Liikenteen ja teollisuuden päästöt, lisääntyvä kemikaalien käyttö ja kasvava energian tarve ovat lisänneet ilman epäpuhtauksien määrää. Lukuisten tutkimusten seurauksena useille ulko- ja työpaikkailman orgaanisille yhdisteille on asetettu enimmäispitoisuusraja-arvot. Ulko- ja työpaikkailman laatu onkin otettu huomioon yhteiskuntasuunnittelussa. Vastaavanlaista huomiota ei ole kiinnitetty asuntojen sisäilman laatuun. Kuitenkin orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet sisäilmassa saattavat olla huomattavasti korkeampia kuin ulkoilmassa. Lisäksi ihmiset, varsinkin pikkulapset, vanhukset ja sairaat, viettävät suurimman osan ajastaan sisällä. Voidaankin olettaa, että väestön terveyteen vaikuttavat enemmän sisäilman kuin ulkoilman epäpuhtaudet. Sisäilman epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa oireita (sick building syndrome), jotka maailman terveysjärjestö (WHO) 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, päänsrky, pahoinvointi ja huimaus.
4. Lajittelemattomat yliherkkyysoireet
 - vuotavat silmät ja nenä, sekä astmaattiset oireet ihmisillä, joilla ei ole todettu astmaa
5. Haju- ja makuaistien muutokset

Sisäilma on monien kuormituslähteiden emittoimien yhdisteiden ja rakennuksen ilmanvaihdon välinen tasapainotila. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden lähteinä voivat olla ulkoilma, maaperä, rakennus- ja sisustusmateriaalit, materiaalien hajoamistuotteina syntyneet kemialliset yhdisteet, bioaerosolit, partikkelit sekä ihmisen oma toiminta; tupakointi, avoliekit, ruuanlaitto, pesu- ja puhdistusaineet jne. (Taulukko 1) /2-7/. Myös epäorgaaniset materiaalit, kuten polymeeribetonit, lämmöneristeet ja tasoitteet sisältävät orgaanisia hartseja ja sideaineita, ja voivat siten olla mahdollisia päästölähteitä /7/. Suurimmat pitoisuudet haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on yleensä uusissa asunnoissa, sekä asunnoissa, joissa on vasta tehty remontti. Pitoisuuksien pitäisi kuitenkin pienentyä lkk-6kk jälkeen lähelle normaalitasoa /8/, muuten kyseessä voi olla materiaali- tai prosessointivika tai rakentamisessa on käytetty väärää materiaaleja.

Sisäilmasta tunnistettuja yhdisteitä on kymmeniä /3,9/. Yleisimmät yhdisteet ja niiden päästölähteet on esitetty taulukossa 1. Useiden päästölähteiden takia sisäilmassa esiintyvät yhdisteet ja niiden määrät saattavat vaihdella huomattavasti eri asuntojen kesken. Lisäksi sisäilma saattaa sisältää sellaisia erittäin haitallisia yhdisteitä, joita ei nykyisillä menetelmillä ole kyetty analysoimaan. Aikaisemmissa tutkimuksissa on keskitytty lähes poikkeuksetta määrittämään ennalta valittuja yhdisteitä. Sisäilmas- sa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mahdolli- simman täydellinen tunnistaminen on kuitenkin tullut yhä tärkeämmäksi.

Taulukko 1. Eräiden orgaanisten yhdisteiden lähteitä

<u>Yhdisteryhmä</u>	<u>esimerkki</u>	<u>lähde</u>
aromaattiset hiilivedyt	tolueeni, ksylee- nit, styreeni, alkyylibentseenit PAH-yhdisteet	maalit, liimat, puh- distusaineet, tupakointi, ulkoilma
alifaattiset ja sykliset hiilivedyt	nonaani, dekaani, alkyyli- heksaanit	aerosolit, ruuanlaitto, tupakointi, liuottimet, liikenne
halogenoidut hiilivedyt	tetrakloorieteeni tribromimetaani diklooribentseeni	maalinpoistoaineet, deodorantit, koimyr- diklooribentseeni kyt, kuivapesuaineet
terpeenit	a-pineeni, ka- reeni, limoneeni, junipeeni	hajusteet, puhdistus- aineet, puumateriaalit, hajusteet
aldehydit	formaldehydi, bentsaldehydi, heksanaali, nonanaali	lastulevyt, keinokuidut, tapetit, kosmetiikka, hajusteet

Nyt tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli keskittyä tunnistamaan sisäilman orgaanisia haihtuvia yhdisteitä termo-desorptio-kaasukromatografia-massaspektrometrialla. Työssä käytettiin erilaisia massaspektrometrisiä ionisointimene- telmiä: elektroni-ionisaatiota, positiivista ja negatiivista kemiallista ionisaatiota. Yhdisteiden tunnistamisessa käytettiin tavanomaisen matalan resoluution (1000) lisäksi korkeata resoluutiota (8000). Käytetyillä menetelmillä haihtuvat orgaaniset yhdisteet kyettiin tunnistamaan erit- täin luotettavasti. Työssä tutkittiin 13 näytettä asun- noista, joista valitettiin huonon ilman laadun takia ja 13 näytettä normaaliasunnoista. Työn tarkoituksena oli myös selvittää mitkä yhdisteet aiheuttavat valituksia vertailemalla yksittäisten yhdisteiden suhteellisia määriä valitus- ja normaaliasunnoissa.

MENETELMÄ

Näytteet kerättiin Tenax-TA (60/80 mesh, Chrompack) hart-silla (100 mg) täytettyihin lasiputkiin (pituus 17.6 cm, sisähalkaisija 3 mm) SKC low flow sample 222-3 pumpulla. Lasiputket puhdistettiin ennen täyttöä vedellä, metanolilla, dikloorimetaanilla ja heksaanilla. Putkissa käytetty lasivilla puhdistettiin vedellä, metanolilla, asetonilla ja heksaanilla mahdollisten orgaanisten yhdisteiden poistamiseksi. Pakatut lasiputket puhdistettiin vielä ennen näytteenottoa kuumentamalla niitä 280°C:ssa 14 tuntia helium virtauksessa (50 ml/min).

Sisäilmaa imettiin Tenaxputkien läpi n. 5 l virtausnopeudella 80 ml/min. Keräyksen jälkeen näyteputken päät suljettiin ja putket käärittiin alumiinifolioon. Näytteitä säilytettiin jääkaapissa vakuumiastiassa ja analysointi suoritettiin mahdollisimman pikaisesti.

Näytteet analysoitiin termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometrillä (TD-GC-MS). Termodesorptiolaitteisto oli Tekmar LC-2000, GC oli HP-5890 ja massaspektrometri oli Finnigan MAT 90 korkean erotuskyvyn massaspektrometri. Näytettä desorpoitiin termisesti 15 min:a lämpötilassa 250 °C, minkä jälkeen yhdisteet kerättiin kylmäloukkuun, jonka lämpötila oli -150 °C. Ennen termistä desorptiota tenaxputkiin 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.

Yhdisteiden tunnistamisessa käytettiin pääasiassa elektroni-ionisaatiota ja alhaista resoluutiota (1000). Tunnistamisen luotettavuuden takia käytettiin myös joidenkin näytteiden tunnistamisessa positiivista ja negatiivista kemiallista ionisaatiota (reagenssikaasu oli metaani). Korkeata resoluutiota (8000) ja elektroni-ionisaatiota käytettiin yhdisteiden alkuainekoostumuksien määrittämiseksi. Käytetty pyyhkäisyalue oli 45-500 u (1.5 s).

TULOKSET JA POHDINTA

Työssä analysoitiin yhteensä 26 sisäilmanäytettä. Yksittäisestä sisäilmanäytteestä tunnistettiin keskimäärin noin 150 erilaista yhdistettä. Yhteensä tunnistettuja yhdisteitä oli noin 200. Kaikista yhdisteistä, joiden suhteelliset määrät olivat suurempia kuin 1% kyettiin käytetyllä menetelmällä tunnistamaan 90-95%. On kuitenkin huomattava, että kaikkia yhdisteitä ei kyetty tunnistamaan matriisin monimutkaisuuden takia. Lisäksi käytetyllä menetelmällä ei kyettä analysoimaan erittäin haihtuvia,

hyvin polaarisia ja haihtumattomia yhdisteitä. Taulukossa 2 on esitetty tunnistetut yhdisteet, niiden suhteelliset retentioajat (S_{ra} ; $R(x)/R(a\text{-pineeni})$), normaali-asunnoista tunnistettujen yhdisteiden esiintymistiheys (n), yhdisteitä vastaavien kromatografia-piikkien suhteellisten pinta-alojen (A_x/A_{max}) keskiarvo (K_a), keskihajonta (K_h), mediaani (M_d) sekä maksimi- (Max) ja minimiarvot (Min). Taulukossa on esitetty myös valitusasunnoista tunnistettujen yhdisteiden suhteelliset pinta-alat. Esitettyjen pinta-alojen perusteella voidaan verrata normaali- ja valitusasunnoista tunnistettujen yhdisteiden suhteellisiä määriä. Suhteelliset pinta-alat eivät kuitenkaan ilmaise yhdisteiden pitoisuutta ilmassa. Tavallisimpia sisäilmassa esiintyviä yhdisteitä olivat erilaiset aromaattiset, alifaattiset, sykliset ja halogenoidut hiilivedyt, terpeenit ja erilaiset happea sisältävät yhdisteet.

Aromaattiset hiilivedyt

Tolueeni, styreeni (etenyylibentseeni), etyylibentseeni ja ksyleenin kolme isomeeria tunnistettiin jokaisesta tutkitusta näytteestä suurina suhteellisina määrinä. Kaikista näytteistä todettiin myös erilaisia C_3 - C_{14} -alkyylibentseenejä sekä usein pieniä suhteellisia määriä kahden renkaan sisältämiä polyaromaattisia hiilivetyjä (naftaleeni ja metyyli-naftaleeni). Vaikka työssä tutkittiin vain haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, eikä käytetyllä menetelmällä kyetä analysoimaan huonosti haihtuvia kaksirenkaisia suurempia polyaromaattisia hiilivetyjä, naftaleenin ja metyyli-naftaleenin esiintyminen sisäilmassa antaa olettaa, että sisäilmassa esiintyy myös muita polyaromaattisia hiilivetyjä.

Aromaattisten hiilivetyjen pääasiallisia lähteitä ovat maalit, liimat, puhdistusaineet, tupakointi, liikenne, teollisuus ja ulkoilma. Tolueeni, styreeni, ksyleenit ja erilaiset C_3 -alkyylibentseenit saattavat aiheuttaa suurina pitoisuuksina silmien ärsytystä, yskää, kurkunpään tulehtumista, päänsärkyä, pahoinvointia ja oksentelua. Tolueenilla ja ksyleenillä on narkoottinen vaikutus. Lisäksi tolueenin on epäilty aiheuttavan syöpää. C_4 - C_{11} -alkyylibentseenien täydellisiä toksisuustietoja ei ole esitetty, mutta voidaan olettaa, että niiden haittavaikutukset ovat samansuuntaisia kuin C_3 -alkyylibentseeneillä. Tolueenilla, styreenillä ja ksyleeneillä on luonteenomainen makeahko haju. Alkyylibentseenien hajukynnysarvot vaihtelevat välillä 0.001-40 ppm, ja siten alkyylibentseenit, varsinkin styreeni ja ksyleenit, voivat hyvinkin aiheuttaa sisäilman hajuhaittoja. (Tässä niinkuin jatkossakin esitetyt toksisuustiedot ovat peräisin viitteestä 10 ja hajukynnysarvot viitteestä 11).

Polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH) syntyy pääasiassa fossiilisten polttoaineiden palamistuotteina. Tämän takia voidaankin epäillä, että sisäilman PAH-yhdisteet ovat osittain peräisin ulkoilmasta (liikenne, teollisuus ja energian tuotanto). PAH-yhdisteitä muodostuu huomattavia määriä myös puun poltossa, ruuanlaitossa ja tupakoinnissa.

Naftaleenin ja metyyli-naftaleenin terveydelliset haittavai-
kutukset ovat samansuuntaisia kuin ksyleeneillä, paitsi
yhdisteillä ei ole narkoottisia vaikutuksia. Monien useam-
pi- kuin kaksirenkaisten polyaromaattisten hiilivetyjen
on todettu olevan sekä karsinogeneeneja että mutageeneja.

Alifaattiset ja syklistet hiilivedyt

Kaikkien ilmanäytteiden todettiin sisältävän suhteellisen
suurina pitoisuuksina n-alkaaneja sekä lukuisia haarottu-
neita alkaaneja. n-alkaanien suhteelliset määrät olivat
suurempia kuin vastaavien yksittäisten haarottuneiden
alkaanien suhteelliset määrät. Syklisten hiilivetyjen
suhteelliset määrät olivat selvästi pienemmät kuin alkaani-
en määrät. Alkeenen määrät näytteissä olivat niin al-
haisia, ettei niitä kyetty luotettavasti tunnistamaan.
Alkyynejä näytteistä ei todettu.

Alifaattisten ja syklisten hiilivetyjen pääasiallisia
lähteitä ovat aerosolit, ruuanlaitto, tupakointi ja liuotti-
met. Sisäilman hiilivedyt ovat osittain peräisin myös
ulkoilmasta (liikenne, teollisuus ja energian tuotanto).
Alifaattiset ja syklistet hiilivedyt aiheuttavat suurina
pitoisuuksina silmien ja hengitysteiden ärsytystä, päänsärkyä ja pahoinvointia. Terveydelliset haittavaikutukset
ovat pahempia lyhytketjuisilla hiilivedyillä ja haitta-
vaikutukset pienenevät, kun alkyyliketju kasvaa. Alkaanien
hajukynnysarvot ovat välillä 0.1 - 5000 ppm siten, että
hajukynnysarvo pienenee, kun alkyyliketju kasvaa. Hajukyn-
nysarvot ovat kuitenkin suhteellisen korkeita eivätkä al-
kaanit ja sykloalkanit ole pääasiallisia hajuhaittojen
aiheuttajia.

Halogenoidut hiilivedyt

Jokaisesta tutkitusta näytteestä todettiin tetrakloori-
rieteeniä melko korkeina suhteellisina määrinä. Yleisesti
esiintyviä halogenoituja hiilivetyjä olivat myös 1,1,1-
trikloorietaani, trikloorieteeni, tribromimetaani, 1,4-
diklooribentseeni ja triklooribentseenit. Näiden suhteelli-
set määrät olivat tavallisesti melko alhaiset. Kuitenkin
1,4-diklooribentseeniä oli joissakin näytteissä huomattavia
määriä. Muita halogenoituja hiilivetyjä todettiin vain
satunnaisesti ja pieninä määrinä.

Sisäilmassa esiintyvien halogenoitujen hiilivetyjen tunnet-
tuja lähteitä ovat erilaiset maalinpoistoaineet, deodoran-
tit, koimyrkyt ja kuivapesuaineet. Klooratut hiilivedyt
sisäilmassa saattavat suurina pitoisuuksina aiheuttaa
silmiä ja hengitysteiden ärsytystä, pahoinvointia ja
päänsärkyä. Tetrakloorieteenillä on myös narkoottinen
vaikutus. Yleisesti esiintyvät 1,4-diklooribentseeni ja
triklooribentseenit ärsyttävät silmiä ja hengitysteitä.
Tetrakloorieteenin ja 1,4-diklooribentseenin on todettu
olevan karsinogeenisiä yhdisteitä. Lisäksi 1,2-dikloori-
bentseenin on epäilty olevan karsinogeeninen.

Halogenoitujen hiilivetyjen hajukynnykset ovat välillä 0.1-10 ppm. 1,4-diklooribentseeni, jonka hajukynnys on noin 0.1 ppm voi aiheuttaa suurina suhteellisina määrinä hajuhaittaa. Tetrakloorieteeni, jonka hajukynnys on suhteellisen korkea (10 ppm), ei aiheuta vakavia hajuhaittoja.

Terpeenit

Jokaisen tutkitun näytteen todettiin sisältävän terpeenejä suurina suhteellisina määrinä. Monoterpeenit a-pineeni, delta-3-kareeni ja limoneeni ovat sisäilman pääkomponentteja. Usein sisäilmassa esiintyviä terpeenejä olivat myös b-pineeni, kamfeeni, kamfori ja junipeeni. Näytteissä esiintyi myös usein pieninä määrinä tarkemmin tunnistamattomia moniterpeenejä.

Terpeenien tärkeimmät päästölähteet ovat hajusteet, puhdistusaineet ja erilaiset puumateriaalit. Terpeenit ovat tyypillisiä sisäilman yhdisteitä, koska niiden suhteelliset määrät ulkoilmassa ovat selvästi pienemmät kuin sisäilmassa. Terpeenit aiheuttavat silmien ja hengitysteiden ärsytystä, päänsärkyä ja pahoinvointia. Kamforin on todettu erityisesti ärsyttävän silmiä. a-pineenin ja limoneenin on epäilty aiheuttavan syöpää. Terpeenien hajukynnykset ovat alhaisia (a-pineenille 0.016 ppm) ja siten terpeenit voivat aiheuttaa hajuhaittoja.

Aldehydit ja ketonit

Useista sisäilmanäytteistä todettiin alifaattisia aldehydejä, kuten heksanaalia, heptanaalia, oktanaalia, nonanaalia ja dekanaalia suurina suhteellisina määrinä. Muita usein todettuja aldehydejä olivat 2-furankarboksialdehydi ja bentsaldehydi. Ketoneja näytteistä todettiin harvemmin kuin aldehydejä. Tavallisimpia ketoneja olivat 2-pentanoni, 2-heksanoni, 6-metyyli-5-hepten-2-oni ja 1-fenyylietanoni. Näiden suhteelliset määrät olivat kuitenkin melko alhaiset.

Alifaattisten aldehydien pääasiallisia päästölähteitä ovat lastulevyt, keinokuidut, tapetit, kosmetiikka ja hajusteet. Alifaattiset aldehydit saattavat aiheuttaa suurina määrinä silmien ärsytystä. Alifaattisten aldehydien hajukynnys on määritetty vain pienemmille aldehydeille, kuten formaldehydille (1ppm), asetaldehdille (0.3 ppm), propanaalille (0.08 ppm) ja butanaalille (0.04 ppm). Näiden arvojen perusteella näyttäisi siltä, että hajukynnys pienenee, kun alkyyliketju kasvaa. Voidaankin olettaa, että pitempien hiiliketjujen omaavat alifaattiset aldehydit voivat aiheuttaa hajuhaittaa.

Bentsaldehydiä tulee huoneilmaan mahdollisesti lastulevyistä ja 2-furankarboksialdehydiä mahdollisesti korkkimatoista ja hajusteista. Nämä aldehydit ovat lähinnä silmiä ja hengitysteitä ärsyttäviä yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa

myös pahoinvointia ja päänsärkyä. Bentsaldehydillä on luonteenomainen karvasmantelin haju ja sen hajukynnys on melko alhainen (0.01 ppm). 2-furankarboksisaldehydin hajukynnys on 0.2 ppm. Bentsaldehydi sekä 2-furankarboksisaldehydi voivat aiheuttaa hajuhaittaa.

2-pentanoni ja 2-heksanoni voivat aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä suurina pitoisuuksina. Näiden ketonien hajukynnyksarvot ovat noin 0.1 ppm ja ne voivat suurina pitoisuuksina aiheuttaa hajuhaittaa.

Alkoholit, esterit ja hapot

Tavallisimpia sisäilmassa esiintyviä alkoholeja olivat 2-metyylipropanoli, 1-butanoli, 1-pentanoli, 2-etoksietanoli, fenoli ja fenyylietanoli. 2-etoksietanolia käytetään lakkojen ohenteina, väriaineissa ja puhdistusaineissa. Fenolia tulee huoneilmaan mahdollisesti muovimatoista. Fenyylietanolia käytetään parfyymeissa ja hajusteissa. 2-metyylipropanoli, 1-butanoli, 1-pentanoli, 2-etoksietanoli ja fenoli ärsyttävät silmiä ja hengitysteitä ja voivat aiheuttaa päänsärkyä ja pahoinvointia. 2-metyylipropanoli ja 1-butanoli voivat aiheuttaa hermostollisia oireita. 2-etoksietanolilla on myös lievä narkoottinen vaikutus. Todettujen alkoholien hajukynnykset ovat välillä 0.1-10 ppm ja siten kyseiset yhdisteet eivät ole pääasiallisia hajuhaitan aiheuttajia.

Estereistä ja hapoista tavallisimmin esiintyivät etikkahappo ja n-butyyliasetaatti. Etikkahappoa käytetään maalien, keinokuitujen ja muovien valmistuksessa. n-butyyliasetaattia käytetään synteettisten hartsiain ja lakkojen valmistuksessa. Yhdistettä käytetään myös hajusteena. Etikkahappo ärsyttää voimakkaasti silmiä ja hengitysteitä ja aiheuttaa suurina määrinä yskää, päänsärkyä ja pahoinvointia. n-butyyliasetaatti ei aiheuta juurikaan terveydellisiä ongelmia. Sen hajukynnys on kuitenkin alhainen (0.05 ppm), kuten myös etikkahapon (0.1 ppm) ja kummatkin yhdisteet voivat aiheuttaa hajuongelmia.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet yhdisteet normaali- ja valitusasunnoissa

Taulukossa 2 on esitetty valitusasunnoista tunnistettujen yhdisteiden suhteelliset määrät, joita vertailemalla normaaliasunnoista tunnistettujen yhdisteiden suhteellisiin määriin voidaan selvittää mitkä yhdisteet tai yhdisteryhmät ovat mahdollisesti olleet valituksen aiheuttajina.

Valitusasunnoissa 4, 5 ja 6 erilaisten C₂-C₇-alkyylibentseenien ja asunnoissa 5, 11 ja 12 erilaisten C₆-C₁₄-alkyylibentseenien suhteelliset määrät olivat selvästi korkeammat kuin normaaliasunnoissa. Yksittäisistä alkyylibentseenistä 1,2,3,4-tetrametyylibentseenin määrä oli asunnossa 4 huomattavasti suurempi kuin normaaliasunnoissa. C₂-C₇-alkyylibentseenit ovat todenäköisesti peräisin eri

lähteistä kuin C_6 - C_{14} -alkyylibentseenit, koska C_6 - C_{14} -alkyylibentseenejä todettiin eri asunnoista kuin C_2 - C_7 -alkyylibentseenejä. Alkyylibentseenien pääasiallisia päästölähteitä ovat ulkoilma, liimat, maalit ja erilaiset pehmitinaineet.

Alifaattisia hiilivetyjä (C_8 - C_{12}) todettiin kohonneina määrinä asunnoissa 4, 5 ja 6. Suuria suhteellisia määriä alifaattisia hiilivetyjä todettiin myös normaaliasunnoista, minkä takia niitä ei voida selvästi osoittaa valituksen aiheuttajiksi. Kuitenkin asunnossa 11 todettiin poikkeuksellisen paljon n-heptaania. Sykloalkaaneja todettiin selvästi kohonneina suhteellisina määrinä asunnoissa 6 ja 11. Varsinkin metyylysykloheksaanin määrä asunnossa 11 oli poikkeuksellisen korkea. Metyylysykloheksaani ja n-heptaani voisivat olla valituksen aiheuttajia asunnossa 11. n-heptaania ja metyylysykloheksaania käytetään liuottimina. Dimetyylysykloheksaanin suhteelliset määrät olivat asunnossa 6 selvästi korkeammat kuin normaaliasunnoissa.

Asunnosta 13 todettiin erittäin paljon tetrakloorieteenia sekä pienempinä määrinä 1,1,1,2- ja 1,1,2,2-tetrakloorietaanina, joita ei muista näytteistä todettu. Asunnosta 3 todettiin poikkeuksellisen paljon 1,4-diklooribentseeniä. Tetrakloorieteeniä käytetään kuivapuhdistusaineena, liuottimena, maalinpoistoaineena ja painomusteissa. 1,4-diklooribentseeniä käytetään mm. maalien valmistuksessa. Tetrakloorieteeni ja 1,4-diklooribentseeni ovat syöpää aiheuttavia aineita.

Terpeenejä todettiin suurina suhteellisina määrinä niin normaali- kuin valitusasunnoistakin eikä terpeenejä voida osoittaa valituksen aiheuttajiksi. Terpeeneistä a-pineeniä, delta-3-kareeniä ja limoneeniä esiintyi eniten. Terpeenien hajukynnys on kuitenkin melko alhainen ja siten terpeenit voivat aiheuttaa hajuhaittaa.

Asunnosta 8 todettiin selvästi suurempia suhteellisia määriä alifaattisia aldehydejä, etikkahappoa, ja joitakin alkoholeja kuin normaaliasunnoista. Asunnosta 4 todettiin poikkeuksellisen paljon fenolia ja fenyyylimetanolia. Alifaattisten aldehydien todennäköisiä päästölähteitä ovat lastulevyt, keinokuidut, tapetit, kosmetiikka ja hajusteet. Alifaattisten aldehydien hajukynnykset ovat alhaiset, joten ne voivat aiheuttaa hajuhaittaa asunnossa 8. Fenolia voi tulla huoneilmaan muovimatoista. Fenyyylimetanolia käytetään hajusteissa. Fenoli ja fenyyylimetanoli voivat olla valituksen aiheuttajia asunnossa 5.

YHTEENVETO

Tutkittujen näytteiden perusteella voidaan todeta, että sisäilmassa esiintyy useita satoja erilaisia yhdisteitä, joista 100-150:n yhdisteen suhteelliset määrät ovat suurempia kuin 1%. Yleisimmin esiintyviä yhdisteitä olivat terpeenit, lyhytketjuiset alkyylibentseenit, alkaanit, alifaattiset aldehydit, jotkut sykloalkaanit, sekä halogenoituista hiilivedyistä tetrakloorieteeni. Taulukossa 2 esitettyjen suhteellisten pinta-alojen keskiarvojen keskihajonnat olivat suuria osoittaen, että todettujen yhdisteiden määrät vaihtelevat huomattavasti eri asunnoissa.

Tutkituista valitusasunnoista (13 kpl) voitiin osoittaa mahdollinen valituksen aiheuttaja 7:ssä tapauksessa. Valituksen aiheuttajia tutkituissa asunnoissa olivat todennäköisesti erilaiset alkyylibentseenit (varsinkin C_7 - C_{14} -alkyylibentseenit), n-heptaani, C_{1-3} -sykloalkaanit, tetrakloorieteeni, 1,4-diklooribentseeni, alifaattiset aldehydit, butanoli, etikkahappo, fenoli ja fenyylialkoholi. Tutkittujen näytteiden perusteella näyttäisi siltä, että mitään yksittäistä yhdistettä tai yhdisteryhmää (paitsi ehkä pitkäketjuiset alkyylibentseenit) ei voida osoittaa yleisesti valituksen aiheuttajaksi, vaan ongelmat ovat lähinnä tapauskohtaisia.

Tehdyssä työssä on osoitettu, että sisäilman huonon laadun syy voidaan mahdollisesti selvittää termodesorptio-kaasukromatografia-massaspektrometrilla. Sisäilmanterveysriskin arvioiminen on kuitenkin vaikeaa, koska sisäilmassa on useita satoja yhdisteitä ja ihmiset reagoivat eri yhdisteisiin eri tavalla. Vain harvoille sisäilman orgaanisten yhdisteiden enimmäispitoisuuksille on esitetty raja-arvot. Sisäilmassa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrää voidaan pienentää tehokkaasti tehostamalla asuinhuoneiston ilmanvaihtoa. Rakennusmateriaalien valintaan tulisi myös kiinnittää entistä enemmän huomiota.

Tehdyn tutkimuksen perusteella tullaan kehittämään menetelmä kvantitatiiviseksi, jolloin yhdisteiden todellinen pitoisuus sisäilmassa voidaan määrittää. Jatkotutkimuksissa tullaan kiinnittämään huomiota myös yksittäisten rakennusmateriaalien emissioihin.

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. B.A. Tichenor, M.A. Mason, JAPCA, 38 (1988) 264.
3. M. de Bortoli, H Knoppel, E. Pecchio, A. Peil, L. Rogora, H. Scauenburg, H. Schlitt, H. Vissesrs, Environmental International, 12 (1986) 343.
4. D. A. Sterling, Volatile Organic Compounds in Indoor Air: An Overview of Sources, Concentrations, and Health Effects, Toimittajat R.B. Gammage, S.B. Kaye, V.A. Jacobs, Indoor Air and Human Healths, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 1985, sivut 387-402.
5. L. Molhave, I. Andersen, G.R. Lundqvist, P.A. Nielsen, O. Nielsen, Afgasning fra byggematerialer - forekomst og hygienisk vurdering. Horsholm 1983. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-Rapport 137, s. 70.
6. M. Wäänänen, P. Nousiainen, K. Saarela, T. Vihavainen, Asuntotuotannossa käytettävien rakennusaineiden vaikutus huoneilman laatuun, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Tiedotteita 381, 1984.
7. K. Saarela, Rakennusmateriaalien orgaaniset päästöt ja niiden vähentäminen, Ympäristöministeriö, Selvitys 3, 1992.
8. B. Berglund et. al, Adsorption and Desorption of Organic Compounds in Indoor Materials, Healthy Buildings 88, Vol. 3, s. 299, Stockholm 1988.
9. W. Bertsch, R.C. Chang, A. Zlatkis, J. Chrom. Sci, 12 (1974) 175
- 10 The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safety Data, toimittaja: R.E. Lenga, toinen painos, Sigma-Aldrich Corporation, Yhdysvallat, 1988.
- 11 Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, toimittaja: K. Verschueren, toinen painos, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983.

TAULUKKO 2

Hajuttavat orgaaniset yhdisteet mormali- ja valittusaunnoissa. Sra=Suhteellinen retentioaika ($R(x)/R(a\text{-pineeni})$), n=esiintymistiheys (max 13), Ka=suhteellisten pintaalojen ($A(x)/A(\text{max})$) keskiarvo, Kh=keskihajonta, Md=mediaani, Max=maksimiarvo, Min=minimiarvo.

Valittusaunnoille on esitetty erikseen suhteelliset pinta-alat. 1=suhteellinen pinta-ala suurempi kuin maksimiarvo normaaliasunnoissa.

2=suhteellinen pinta-ala suurempi kuin Ka+Kh normaaliasunnoissa.

	Normaaliasunnot					Valittusaunnot															
	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<u>Aromaattiset hiilivedyt:</u>																					
bentseeni*	0.261 Jokainen näyte sisälsi bentseeniä. Suhteellisia määriä ei voida luotettavasti esittää, koska bentseeniä todettiin myös nollanäytteissä																				
tolueeni	0.460	13	58	25	62	100	14	100 ²	89 ²	43	79	66	69	62	38	57	88 ²	37	61	22	
etyyliibentseeni	0.743	13	23	13	19	44	4.1	11	17	9.0	34	19	16	4.5	4.4	11	21	15	10	10	
1,4-dimetyyliibentseeni *																					
1,3-dimetyyliibentseeni	0.770	13	46	26	40	100	9.0	27	46	23	100 ²	36	82 ²	12	13	29	40	39	19	18	
etenyyliibentseeni	0.841	13	15	9.2	14	33	2.7	4.3	9.6	7.2	5.8	12	18	1.9	5.0	3.0	11	6.8	6.4	7.7	
1,2-dimetyyliibentseeni	0.849	13	21	13	17	45	5.0	9.7	16	9.0	32	15	26	6.0	8.8	9.9	17	14	6.8	10	
oktahydro-1H-indeeni	0.940	8	2.3	2.5	1.4	8.3	0	---	---	---	---	---	7.8 ²	---	---	0.7	---	---	1.0	---	
(1-metyylietyyli) bentseeni	0.962	13	2.4	1.4	2.3	5.8	0.4	0.9	1.9	0.5	6.3 ¹	2.9	4.4	---	1.0	1.1	2.6	2.2	1.2	2.3	
n-propyyliibentseeni	1.065	13	8.5	5.7	6.7	22	2.7	4.2	---	8.0	26	14	14	2.0	---	6.3	---	---	4.3	6.5	
1-etyyli-3-metyyliibentseeni	1.095	12	20	16	13	53	0	7.4	17	8.9	46 ²	44 ²	19	2.3	9.7	5.5	9.9	6.0	7.5	2.1	
1-etyyli-4-metyyliibentseeni	1.102	2	1.1	3.0	0	10	0	3.1	---	---	---	---	---	1.5	---	5.5 ²	---	---	3.1	2.1	
1,3,5-trimetyyliibentseeni	1.119	13	11	9.1	9.2	33	1.3	2.8	4.3	1.9	14	25 ²	22 ²	1.5	2.9	1.2	2.5	2.3	3.6	8.8	
(1,1-dimetyylietyyli) bentseeni	1.126	10	1.9	1.5	2.0	5.4	0	0.9	---	---	---	---	8.9 ¹	1.4	1.4	4.4 ²	2.1	---	2.5	0.9	
1-etyyli-2-metyyliibentseeni	1.158	13	8.4	6.8	6.4	22	1.1	4.1	7.5	---	23 ¹	20 ²	11	1.3	2.2	---	---	---	2.5	7.9	

Normaaliasunnnot

Valitusasunnnot

Aromaattiset hiilivedyt:	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1-metyylietenyyli)bentseeni	1.166	5	0.6	0.9	0	2.8	0	---	0.5	---	---	---	---	---	0.8	---	---	---	0.7	---
1,2,4-trimetyyli bentseeni	1.207	13	39	27	28	100	6.3	11	12	11	69 ²	73 ²	37	---	21	7.9	11	8.0	12	45
1,2,3-trimetyyli bentseeni	1.307	13	9.5	5.9	7.3	20	1.6	---	6.5	---	---	34 ¹	---	---	2.5	---	---	2.1	---	13
1-metyyli-3 ja 4-(1-metyyli-etyyli)bentseenit	1.320	13	8.4	2.5	8.3	12	2.9	5.4	6.4	7.5	---	17 ¹	16 ¹	4.5	3.8	---	---	8.9	4.8	15 ¹
1-metyyli-2-(1-metyylietyyli)-bentseeni	1.359	1	0.1	0.5	0	1.7	0	0.6	---	---	---	---	---	---	1.4 ²	---	---	---	---	---
1,3-dietyyli bentseeni	1.408	5	0.8	1.1	0	2.6	0	---	---	---	---	5.6 ¹	13 ¹	---	---	---	1.8	---	---	1.2
1-metyyli-3 ja 4-propyyli-bentseenit	1.420	13	8.4	6.4	6.6	20	0.6	4.2	13	11	24 ¹	15 ²	1.2	1.2	---	7.0	4.6	2.7	5.3	17 ²
1,4-dietyyli bentseeni + n-butyli bentseeni	1.431	8	4.6	5.9	2.5	17	0	---	1.1	1.5	---	14 ²	---	---	---	1.2	---	3.3	---	3.7
1,3-dimetyyli-5-etyyli bentseeni	1.439	9	4.5	5.0	3.0	16	0	1.9	5.8	2.0	16 ²	13 ²	21 ¹	---	---	1.6	2.2	3.3	7.4	5.6
1-metyyli-2-propyyli bentseeni	1.468	12	6.6	4.8	4.9	16	0	0.9	4.6	3.4	5.2	---	13 ²	---	2.3	3.1	3.0	1.6	3.9	11
1,4-dimetyyli-2-etyyli bentseeni	1.503	9	3.3	3.6	2.0	12	0	1.8	4.6	2.8	---	8.9 ²	6.6	---	---	3.0	3.1	2.8	6.9	5.6
1,3-dimetyyli-4-etyyli bentseeni	1.507	9	4.3	4.6	3.1	12	0	1.3	5.0	---	17 ¹	19 ¹	---	---	---	---	4.2	3.5	5.8	5.6
1,2-dimetyyli-4-etyyli bentseeni	1.530	13	7.6	4.5	5.9	16	2.1	---	---	---	---	16 ²	9.7	---	2.0	---	---	4.5	3.1	16 ²
dimetyylietenyyli bentseeni	1.543	6	1.4	1.9	0	5.3	0	4.3 ²	2.8	3.2	---	4.1	5.8 ¹	5.4 ¹	1.8	---	---	4.5 ²	---	2.5
1,3-dimetyyli-2-etyyli bentseeni	1.553	2	0.6	1.4	0	4.6	0	---	---	1.8	---	5.8 ¹	6.2 ¹	---	---	2.0	---	---	---	---
1,2-dimetyyli-3-etyyli bentseeni	1.563	1	0.1	0.4	0	1.4	0	1.4 ²	3.8 ¹	0.7 ²	---	---	---	---	---	1.4 ²	1.2 ²	---	3.8 ¹	---
1,2,4,5-tetrametyyli bentseeni	1.635	13	2.7	2.0	2.7	8.0	0.8	---	---	0.7	1.9	7.5 ²	4.8 ²	---	1.7	2.9	0.5	---	---	2.1
1,2,3,5-tetrametyyli bentseeni	1.649	13	4.8	3.7	3.5	15	1.2	---	---	1.2	3.9	9.6 ²	7.2	---	2.6	2.9	1.1	---	---	3.9
2,3-dihydro-metyyli-III-Indooni	1.744	6	0.7	0.9	0	2.3	0	0.8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.8	---	---

Normaali asunnot

Valitusasunnot

<u>Alfaattiset Hillitvedyt:</u>		Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n-heptaani		0.317	8	5.4	5.8	4.5	16	0	1.4	1.2	1.5	3.3	4.5	5.8	---	---	---	1.0	99 ¹	1.2	---
muut C ₇ -alkaanit		---	10	15	24	4.7	79	0	---	0.6	5.2	3.8	5.0	10	---	---	---	---	52 ²	---	---
n-oktaani		0.557	13	8.9	4.5	8.0	22	4.1	8.0	3.2	16 ²	6.9	21 ²	31 ¹	6.8	9.0	6.1	2.3	20 ²	4.2	---
muut C ₈ -alkaanit		---	13	7.9	14	6.3	41	0.8	6.0	3.1	18	5.8	17	38 ²	5.2	7.1	4.1	0.9	28 ²	0.9	0.9
n-nonaani		0.888	13	11	14	9.7	40	1.2	4.8	11	9.1	13	18	21	4.1	3.9	3.9	2.5	3.7	8.2	12
muut C ₉ -alkaanit		---	13	14	16	6.9	43	2.3	5.0	9.5	11	13	22	25	3.8	5.0	2.0	2.8	3.5	7.2	8.7
n-dekaani		1.247	13	28	23	24	57	1.9	2.1	6.2	9.2	86 ¹	57 ²	45	8.7	8.9	8.9	10	3.2	28	28
muut C ₁₀ -alkaanit		---	13	41	37	32	117	2.8	5.6	15	13	79 ²	72	82 ²	15	18	7.5	13	3.6	24	64
n-undekaani		1.593	13	22	13	19	43	1.6	6.6	28	6.7	97 ¹	44 ¹	36 ²	6.8	14	6.2	7.5	2.9	31	41 ²
muut C ₁₁ -alkaanit		---	13	34	38	25	151	3.1	12	35	12	131 ²	45	51	9.2	11	6.4	11	3.5	26	77 ²
n-dodekaani		1.923	13	12	9.0	9.3	29	2.9	3.7	17	3.5	61 ¹	22 ²	38 ¹	2.5	5.3	3.7	6.9	10	27 ²	9.2
muut C ₁₂ -alkaanit		---	13	13	10	9.3	37	3.0	5.5	12	0.6	87 ¹	38 ¹	32 ²	3.8	6.0	5.2	2.7	7.2	30 ²	16
n-tridekaani		2.233	13	8.8	7.2	4.7	26	2.2	3.3	8.7	2.2	14	13	15	1.2	4.4	2.4	4.5	4.5	33 ¹	7.2
muut C ₁₃ -alkaanit		---	13	15	16	6.5	60	1.5	4.5	17	4.3	22	18	19	2.5	5.2	2.0	3.1	8.2	41 ²	5.1
n-tetradekaani		2.524	13	10	8.6	7.0	25	0.6	5.1	5.1	4.0	6.1	19 ²	7.2	1.1	8.7	4.2	4.3	2.2	23 ²	13
muut C ₁₄ -alkaanit		---	13	15	18	8.1	60	0.5	6.0	7.6	1.2	11	21	14	0.8	5.0	3.9	3.2	1.3	15	4.9
n-pentadekaani		2.799	13	4.3	5.1	1.2	18	0.2	2.9	2.2	2.9	0.7	8.8	1.4	3.1	6.0	2.0	1.9	2.6	2.8	6.2
muut C ₁₅ -alkaanit		---	13	5.9	6.6	1.2	18	0.2	4.1	2.8	---	---	5.7	3.2	6.3	7.2	1.7	2.1	3.2	1.6	1.1
n-heksadekaani		3.065	4	1.1	2.3	0	8.1	0	0.9	---	1.6	---	1.1	---	---	---	2.4	1.0	1.0	---	9.6 ¹

Normaaliasunnol

Valliusasunnol

Sykloalkaanit:	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	Valliusasunnol																	
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
dimetyylisyklopentaani	0.299	4	0.9	1.8	0	5.6	0	---	0.2	---	---	---	---	---	4.1 ²	---	---	---	---	---	---	---	---		
dimetyylisyklopentaani	0.306	2	0.6	1.9	0	6.9	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
metyyllisykloheksaani	0.359	11	4.1	5.1	1.9	18	0	---	3.2	0.7	---	---	---	---	6.8	---	1.2	---	---	100 ¹	2.1	1.1	---	---	
etyyllisyklopentaani	0.384	4	0.7	1.1	0	2.6	0	---	1.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	27 ¹	1.2	---	---	---	
dimetyylisykloheksaani	0.489	4	0.8	1.7	0	6.3	0	---	---	0.9	---	---	---	---	34 ¹	---	---	---	---	---	---	---	---	3.0 ²	
dimetyylisykloheksaani	0.541	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6.8 ¹	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
trimetyylisyklopentaani	0.531	4	0.4	0.7	0	2.1	0	---	---	---	---	---	---	---	8.5 ¹	---	---	---	---	11 ¹	1.9 ²	---	---	---	
etyyllisykloheksaani	0.653	3	1.2	2.8	0	10	0	1.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	5.3 ²	---	---	---	
trimetyylisykloheksaani	0.663	6	1.4	1.8	0	6.4	0	---	---	---	---	---	---	---	0.9	---	---	---	---	---	3.0	---	---	---	
trimetyylisykloheksaani	0.705	3	0.2	0.5	0	1.4	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
etyyllimeetyylisykloheksaani	0.898	4	0.5	0.9	0	2.5	0	1.3	---	2.8 ¹	---	---	---	---	10 ¹	---	---	---	---	3.0 ¹	---	2.3 ²	---	---	
propyyllisykloheksaani	0.983	12	3.7	3.3	3.8	12	0	---	---	0.5	---	---	---	---	4.6	15 ¹	---	3.3	---	---	1.2	---	1.2	---	
C ₄ -syklopentaanit	---	3	1.0	1.9	0	6	0	---	---	---	---	---	---	---	1.0	---	---	---	---	---	3.0 ²	---	---	2.5 ²	
C ₄ -sykloheksaanit	---	10	3.6	3.9	2.6	11	0	---	---	---	---	---	---	---	6.6	2.8	---	1.2	---	---	1.2	2.5	8.3 ²	11 ²	5.7
C ₅ -syklopentaanit	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7.5 ¹	---	---	---	---	---	---	---	1.2 ¹	---	---	---	---	---	3.2 ¹	
C ₅ -sykloheksaanit	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4.2 ¹	---	---	---	---	---	---	---	---	5.1 ¹	7.5 ¹

Halogenoidut hiihivedyt:	Normaali asunnot										Valitusasunnot									
	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,1,1-trikloorietaani	0.240	6	2.9	4.1	1.2	12	0	---	---	---	---	0.5	---	---	---	1.2	---	---	---	---
triKloorieeni	0.313	5	1.9	3.9	1.2	10	0	---	---	---	---	1.8	---	---	---	0.2	---	---	---	---
tetraKloorieeni	0.575	13	7.6	19	2.2	71	0.5	6.5	1.3	2.7	4.2	3.2	4.7	0.2	1.2	0.7	0.8	1.2	0.5	100 ¹
Klooribentseeni	0.684	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.1 ¹
1,1,1,2-tetraKloorietaani	0.694	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	11 ¹
2-bromi-1,1-dikloorietaani	0.701	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.0 ¹
tribromimetaani	0.810	8	0.1	0.2	0.1	0.5	0	---	---	0.2	---	0.7 ¹	0.2	0.3	0.1	---	---	---	0.2	---
1,1,2,2-tetraKloorietaani	0.920	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.8 ¹
1,3-diKlooribentseeni	1.234	4	0.05	0.04	0	0.1	0	---	---	---	---	---	---	---	---	0.1 ²	---	---	---	---
1,4-diKlooribentseeni	1.268	13	2.9	3.4	1.1	11	0.3	1.5	0.2	39 ¹	0.2	1.4	1.0	0.7	4.0	1.5	3.3	5.1	0.9	1.2
1,2-diKlooribentseeni	1.343	12	0.3	0.3	0.2	1.1	0	0.3	0.4	0.4	---	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.6	0.1	0.2
heksakloorietaani	1.482	1	0.1	0.4	0	1.6	0	---	---	0.4	---	---	---	0.1	---	0.4	---	---	---	0.4
triKlooribentseenit	1.833	9	2.8	3.8	1.2	12	0	2.0	0.5	0.4	0.1	0.3	0.6	---	1.0	2.1	0.7	1.6	1.2	0.8

Normaali asunnol

Valilusasunnol

Terpeentit:	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	Valilusasunnol												
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a-pinene	1.000	13	69	30	78	100	11	55	100 ²	100 ²	65	100 ²	100 ²	25	52	100 ²	100 ²	100 ²	42	14
kamfeeni	1.046	12	3.6	1.8	3.4	6.2	0	1.2	---	0.5	---	5.8 ²	7.9 ¹	1.3	2.2	---	6.7 ¹	1.1	---	---
b-pinene	1.147	13	10	9.7	7.6	4.0	3.0	4.2	11	10	---	12	3.2	2.6	4.9	12	12	22 ²	11	---
b-myrcene	1.203	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	8.7 ¹	---	6.7 ¹	8.2 ¹	---	4.8 ¹	---
delta-3-kareeni	1.273	13	38	23	36	75	4.5	22	75 ²	98 ¹	36	50	56	11	23	96 ¹	77 ¹	79 ¹	37	---
limoneni	1.339	13	63	34	67	100	12	44	68	23	12	64	50	4.5	3.4	20	33	1.2	100 ²	---
1,8-cineoli	1.349	1	3.7	13	0	48	0	---	---	---	---	34 ²	---	22 ²	---	---	---	12	---	---
kamfori	1.726	6	1.9	2.5	0	8.3	0	---	---	---	---	5.0 ²	6.4 ²	---	8.8 ¹	---	---	---	1.3	---
menthoni	1.763	8	2.5	3.3	1.4	8.9	0	---	---	0.7	---	---	---	---	11 ¹	---	---	---	3.2	3.1
mentholi	1.829	2	7.5	25	0	89	0	---	---	---	---	---	---	---	30	---	---	---	---	---
junipeeni	2.558	6	1.6	2.2	0	7.1	0	---	19 ¹	2.3	---	---	---	---	3.9 ²	1.8	1.6	---	---	---

Aldehydit ja ketonit:	Normaali asunnot													Vallitusasunnot												
	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
2-pentanonit	0.295	7	2.6	3.8	1.5	12	0	0.7	---	---	---	0.8	1.5	---	---	---	---	---	---	0.5	---					
pentanaali	0.311	2	2.3	5.6	0	17	0	1.0	2.6	---	---	2.6	---	15 ²	---	---	---	---	---	0.9	---					
2-heksanonit	0.522	8	1.2	1.2	1.5	3.4	0	---	0.4	---	---	0.6	2.0	---	1.0	---	---	---	---	---	---					
heksanaali	0.552	13	4.1	17	40	71	8.6	7.4	21	19	20	24	5.1	3.7	45	14	35	16	11	18	---					
2-furankarboksialdehydi	0.645	13	10	6.2	8.9	24	0.9	---	7.1	19 ²	---	3.2	1.2	---	12	4.6	---	---	---	6.3	2.7					
sykloheksanonit	---	---	---	---	---	---	---	3.6 ¹	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.5 ¹	4.1 ¹	---				
heptanaali	0.884	8	12	11	12	25	0	1.3	2.7	4.6	6.3	---	58 ¹	---	28 ¹	2.1	5.6	4.3	2.1	---	---					
bentsialdehydi	1.080	13	30	14	28	61	8.8	7.4	19	---	---	30	33	5.8	18	---	---	---	---	14	14	12				
6-metyyli-5-hepten-2-oni	1.191	11	10	6.7	10	18	0	1.2	6.9	2.8	---	5.2	9.2	0.8	10	---	---	---	---	2.8	6.0	4.2				
oktanaali	1.249	7	16	17	12	36	0	3.2	11	---	---	---	---	43 ¹	---	---	---	---	---	7.7	8.2	---				
1-fenyylifetanonit	1.455	9	4.0	4.3	3.4	13	0	2.4	---	---	---	19 ¹	11 ²	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
nonanaali	1.602	13	65	30	67	100	17	8.3	18	6.0	---	73	46	7.8	100 ²	11	9.7	17	15	16	---					
dekanaali	1.935	13	21	11	22	41	6.3	5.5	---	---	---	46 ¹	---	4.6	50 ¹	---	---	---	---	6.5	---					

Normaali asunnol

Vaikutusasunnol

Alkoholit, esterit ja hapot:

	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
etyyliasetaatti	0.211																				
0.211 etyyliasettaatti todettiin jokaisessa näytellessä, mutta suhteellisia pinta-aloja ei voida luotet-																					
tavasti esittää, koska etyyliasettaatti menee koräyksen aikana osittain tenax-putkesta läpi.																					
2-metyylipropanoli	0.228	9	4.2	4.3	4.3	14	0	---	3.2	1.4	---	---	4.4	---	3.0	---	---	---	---	---	
1-butanoli	0.268	5	1.9	2.9	0	7.9	0	---	---	16 ¹	---	7.1 ²	5.7 ²	---	6.9 ²	1.6	---	---	---	---	
etiikkahappo	0.249	13	11	11	5.6	30	0.2	---	2.0	1.5	5.5	12	2.3	4.4 ¹	32 ¹	28 ²	8.1	5.2	---	0.9	
2-etoksetanoli	0.350	10	6.8	9.7	2.1	35	0	---	---	---	---	---	18 ²	---	2.1	3.0	---	4.5	3.5	2.4	
1-pentanolii	0.469	10	6.7	6.4	4.6	19	0	2.4	2.9	---	---	2.7	---	---	6.9	7.2	11	2.1	---	1.8	
n-butyylasettaatti	0.603	12	11	12	4	42	0	---	---	19	---	3.9	1.5	---	2.1	---	9.4	---	---	3.2	
1-heksanolii	0.781	9	1.9	2.4	1.6	8.4	0	---	---	0.7	---	1.2	---	---	1.9	---	2.2	---	---	---	
2-etoksetanoliasetaatti	0.921	3	0.8	1.6	0	5.0	0	---	---	---	3.0 ²	---	1.0	---	---	---	---	---	---	---	
fenoli	1.184	8	7.6	9.7	2.6	28	0	5.2	12	---	---	75 ¹	14	3.8	12	---	7.2	---	---	---	
fenyylietanoli	1.354	4	1.1	2.0	0	6.8	0	---	14 ¹	---	12 ¹	22 ¹	14 ¹	---	11 ¹	---	13 ¹	9.8 ¹	---	---	
1-oktanoli	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6.2 ¹	---	---	---	---	---	
fenyylietanoli	1.623	3	0.1	0.3	0	0.7	0	---	---	---	---	---	---	---	2.6 ¹	---	---	---	---	---	
2,6-bis(1,1-dimetyylietyyli)-	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
4-metyyliifenoli	2.834	9	1.97	3.2	0.4	8.9	0	---	---	2.2	---	---	---	---	1.8	---	---	---	1.0	13 ¹	

Muutt:	Normaali asunnot						Valitusasunnot													
	Sra	n	Ka	Kh	Md	Max	Min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2-metyyliidpyrimidiini	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3.6 ¹	---	---	---	---
dimetyyliidpyrimidiini	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3.8 ¹	---	---	---
pentyyliifuraani	---	---	---	---	---	---	---	1.5 ¹	---	---	---	---	---	---	---	---	2.9 ¹	---	---	---

