

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa

Pitoisuustasot, yleisimmät yhdisteet ja terveysvaikutukset

Miina Juntunen¹, Anniina Salmela¹, Kaisa Jalkanen¹, Hanna Hovi², Kaisa Wallenius², Anne Hyvärinen¹

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat yleisiä sisäilman yhdisteitä. Niitä vapautuu asuntojen sisäilmaan esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kuluttajatuotteista sekä tilan käyttäjistä ja heidän toiminnastaan. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä tutkitaan, koska suurina pitoisuuksina ne voivat aiheuttaa terveysvaikutuksia, kuten ärsytysoireita.

Tässä katsauksessa tarkastellaan VOC-alueella esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sekä formaldehydin esiintymistä, pitoisuuksia ja muutostrendejä Suomessa sijaitsevilla asunnoissa vuosina 2010–2019. Lisäksi selvitetään, ovatko terveysvaikutukset todennäköisiä asunnoissa esiintyvillä pitoisuuksilla. Tuloksia verrataan asumisterveysasetuksen ja sen soveltamisohjeen toimenpiderajoihin sekä kansainvälisiin terveysperusteisiin ohjearvoihin.

Tutkimusaineiston mukaan sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus että yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet asunnoissa olivat pääosin hyvin pieniä. Keskimääräinen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus on laskenut tarkastelujakson aikana.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksissa ja esiintyvyyksissä havaittiin muutostrendejä, joiden perusteella seuranta olisi hyvä toteuttaa tietyin väliajoin. Havaitut trendit johtuvat todennäköisesti esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaalien ja liikenteen päästöjen muutoksista, joiden jatkuvan kehityksen perusteella muutoksia on odotettavissa myös jatkossa.

1= Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

2=Työterveyslaitos

Esipuhe

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat yleisiä ulko- ja sisäilman yhdisteitä, joille on sekä luonnollisia että ihmisen tuottamia lähteitä. Asuntojen sisäilmassa esiintyvät haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat peräisin suurimmaksi osaksi rakennuksen sisäisistä lähteistä kuten rakennus- ja sisustusmateriaaleista ja ihmisen toiminnasta, mutta yhdisteitä kulkeutuu sisäilmaan myös ulkoa esimerkiksi teollisuuden ja liikenteen päästöjen aiheuttamina. Koska ihmiset viettävät valtaosan ajastaan sisätiloissa, on sisäilman laadun ja siihen vaikuttavien tekijöiden tunteminen tärkeää.

Tässä katsauksessa esitellään tuloksia Työterveyslaitokselle vuosina 2010–2019 toimitetuista VOC- ja formaldehydinäytteistä koostuvasta aineistosta. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia suomalaisissa asunnoissa verrataan sekä kansallisiin että kansainvälisiin toimenpiderajoihin ja ohjearvoihin. Katsauksessa keskitytään sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuteen että yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksiin, esiintyvyyteen ja esiintyvyyden muutostrendeihin. Myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mahdollisia terveysvaikutuksia arvioidaan asunnoissa tyypillisesti esiintyvillä pitoisuuksilla.

Katsauksen rahoittajana toimi Sosiaali- ja terveysministeriö ja katsaus täydentää Kansallisessa sisäilma ja terveys -ohjelmassa Työterveyslaitoksen tekemää *Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyypisissä työympäristöissä: Päästölähteet, mittausmenetelmät, pitoisuustasot ja terveysvaikutukset* -katsausta asuntojen osalta. Kiitämme Työterveyslaitosta tutkimusaineistosta ja yhteistyöstä. Kiitämme myös Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen asiantuntijoita Juha Pekkasta, Kati Huttusta ja Merja Korkalaista katsauksen kommentoinnista ja Asko Vepsäläistä aineiston tilastollisesta analyysistä.

Tiivistelmä

Miina Juntunen, Anniina Salmela, Kaisa Jalkanen, Hanna Hovi, Kaisa Wallenius, Anne Hyvärinen.
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa - Pitoisuustasot, yleisimmät yhdisteet ja terveysvaikutukset.
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpäperi 5/2022. 36 sivua. Helsinki 2022. ISBN 978-952-343-809-5 (verkkajulkaisu)

Tässä työpaperissa tarkastellaan suomalaisissa asunnoissa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuksia, esiintymistä ja mahdollisia terveysvaikutuksia Työterveyslaitoksen mittausaineiston pohjalta. Mittausaineisto koostuu 1 093 VOC-näytteestä ja 211 formaldehydinäytteestä, jotka on toimitettu Työterveyslaitokselle analysoitavaksi vuosina 2010–2019. Tuloksia verrataan asumisterveysasetuksen toimenpiderajoihin ja kansainvälisiin terveysperusteisiin ohjearvoihin. Lisäksi pitoisuustasoja verrataan Työterveyslaitoksen raportointiin pitoisuustasoihin toimistotyypillisistä työympäristöistä vuosina 2010–2019.

Asunnoissa esiintyvien yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat mittausaineiston perusteella pääosin hyvin pieniä eivätkä ylittäneet asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja tai kansainvälisiä terveysperusteisia ohjearvoja yksittäistapauksia lukuun ottamatta. Myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet asunnoissa olivat valtaosassa näytteistä pieniä ja alittivat selvästi asumisterveysasetuksen toimenpiderajan yksittäistapauksia lukuun ottamatta. Lisäksi keskimääräinen kokonaispitoisuus on laskenut kymmenvuotisen tarkastelujakson aikana. Formaldehydin keskimääräinen pitoisuus asunnoissa oli pieni, ja yli 99 prosentissa näytteistä terveysperusteiset ohjearvot sekä asumisterveysasetuksen toimenpideraja alittuivat.

Koska yksittäisten yhdisteiden 90. persentiiliarvot eivät ylitä terveysperusteisia ohjearvoja ja yhdisteiden kokonaispitoisuus on pieni, haitalliset terveysvaikutukset asunnoissa tyypillisesti esiintyvillä pitoisuuksilla ovat hyvin epätodennäköisiä.

Aineistosta seurattiin myös VOC-yhdisteiden esiintyvyydessä ja pitoisuustasoissa tapahtuvia muutoksia kymmenen vuoden ajalta. Aromaattisten ja alifaattisten hiilivetyjen esiintyvyydessä on havaittavissa pääosin laskeva trendi kymmenen vuoden seurantajakson aikana ja yhdisteiden pitoisuustasot ovat pääasiassa laskeneet tai pysyneet samalla tasolla. Yleisesti käytössä olevien rakennus- ja sisustusmateriaalien sekä kuluttajatuotteiden muuttuessa ja kehittyessä VOC-yhdisteiden esiintyvyydessä ja pitoisuustasoissa tulee todennäköisesti jatkossakin tapahtumaan muutoksia.

Avainsanat: Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, formaldehydi, VOC, asunto

Sisällys

Esipuhe.....	2
Tiivistelmä.....	3
Sisällys.....	4
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.....	5
Määritelmä.....	5
Yhdisteryhmät.....	5
VOC-yhdisteiden määrittäminen ja analysointi.....	6
Toimenpiderajat ja ohjeavot.....	7
Terveysuojelulaki, asumisterveysasetus ja sen soveltamisohje.....	7
Terveysperusteiset ohjeavot.....	8
Esiintyminen ja lähteet asunnoissa.....	10
Asunnon käyttäjien toiminnan vaikutus VOC-pitoisuuteen.....	10
Asunnon iän vaikutus VOC-pitoisuuteen.....	10
Muiden asunnon ominaisuuksien vaikutus VOC-pitoisuuteen.....	11
VOC-pitoisuus asunnoissa, joissa on epäilty esiintyvän sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä.....	13
Yhteenveto pitoisuuksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä.....	13
Suomalaisista asunnoista mitatut pitoisuudet vuosina 2010–2019.....	17
Tutkimusaineisto ja menetelmät.....	17
Yleisimmät esiintyvät yhdisteet.....	17
Esiintyvyyden muutostrendit.....	24
VOC-yhdisteet toimistotyypisissä työympäristöissä vuosina 2010–2019.....	25
Asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden terveysvaikutusten arviointi.....	26
Johtopäätökset.....	28
Lähteet.....	29

Liitteet

Liite 1. Yleisesti asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden esiintyvyyden muutostrendit.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Määritelmä

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat hiiltä sisältäviä yhdisteitä, jotka tavanomaisissa ympäristön lämpötiloissa voivat esiintyä kaasumaisessa muodossa. Ne ovat yleisiä sekä ulkoilmassa että kaiken tyyppisissä sisäympäristöissä. Haihtuville orgaanisille yhdisteille on olemassa useita erilaisia määritelmiä, jotka perustuvat esimerkiksi yhdisteen kiehumispisteeseen, höyrynpaineeseen tai eluoitumiseen kromatografisessa analyysissä. Vaikka hiilen oksidit kuten hiilimonoksidi ja -dioksidi ovat kaasumaisia hiiltä sisältäviä yhdisteitä, ei niiden yleisesti lasketa kuuluvan haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin.

ISO 16000-6:2011 -standardin mukaan haihtuvat orgaaniset yhdisteet jaotellaan erittäin haihtuviin (Very Volatile Organic Compounds, VVOC), haihtuviin (Volatile Organic Compounds, VOC) ja puolihaihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (Semi Volatile Organic Compounds, SVOC), joista tässä katsauksessa käsitellään VOC-yhdisteitä ja VVOC-yhdisteisiin kuuluvaa formaldehydiä. Jaottelu perustuu yhdisteiden eluoitumiseen; VVOC-yhdisteet eluoituvat standardimenetelmän mukaisessa kromatografisessa analyysissä ennen n-heksaania, VOC-yhdisteet n-heksaanin ja n-heksadekaanan välisellä alueella ja SVOC-yhdisteet n-heksadekaanan jälkeen. VOC-yhdisteiden määrittelyä on kuvattu tarkemmin Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) julkaisussa.

Joissain tapauksissa yhdisteitä voidaan jaotella myös niiden alkuperän mukaan. Esimerkiksi MVOC-yhdisteistä puhuttaessa on tarkoitettu mikrobien aineenvaihdunnasta aiheutuvia VOC-yhdisteitä. Samoja yhdisteitä vapautuu kuitenkin myös monista muista lähteistä kuten rakennusmateriaaleista, hajusteista ja elintarvikkeista, eikä niitä siten voida suoraan yhdistää esimerkiksi mikrobivaurioihin. (Korpi ym. 2009.)

Yhdisteryhmät

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan jaotella erilaisiin yhdisteryhmiin kemiallisen rakenteen ja toiminnallisten ryhmien mukaan. Näitä ryhmiä ovat esimerkiksi alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, terpeenit, alkoholit, fenolit, alkoholi- ja fenolieetterit, aldehydit, ketonit, hapot, esterit ja piiyhdisteet. Yksittäinen yhdiste voidaan erilaisten toiminnallisten rakenneosiensä vuoksi luokitella kuuluvaksi myös useampaan kuin yhteen ryhmään.

Yleisimpiä sisäilmassa esiintyviä yhdisteryhmiä ovat esimerkiksi alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, terpeenit, alkoholit sekä aldehydit (Sarigiannis ym. 2011). Taulukossa 1 on esitetty esimerkkiyhdisteitä eri ryhmistä ja niiden yleisimpiä lähteitä sisäilmassa. Lisää esimerkkejä emissiolähteistä ja niistä haihtuvista orgaanisista yhdisteistä on luettavissa Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) julkaisusta.

Tässä katsauksessa aldehydeihin kuuluva formaldehydi on eritelty muista yhdisteistä, koska erilaisen haihtuvuutensa perusteella se kuuluu erittäin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin eli VVOC-yhdisteisiin. Vaikka formaldehydin pitoisuudet länsimaiden sisäympäristöissä ovatkin laskussa, se on edelleen yksi yleisimmistä sisäilmassa esiintyvistä VVOC-yhdisteistä (Salthammer 2013).

Taulukko 1. Sisäympäristöjen yleisimpiä VOC-yhdisteryhmiä, esimerkkiyhdisteitä ja tyypillisiä päästölähteitä (Sisäilmayhdistys 2008, Sarigiannis ym. 2011, Wallenius ym. 2021).

Yhdisteryhmä	Esimerkkiyhdisteitä	Päästölähteitä
Alifaattiset hiilivedyt	Heptaani, oktaani, nonaani	Puhdistusaineet, rakennusmateriaalit
Aromaattiset hiilivedyt	Bentseeni, styreeni, naftaleeni, toluenei, ksyleeni	Ulkoilman kautta sisälle kulkeutuvat liikenteen ja teollisuuden päästöt, tupakointi
Terpeenit	Limoneeni, α -pineeni, 3-kareeni	Puhdistusaineet, hajusteet, hygieniatuotteet, puupohjaiset tuotteet, maalit, elintarvikkeet
Alkoholit	1-Butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli	PVC-materiaalit
Aldehydit	Bentsaldehydi, heksanaali, nonanaali, formaldehydi (VOC-yhdiste)	Tupakointi, ruuanlaitto, kynttilöiden poltto, puhdistus- ja desinfiointiaineet, rakennus- ja sisustusmateriaalit kuten parketit ja matot

VOC-yhdisteiden määrittäminen ja analysointi

VOC-yhdisteitä voidaan määrittää sisäilmasta joko jatkuvatoimisilla tai keräävillä mittalaitteilla. Jatkuvatoimiset mittalaitteet tarjoavat suuntaa antavaa tietoa ilman kemiallisesta laadusta, VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta ja ajallisesta vaihtelusta, mutta niiden tulokset eivät sovellu terveysvaikutusten arviointiin. Tuloksia ei voi myöskään verrata suoraan esimerkiksi Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015), jäljempänä asumisterveysasetuksen, toimenpiderajoihin tai muihin ohjeistuksiin, koska jatkuvatoimiset mittalaitteet ilmoittavat tulokset eri yksiköissä. Jatkuvatoimisten mittalaitteiden herkkyydestä, valikoivuudesta ja kalibroinnista ei myöskään ole monissa tapauksissa saatavilla tarpeeksi tietoa laitetoimittajalta tai laitteen anturin valmistajalta. Kokonaispitoisuuden määrittämiseen käytetään esimerkiksi metallioksidipulijohdeantureita tai fotoionisaatioon perustuvia antureita. (Alapieti ym. 2020.)

Keräävillä menetelmillä on mahdollista selvittää haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden lisäksi myös yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia. Yleisimmin VOC-yhdisteitä määritetään sisäilmasta ISO 16000-6 -standardin mukaisesti aktiivisella keräysmenetelmällä ja näytteet analysoidaan käyttäen termodesorptiota ja kaasukromatografiaa, jossa detektorina on joko massaspektrometri tai liekki-ionisaatiotektori ja massaspektrometri. Myös passiivinen näytteenotto käyttäen ISO 16017-2 -standardissa kuvattua näytteenottotapaa on mahdollinen. Käytettävä analyysimenetelmä on sama molemmilla näytteenottotavoilla. Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) julkaisussa on kuvattu tarkemmin näytteenottomenetelmiä sekä ilmanäytteille että materiaalipäästöjen määrittämiseen.

Toimenpiderajat ja ohjearvot

Haihtuville orgaanisille yhdisteille on asetettu eri toimijoiden tahoilta ohjearvoja ja toimenpiderajoja koskien esimerkiksi työperäistä altistumista, asunnoissa esiintyviä pitoisuuksia tai materiaalien päästöjä. Tässä katsauksessa niistä esitellään suomalaisen asumisterveysasetuksen toimenpiderajat, Euroopan unionin EU-LCI-arvot sekä WHO:n ohjearvot. Lisäksi vertailuna esitellään saksalaiset RW I ja II -arvot sekä Ranskan elintarvike-, ympäristö-, työterveys- ja työturvallisuusvirasto ANSES:n ohjearvot.

Terveydensuojelulaki, asumisterveysasetus ja sen soveltamisohje

Terveydensuojelulain (763/1994) tarkoituksena on väestön ja yksilön terveyden ylläpitäminen ja edistäminen sekä ennaltaehkäistä, vähentää ja poistaa sellaisia elinympäristössä esiintyviä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa. Terveydensuojelulaissa terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä. Terveydensuojelulain nojalla säädetty asumisterveysasetus (545/2015) on säädetty asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olosuhteiden valvontaan ja sitä sovelletaan terveydensuojeluviranomaisten päätöksissä. Asetus korvasi aiemman sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen 2003:1, jota päivitettiin tarkennetuilla ohje- ja raja-arvoilla sekä päivityksillä yleisesti käytössä oleviin käytäntöihin rakennusten terveyshaittojen selvittämisessä. Sosiaali- ja terveysministeriö on valmistelemassa asetukseen uutta päivitystä (Valtioneuvosto 2019).

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat eivät ole terveysperusteisia, eli niiden määrittämiseksi ei ole tehty toksikologista riskinarviota eikä niiden perusteella voida osoittaa terveydellisiä vaikutuksia. Toimenpiderajat perustuvat perustuvat 1990–2000-luvuilla sisäilmaongelmaisista kohteista kerättyyn mittausdataan ja ne on määritetty varoivaisuusperiaatte huomioon ottaen.

Valviran laatimassa asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valvira 2016) annetaan käytännöllisiä esimerkkejä ja yksityiskohtaisia tulkintoja asumisterveysasetuksen soveltamiseen erityisesti terveydensuojeluviranomaisille. Asetuksen soveltamisohjeen mukaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden toimenpiderajan ylittyessä on ryhdyttävä toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi ja tarvittaessa myös rajoittamiseksi tai poistamiseksi. Samoin toimitaan, mikäli yksittäisen yhdisteen toimenpideraja ylittyy. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden toimenpiderajan ylittyessä on selvítettävä yksittäisten yhdisteiden merkitys. Mikäli ylittymisen todetaan johtuvan terveydelle haitattomasta yhdisteestä, muita toimenpiteitä ei tarvita.

Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksen mukainen toimenpideraja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudelle (Total Organic Volatile Compounds, TVOC) huoneilmassa tolueninivasteella laskettuna on $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tolueninivasteella laskettu pitoisuus saadaan vertaamalla yhdisteen detektorivastetta toluenin detektorivasteeseen. Yksittäisen haihtuvan orgaanisen yhdisteen vastaava toimenpideraja on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asetuksessa on myös säädetty erilliset toimenpiderajat neljälle sisäilmaongelmia indikoivalle VOC-yhdisteelle tolueninivasteella määritettynä. 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatin (TXIB) ja 2-etyyli-1-heksanolin toimenpideraja on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Myös naftaleenin toimenpideraja on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mutta lisäksi on säädetty, ettei huoneilmassa saa esiintyä naftaleenin hajua. Styreenille asetus säättää toimenpiderajaksi $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. VVOC-yhdisteisiin kuuluvalla formaldehydille asetuksessa on säädetty vuosikeskiarvon toimenpiderajaksi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 30 minuutin mittausjakson keskiarvopitoisuuden toimenpiderajaksi. On kuitenkin huomattava, että formaldehydin toimenpideraja ei ole määritetty tolueninivasteen, vaan yhdisteen oman vasteen mukaan, joten arvoja ei voi suoraan verrata muihin toimenpiderajoihin. Toimenpiderajat on esitetty taulukossa 2 yhdessä seuraavassa kappaleessa esiteltävien terveysperusteisten ohjearvojen kanssa.

Terveysperusteiset ohjeavot

Euroopan unionin asettamat EU-LCI-arvot (Lowest Concentration of Interest, LCI) ovat rakennusmateriaalien tuoteturvallisuuden arviointiin tarkoitettuja terveysperusteisia ohjeavvoja, joiden avulla voidaan arvioida terveysriskejä, joita hengitysteiden kautta tapahtuva altistuminen rakennusmateriaaleista haihtuville yhdisteille voi aiheuttaa. Arvot on määritetty toksikologisen tiedon ja riskinarvioinnin perusteella (Euroopan komissio 2020), joten niitä voidaan käyttää myös sisäilman laadun suuntaa antavaan arviointiin terveysvaikutusten näkökulmasta, vaikka arvojen alkuperäinen käyttötarkoitus on eri.

RW I ja II -arvot ovat terveysperusteisia saksalaisen asiantuntijatyöryhmän (German Committee on Indoor Guidelines) määrittämiä sisäilman laadun arviointiin tarkoitettuja ohjeavvoja. RW I -arvot kuvaavat yhdisteiden pitoisuuksia, jotka nykytiedon valossa eivät edes elinikäisellä altistuksella aiheuta haitallisia terveysvaikutuksia ja ne on johdettu RW II -arvoista lisäturvakertoimella. RW II -arvot kuvaavat pitoisuustasoa, joiden ylittyessä erityisesti esimerkiksi perussairaudesta takia herkistyneillä ihmisillä voi esiintyä haitallisia terveysvaikutuksia pitkäaikaisilla altistumisilla. RW II -arvot perustuvat toksikologiseen ja epidemiologiseen tietoon yhdisteiden niistä pitoisuuksista, joilla haitallisia vaikutuksia voi ilmetä ja arvoissa on otettu huomioon mahdolliset epävarmuustekijät. TVOC-pitoisuudelle ei voida määrittää terveysperusteista ohjeavvoa, koska kokonaispitoisuus koostuu eri kohteissa eri yhdisteistä ja yksittäisiä yhdisteitä esiintyy erilaisina pitoisuuksina. Mikäli yksittäisten yhdisteiden terveysperusteiset ohjeavvot eivät ylity, Saksan liittovaltion ympäristökeskuksen sisäilman hygieniakomission sisäilman laadun arviointistandardin mukaan 300–1 000 µg/m³ TVOC-pitoisuus on kuitenkin vielä turvallinen. 1 000–3 000 µg/m³ TVOC-pitoisuus luokitellaan olevan merkillepantava. (Umwelt Bundesamt 2022.)

WHO (2010) on asettanut terveysperusteisia ohjeavvoja yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuuksille sisäilmassa. Ohjeavvot on laadittu perustuen tutkimustietoon esimerkiksi yhdisteiden esiintymisestä ilmassa, kinetiikasta, metaboliasta ja haittavaikutuksista ja niiden tavoitteena on toimia yhtenäisenä perustana kansanterveyden suojelemiseksi hengitysteiden kautta tapahtuvalta altistumiselta.

Ranskan elintarvike-, ympäristö-, työterveys- ja työturvallisuusvirasto ANSES on määrittänyt sisäilman laatua koskevia ohjeavvoja VOC-yhdisteille. Ohjeavvot kuvaavat pitoisuuksia, joiden alapuolella yhdisteiden ei odoteta aiheuttavan terveyshaittaa normaalille väestölle. Ohjeavvojen tavoite on suojella ihmisiä niiltä haittavaikutuksilta, joita yhdisteet voisivat hengitystiealtistuksella aiheuttaa ja ne on laadittu perustuen WHO:n ohjeavvoihin, niiden kriittiseen analysointiin sekä yhdisteiden toksikologiseen arviointiin. (ANSES 2018.)

Terveysperusteiset RW I/II- ja EU-LCI-arvot sekä WHO:n ja ANSES:n ohjeavvot on annettu yhdisteen omalla vasteella mitatuille pitoisuuksille, eivätkä siten ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen toluenivasteilla määritettyjen toimenpiderajojen kanssa. Vertailun vuoksi taulukossa 2 on kuitenkin esitetty asumisterveysasetuksen toimenpiderajat ja terveysperusteiset RW I/II- ja EU-LCI-arvot sekä WHO:n ja ANSES:n ohjeavvot niille viidelle yhdisteelle, joille asumisterveysasetuksessa on asetettu erilliset toimenpiderajat (TXIB, 2-etyyli-heksanoli, naftaleeni, styreeni ja formaldehydi). RW I/II- ja EU-LCI-arvot sekä WHO:n ja ANSES:n ohjeavvot ovat keskenään hyvin samankaltaisia. EU-LCI- ja RW I/II -arvoihin verrattuna WHO ja ANSES ovat määrittäneet VOC-yhdisteille vähemmän ohjeavvoja, joten tässä katsauksessa asuntojen VOC-pitoisuuksia verrataan EU-LCI- ja RW I/II -arvoihin. Taulukossa 2 on esitetty myös TVOC-pitoisuutta koskevat toimenpiderajat ja ohjeavvot, jotka eivät ole terveysperusteisia. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudelle ei voida määrittää terveysperusteisia ohjeavvoja, koska mahdolliset terveysvaikutukset riippuvat kokonaispitoisuuden sijaan enemmän siitä, mistä yhdisteistä ilmassa oleva seos koostuu, ja millaisina pitoisuuksina niitä esiintyy.

Taulukko 2. Asumisterveysasetuksessa VOC-yhdisteille asetetut toimenpiderajat ja terveysperusteiset RW I ja II-, EU-LCI-arvot sekä WHO:n ja ANSES:n ohjearvot samoille yhdisteille.

Yhdiste	Asumisterveysasetuksen toimenpideraja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ³	EU-LCI-arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RW I/II -arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO:n ohje-arvot ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ANSES:n ohje-arvot ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TVOC _{1,3}	400		≤ 300 ₄ / 300–1 000 ₅ / 1 000–3 000 ₆		
Yksittäiset VOC-yhdisteet	50 ₁				
TXIB	10 ₁	1 300 ₂			
2-Etyyli-1-heksanoli	10 ₁	300 ₂	100 / 1 000 ₂		
Naftaleeni	10 ₁ , hajua ei saa esiintyä	10 ₂	10 / 30 ₂	10 (12 kk)	10 (12 kk)
Styreeni	40 ₁	250 ₂	30 / 300 ₂		
Formaldehydi	50 ₂ (12 kk), 100 ₂ (30 min)	100 ₂	100 / - ₂	100 (30 min)	100 (hetkellinen altistus)

1= Tolueenivasteella määritetty pitoisuus.

2= Yhdisteen omalla vasteella määritetty pitoisuus.

3= Ei terveysperusteinen arvo.

4= Turvallinen (Umwelt Bundesamt 2022).

5= Turvallinen, jos yksittäiset yhdisteet eivät ylitä terveysperusteisia ohjearvojaan (Umwelt Bundesamt 2022).

6= Merkillepantava (Umwelt Bundesamt 2022).

Esiintyminen ja lähteet asunnoissa

Asuntojen sisäilmassa voi esiintyä satoja kaasumaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Yleisimpiä VOC-yhdisteiden lähteitä asunnoissa ovat esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaalit, kalusteet, erilaiset kuluttajatuotteet kuten siivouksessa käytettävät kemikaalit tai hajusteet sekä tilan käyttäjien ja lemmikkieläinten aineenvaihduntatuotteet. Myös tupakan savusta, lämmitysjärjestelmistä, elintarvikkeista ja ruoanlaitosta vapautuu VOC-yhdisteitä. (Su ym. 2013, Valvira 2016.) Lisäksi asuntojen sisäilmaan kulkeutuu VOC-yhdisteitä ulkoilmasta esimerkiksi ilmanvaihdon tai tuuletuksen kautta. Ulkoilman VOC-yhdisteet ovat peräisin esimerkiksi teollisuudesta, liikenteestä, pienpoltosta ja kasvillisuudesta. VOC-yhdisteiden pitoisuudet sisäilmassa ovat yleensä kuitenkin suurempia kuin ulkoilmassa, ja sisäilmassa esiintyy myös lukumäärällisesti enemmän yksittäisiä yhdisteitä johtuen esimerkiksi erilaisten materiaalien suuresta määrästä ja ihmisen toiminnasta. (Su ym. 2013, Paciencia ym. 2016, Tran ym. 2020, Vardoulakis ym. 2020).

Eriyryppisten sisäympäristöjen osalta asunnoissa esiintyvät VOC-pitoisuudet ovat suurempia ja esiintyvien yhdisteiden määrä on suurempi verrattuna esimerkiksi kouluihin ja toimistoihin. Tämä voi johtua esimerkiksi ihmisten merkittävämmästä aktiivisuudesta ja toiminnasta asunnoissa, kuten ruoanlaitosta, mutta lisäksi asunnoissa käytetään usein enemmän hajusteita sekä hygienia- ja puhdistustuotteita. (Paciencia ym. 2016.) Asuntojen ilmanvaihto ei myöskään yleensä ole yhtä tehokasta kuin julkisissa tiloissa (Wallenius ym. 2021). Seuraavissa kappaleissa on esitetty tutkimuksia asunnon käyttäjien toiminnan, rakennuksen iän ja muiden tekijöiden vaikutuksesta asuntojen VOC-pitoisuuksiin.

Asunnon käyttäjien toiminnan vaikutus VOC-pitoisuuteen

Saarisen ym. (2002) mukaan asukkailla on merkittävä vaikutus sisäilman TVOC-pitoisuuksiin, sillä asutuissa suomalaisissa asunnoissa keskimääräinen TVOC-pitoisuus oli noin kaksinkertainen verrattuna tyhjiin asuntoihin. Asukkaiden lukumäärällä ei havaittu olevan vaikutusta tuloksiin, mutta asukkaiden toiminta oli merkittävä pitoisuuksiin vaikuttava tekijä.

Tuomainen ym. (2003) tutkivat sisäilman VOC-yhdisteitä kahden uuden, lähekkäin sijaitsevan suomalaisen kerrostalon asunnoissa kolmen vuoden ajan rakennuksen valmistumisesta. Kahtena ensimmäisenä vuotena molemmissa taloissa yleisimmin esiintyvät yksittäiset VOC-yhdisteet olivat pitkälti samoja, mutta kolmantena vuotena yhdisteiden esiintymisessä oli havaittavissa enemmän asukkaiden toiminnasta johtuvaa vaihtelua.

Mečiarová ym. (2017) tutkivat TVOC-pitoisuuksia slovakialaisissa omakotitaloissa ja muissa asunnoissa. Tutkimuksen mukaan TVOC-pitoisuudet olivat alhaisempia asunnoissa, joissa asukkailla oli tapana avata ikkunat siivouksen ajaksi, koska tehostunut ilman vaihtuvuus nopeuttaa siivoustuotteiden sisältämien VOC-yhdisteiden poistumista sisäilmasta.

Noetzel & Järnström (2019) tutkimuksessa asukkaiden toiminnalla ja valinnoilla havaittiin olevan suuri merkitys VOC-pitoisuuksiin, sillä varsinkin siloksaani- ja terpeenipitoisuuksissa havaittiin suurta vaihtelua asuntojen välillä. Siloksaaneja vapautuu esimerkiksi siivousaineista ja kosmetiikasta. Terpeenejä vapautuu esimerkiksi elintarvikkeista, hajusteista ja puupohjaisista kalusteista.

Asunnon iän vaikutus VOC-pitoisuuteen

Rakennuksen ikä vaikuttaa asunnon VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin, koska yhdisteitä voi vapautua materiaaleista joko primääri-, sekundääri- tai tertiääriemissioina. Primääriemissiot tarkoittavat materiaalien lyhytaikaisia ominaispäästöjä eli pääasiassa uusien tuotteiden ja materiaalien ensimmäisten kuukausien aikana suurina pitoisuuksina esiintyviä emissioita. Sekundääriemissiot ovat materiaalien pidempiaikaisia ominaispäästöjä ja ne ovat sisäilman laadun kannalta merkittävin materiaaliemissiotyyppi. Tertiääriemissiot syntyvät kemiallisten reaktioiden kautta materiaalin sisältämien yhdisteiden reagoitessa esimerkiksi valon

tai otsonin vaikutuksesta. Myös materiaalin kostuminen ja kuluminen sekä korkeat lämpötilat voivat lisätä VOC-yhdisteiden päästöjä. (Saarinen ym. 2002, Järnström 2008, Huang ym. 2016.)

Primääriemissioiden aiheuttamat pitoisuudet vähenevät nopeasti; tutkimusten mukaan uusista rakennuksista mitatut TVOC-pitoisuudet puolittuvat alle vuodessa tai jopa alle kuudessa kuukaudessa (Tuomainen & Pirinen 2004, Järnström ym. 2006, Järnström ym. 2008). Tuomainen & Pirinen (2004) seurasivat kahden vuoden ajan TVOC- ja formaldehydipitoisuuksia uusissa suomalaisissa asunnoissa, jotka oli rakennettu erityisesti hengityssairaille asukkaille Terve talo -periaatteella. Tutkimuksen mukaan TVOC-pitoisuus tasaantui ensimmäisen vuoden aikana vakiotasolle laskien yli 80 prosenttia verrattuna juuri valmistuneista asunnoista mitattuihin pitoisuuksiin. Järnström ym. (2006) mittasivat asuntojen TVOC-pitoisuuksia Suomessa heti rakennusten valmistumisen jälkeen ja ensimmäisen vuoden aikana käyttöönotosta. Puolen vuoden aikana pitoisuustaso oli laskenut alle puoleen juuri valmistuneen rakennuksen pitoisuudesta, ja vuoden kuluttua pitoisuus oli noin 70 prosenttia pienempi kuin juuri valmistuneissa asunnoissa. Myös Järnström ym. (2008) selvittivät uusien suomalaisten asuntojen TVOC- ja formaldehydipitoisuuksia vuoden ajan. Vuoden kuluttua asuntojen valmistumisesta TVOC-pitoisuus oli laskenut noin 70 prosenttia verrattuna juuri valmistuneiden asuntojen pitoisuuteen. Sen sijaan formaldehydin pitoisuus nousi tarkastelujaksolla noin 40 prosenttia.

Ranta-Korhonen ym. (2018) tutkivat suomalaisissa omakotitaloissa esiintyviä TVOC-pitoisuuksia. Pitoisuudet vaihtelivat kohteesta riippuen välillä 150–350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ja suurin pitoisuus mitattiin talosta, joka oli valmistunut alle vuosi sitten. Noetzel & Järnström (2019) tutkimuksen mukaan TVOC-pitoisuudet vuoden ajan käytössä olleissa asunnoissa olivat noin kymmenen kertaa suurempia kuin 10 vuotta käytössä olleissa asunnoissa. Mittaukset tehtiin asunnoissa, joissa asukkaat eivät olleet kokeneet sisäilmaan liittyviä ongelmia.

Englantilaisten asuntojen TVOC-pitoisuuksissa oli Raw ym. (2004) mukaan huomattavaa vaihtelua. Tutkimuksessa vaihtelun havaittiin liittyvän vahvasti asunnon ikään, uudemmissa rakennuksissa esiintyvät pitoisuudet olivat suurempia.

Tuomainen ym. (2003) tutkivat sisäilman VOC-yhdisteitä kahden uuden, lähekkäin sijaitsevan suomalaisen kerrostalon asunnoissa rakennusten valmistumisen jälkeen. Kahtena ensimmäisenä vuotena molemmissa taloissa yleisimmin esiintyvät yksittäiset VOC-yhdisteet olivat pitkälti samoja, sillä terpeenit (limoneeni, 3-kareeni ja α -pineeni) sekä nonanaali kuuluivat yleisimpiin yhdisteisiin molemmissa taloissa. Näitä yhdisteitä vapautuu esimerkiksi rakennusmateriaaleista, kalusteista ja sisustusmateriaaleista, joten on yleistä, että niitä esiintyy runsaasti erityisesti uusissa rakennuksissa. Myös Hartikaisen ym. (2014) tutkimuksen mukaan juuri rakennetuissa tai rakenteilla olevissa asunnoissa suuriin VOC-pitoisuuksiin vaikutti esimerkiksi α -pineenin suuri osuus, joka voi olla peräisin esimerkiksi rakennusmateriaaleista tai kodin pesuaineista, joita uusissa rakennuksissa käytetään vanhoja rakennuksia yleisemmin.

Muiden asunnon ominaisuuksien vaikutus VOC-pitoisuuteen

Rakennuksen iän ja käyttäjien toiminnan lisäksi asuntojen VOC-pitoisuuksiin voi vaikuttaa esimerkiksi rakennustapa ja ilmanvaihto. Lisäksi yhdisteiden pitoisuudet voivat vaihdella vuodenajan mukaan, johtuen todennäköisesti esimerkiksi muutoksissa ilmanvaihdon tehokkuudessa ja yhdisteiden pysyvyydessä fotokemiallisten tai kosteuden aiheuttamien reaktioiden määrän muuttumisen seurauksena (Paciencia ym. 2016). Esimerkiksi Saarisen ym. (2002) tutkimuksessa TVOC-pitoisuuksien havaittiin korreloivan ilmankosteuden ja ilmanvaihdon tehokkuuden kanssa; kosteammassa ilmassa ja heikommissa ilmanvaihdossa pitoisuudet kohosivat.

Gusdorf & Parekh (2000) vertailivat uusien tavanomaisesti rakennettujen asuntojen TVOC-pitoisuuksia R-2000 teknisen standardin mukaisesti rakennettujen asuntojen pitoisuuksiin Kanadassa. Tavanomaisesti rakennetuissa asunnoissa pitoisuus oli keskimäärin yli 40 prosenttia suurempi kuin R-2000 standardin mukaisesti rakennetuissa asunnoissa.

Metiäinen ym. (2003) selvittivät TVOC-yhdisteiden ja TXIB:n pitoisuuksia suomalaisten asuntojen sisäilmassa ennen muovimattokorjauksia ja korjausten jälkeen. TXIB:tä vapautuu esimerkiksi rakennusmateriaaleina käytetyistä PVC-materiaaleista. Korjaukset tehtiin vuosina 2000–2002 ja niiden

jälkeen pitoisuudet mitattiin uudestaan vuosina 2001 ja 2002. Korjausten jälkeen asuntojen TVOC-yhdisteiden pitoisuus oli pienentynyt noin 10 prosenttia TXIB-pitoisuus pienentynyt noin 90 prosenttia.

Tuomainen ym. (2003) tutkivat sisäilman VOC-yhdisteitä kahden uuden, lähekkäin sijaitsevan suomalaisen kerrostalon asunnoissa kolmen vuoden ajan rakennuksen valmistumisesta. Toinen taloista oli rakennettu tavanomaisesti (kontrollitalo), toinen vuonna 1995 julkaistun Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokituksen mukaisesti käyttäen esimerkiksi M1-luokan materiaaleja. Rakentamislukituksen mukaisesti rakennetussa talossa TVOC-pitoisuus oli huomattavasti pienempi, jopa alle 10 prosenttia kontrollirakennuksen asuntojen pitoisuudesta. Myös formaldehydin pitoisuus Rakentamislukituksen mukaisesti rakennetussa talossa oli pienempi jokaisena mittausajankohtana kolmen vuoden aikana.

Korhonen ym. (2009) tarkastelivat asuntojen TVOC-pitoisuuksia Suomessa vuosina 2000 ja 2007. Vuonna 2007 TVOC-pitoisuus oli enää noin neljäsosan vuoden 2000 pitoisuudesta. Tutkimuksen mukaan syynä pitoisuuksien laskuun voi olla esimerkiksi vähäpäästöisten pintamateriaalien käytön lisääntyminen ja asuinrakennusten ilmanvaihdon parantuminen. Tutkimusmateriaali on kerätty kuntotutkimusten yhteydessä tehdyistä mittauksista, joten myös sisäilmaongelmaisten tutkimuskohteiden sattumanvarainen valikoituminen voi vaikuttaa tuloksiin. Vuosien 2000 ja 2007 määrittäykset on tehty eri asunnoista.

Langer & Bekö (2013) määrittivät formaldehydi- ja TVOC-pitoisuuksia ruotsalaisissa asunnoissa. Omakotitaloissa TVOC-pitoisuus oli noin 60 prosenttia suurempi muihin asuntotyyppisiin verrattuna. Myös formaldehydin pitoisuus oli lähes 50 prosenttia suurempi omakotitaloissa. Sen sijaan Mečiarován ym. (2017) tutkimuksen mukaan slovakialaisten omakotitalojen TVOC-pitoisuudet olivat yli 30 prosenttia pienempiä kuin muissa asuntotyypeissä. Myös lämmitysmuodolla oli vaikutusta TVOC-pitoisuuksiin, pitoisuudet olivat suurempia asunnoissa, joita lämmitettiin keskuslämmityksellä tai polttamalla kiinteää polttoainetta.

Hartikainen ym. (2014) mukaan suomalaisten matalaenergiatalojen ja vertailukohteina käytettyjen, tavanomaisesti rakennettujen talojen TVOC-pitoisuuksissa oli havaittavissa pieniä eroja. TVOC-pitoisuudet sekä matalaenergiataloissa että verrokkitaloissa vaihtelivat huomattavasti, mutta keskimäärin pitoisuudet olivat samalla tasolla molemmissa talotyypeissä. Verrokkitalojen pääsääntöisesti korkeampi ikä verrattuna matalaenergiataloihin voi vaikuttaa tuloksiin.

Langer ym. (2015) mukaan TVOC-yhdisteiden pitoisuus ruotsalaisissa, uusissa tavanomaisissa taloissa oli yli 40 prosenttia pienempi kuin uusissa passiivitaloissa. Sen sijaan formaldehydin pitoisuus tavanomaisissa taloissa oli noin 30 prosenttia suurempi kuin passiivitaloissa.

Leppänen ym. (2020) tutkivat TVOC-pitoisuuksia kolmesta omakotitalosta Suomessa. Suurin TVOC-pitoisuus määritettiin asunnosta, jossa oli ainoastaan koneellinen poistoilmanvaihto. Muissa asunnoissa oli käytössä sekä koneellinen tulo- että poistoilmanvaihto. Myös Järnström ym. (2008) tutkimuksessa TVOC-pitoisuuden havaittiin olevan huomattavasti pienempi asunnoissa, joissa oli poistoilmajärjestelmän lisäksi myös tuloilmajärjestelmä.

Bari ym. (2015) tutkimuksessa kanadalaisten asuntojen TVOC-pitoisuuksia määritettiin erikseen kesällä ja talvella. Kesällä TVOC-pitoisuus oli yli 40 prosenttia pienempi kuin talvella.

Hännisen ym. (2002) tutkimusaineistoon perustuen Sarigiannis ym. (2011) vertailivat sisäilmassa yleisesti esiintyvien VOC-yhdisteiden pitoisuuksia asuntojen sijainnin mukaan. Vertailu tehtiin kuuden Euroopan kaupungin välillä (Ateena, Basel, Helsinki, Milano, Oxford ja Praha). Taulukossa 3 on esitetty aritmeettisena keskiarvona Helsingissä mitatut pitoisuudet sekä pitoisuudet niistä kaupungeista, joista mitattiin suurin ja pienin keskiarvopitoisuus. Lukuun ottamatta α -pineeniä ja limoneenia, Helsingissä mitatut pitoisuudet olivat muihin kaupunkeihin nähden hyvin pieniä. Eroja voi Sarigiannis ym. (2011) mukaan selittää maantieteellisestä sijainnista johtuvat tekijät kuten lämpimämmän sään aiheuttama kohonnut haihtuvuus, erot ilmanvaihdossa tai esimerkiksi erot erilaisten kuluttajatuotteiden käyttötottumuksissa.

Taulukko 3. Asunnoista mitattujen VOC-yhdisteiden keskiarvopitoisuuksien vertailu eurooppalaisten kaupunkien välillä (Hänninen ym. 2002, Sarigiannis ym. 2011). (Helsingissä n = 188, Baselissa n = 47, Milanossa n = 41 ja Ateenassa n = 42.)

Yhdiste	Helsingissä mitattu keskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pienin mitattu keskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Suurin mitattu keskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bentseeni	2,2	2,2 (Helsinki)	17 (Milano)
Tolueneeni	20	20 (Basel, Helsinki)	83 (Ateena)
Ksyleeni	10	10 (Helsinki)	88 (Milano)
Styreeni	1,1	0,7 (Basel)	30 (Milano)
Naftaleeni	0,6	0,6 (Helsinki)	84 (Ateena)
α -Pineeni	16	4,1 (Basel)	18 (Milano)
Limoneeni	31	15 (Basel)	78 (Ateena)

VOC-pitoisuus asunnoissa, joissa on epäilty esiintyvän sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä

Villberg ym. (2004) vertailivat sisäilman VOC- ja formaldehydipitoisuuksia suomalaisissa asunnoissa, joiden asukkaat olivat kokeneet sisäilmaan liittyvää oireilua tai joiden asukkaiden kliinisissä tutkimuksissa oli herännyt epäily sisäilmaperäisestä sairaudesta, sekä verrokkiasunnoissa, joiden sisäilmanlaadusta asukkailla ei ollut huomautettavaa. Tapausasunnoissa keskimääräinen TVOC-pitoisuus oli noin 30 prosenttia suurempi kuin verrokkiasunnoissa, ja suurin mitattu pitoisuus 50 prosenttia suurempi kuin verrokkiasunnoissa. Formaldehydin keskimääräinen pitoisuus oli hieman suurempi verrokkiasunnossa, mutta tapausasunnoissa mitattu maksimipitoisuus ($83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli suurempi kuin verrokkiasunnoissa mitattu suurin pitoisuus ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Formaldehydin pitoisuudet tapaus- ja verrokkiasunnoissa eivät ylittäneet terveysperusteisia ohjearvoja ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Brownin (2002) mukaan TVOC-yhdisteiden pitoisuus sellaisissa Melbournessa sijaitsevilla asunnoissa, joissa asukkaat olivat kokeneet olevan ongelmia sisäilman laadussa, oli yli 40 prosenttia suurempi kuin sellaisissa asunnoissa, joissa asukkaat eivät olleet ilmoittaneet ongelmista ilmanlaadussa. Keskimääräiset TVOC-pitoisuudet olivat kuitenkin pieniä kummankin tyyppisissä asunnoissa.

Järnström ym. (2019) tutkivat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta ja TXIB-pitoisuuksia suomalaisissa asunnoissa, joissa asukkaat olivat kokeneet oireilua suhteellisen pian asunnon valmistumisen jälkeen. Asuntojen TVOC-pitoisuudet vaihtelivat välillä $54\text{--}370 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

TVOC-pitoisuudelle ei ole määritetty terveysperusteista ohjearvoa, jonka perusteella altistumisesta mahdollisesti aiheutuvia terveysvaikutuksia voisi arvioida. Edellä esitetyissä tutkimuksissa TVOC-pitoisuudet näyttäisivät olevan suurempia niissä asunnoissa, joissa asukkaat ovat kokeneet mahdollisesti sisäilmaan liittyvää oireilua, kuin vertailuasunnoissa. Huomioitavaa on kuitenkin, että havaitut TVOC-pitoisuudet ovat kokonaisuudessaan pieniä, eivätkä siten välttämättä selitä koettuja oireita.

Yhteenveto pitoisuuksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä

Edeltävissä kappaleissa esitetyissä tutkimuksissa raportoituja asuntojen TVOC- ja formaldehydipitoisuuksia on koottu taulukkoon 4. Edellä esitetyn tutkimustiedon perusteella suomalaisissa asunnoissa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ovat pääosin pieniä ja ylittävät asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lähinnä uusissa kohteissa, joissa primääriemissioiden osuus on vielä merkittävä. Pidempään käytössä olleissa rakennuksissa esiintyy satunnaisia ylityksiä, jotka voivat johtua esimerkiksi riittämättömästä ilmanvaihdosta. Tutkimusten mukaan uusissa asunnoissa yleisimmin esiintyviä yhdisteitä

ovat rakennusmateriaaleista emittoituvat yhdisteet, kun taas vanhemmissa rakennuksissa yhdisteiden esiintymisessä korostuu asukkaiden toiminta esimerkiksi sisustusmateriaalien ja käytettävien kemikaalien suhteen. Kirjallisuustarkastelun perusteella suomalaisista asunnoista määritetyt pitoisuudet ovat noin keskitasoa verrattuna eri maista mitattuihin TVOC- ja formaldehydipitoisuuksiin. Suomalaisen asumisterveysasetuksen toimenpideraja VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudelle alittui myös suurimmassa osassa tutkituista ulkomaisista asunnoista. Tutkimusten mukaan formaldehydin keskimääräiset pitoisuudet sekä suomalaisissa että lähes kaikissa tutkituissa ulkomaalaisissa asunnoista alittavat suomalaisen asumisterveysasetuksen lyhyen ajan keskiarvopitoisuuden toimenpiderajan ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja kansainväliset terveysperusteiset ohjearvot ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Taulukko 4. Tutkimustuloksia TVOC- ja formaldehydipitoisuuksista asuntojen sisäilmassa.

Maa	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formaldehydi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	n	Huomio	Viite
Suomi	450 / 220 _M , 340 / 190 _{MD}		24	Asutuissa asunnoissa / Asumattomissa asunnoissa	Saarinen ym. 2002
Suomi	310 / 270 _{MD}		16	Ennen / Jälkeen muovimattokorjausten	Metiäinen ym. 2003
Suomi	930 / 330 / 270 _M , 70 / 45 / 28 _M	23 / 23 / 17 _M , 13 / 16 / 12 _M	27 27	1 / 2 / 3 v ikäisissä tavanomaisesti rakennetuissa asunnoissa 1 / 2 / 3 v ikäisissä Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokituksen mukaisesti rakennetuissa asunnoissa	Tuomainen ym. 2003
Suomi	270 / 210 _{GM} , 320 / 260 _M	15 / 21 _{GM} , 21 / 28 _M	118 / 27	Asunnoissa, joissa asukkaat olivat kokeneet sisäilmaan liittyvää oireilua / Terveksi koetuissa asunnoissa	Villberg ym. 2004
Suomi	860 / 270 / 130 / 150 _M	23 / 15 / 13 / 10 _M	6, 3 kk kohdalla tehdyissä mittauksissa n = 3	3 kk / 7 kk / 1 v / 2 v ikäisissä, Terve talo -periaatteen mukaisesti rakennetuissa asunnossa	Tuomainen & Pirinen 2004
Suomi	780 / 330 / 250 _M	19 / 21 / 26 _M	14	0 / 6 / 12 kk ikäisissä asunnoissa	Järnström ym. 2006
Suomi	~900 / 400 / 300 _M	~21 / 24 / 30 _M	9	0 / 6 / 12 kk ikäisissä asunnoissa	Järnström ym. 2008
Suomi	1 000 / 250 _M		109 / 31	Asunnoissa vuonna 2000 / 2007	Korhonen ym. 2009
Suomi	44–560 / 60–380		8 / 6	Matalaenergiataloissa / Tavanomaisesti rakennetuissa taloissa	Hartikainen ym. 2014
Suomi	150–350 _M		3	Omakotitaloissa	Ranta-Korhonen ym. 2018
Suomi	54–370 _M		13	Asunnoissa, joissa asukkaat olivat kokeneet oireilua suhteellisen pian asunnon valmistumisen jälkeen	Järnström ym. 2019
Suomi	27–160		3	Omakotitalot	Leppänen ym. 2020

M = Aritmeettinen keskiarvo, GM = Geometrinen keskiarvo, MD = Mediaani.

Maa	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formaldehydi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	n	Huomio	Viite
Suomi	125 _{GM} , 140 _{MD} , 200 _M		29	Pientalot	Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen ja Itä-Suomen yliopiston yhteistyöhanke
Ruotsi	320 _{MD} , 350 _M	12 _M	TVOC-pitoisuudelle n = 178 Formaldehydille n = 177	Kaiken tyyppisissä asunnoissa	Bornehag & Stridh 2000
Kanada	570 / 390 _M		73 / 24	Uudet tavanomaiset / R-2000 teknisen standardin mukaiset asunnot	Gusdorf & Parekh 2000
Australia	160 / 230 _{GM} , 320 / 240 _M		22 / 5	Ilmanlaadussa ei koettu ongelmaa / Asukkaat kokeneet ilmanlaadussa ongelmaa	Brown 2002
Englanti	210 _{GM} , 200 _M	22 _{GM} , 24 _M	TVOC-pitoisuudelle n = 796 Formaldehydille n = 833		Raw ym. 2004
Kiina		86 _{MD} , 110 _M	100		Guo ym. 2009
Kiina	650 _M		2 302	Uudelleen sisustetut huoneet sekä vanhoissa että uusissa asunnoissa	Liu ym. 2011
Ruotsi	240 / 150 _{GM} , 240 / 140 _{MD} , 310 / 170 _M	22 / 12 _{GM} , 22 / 13 _{MD} , 26 / 14 _M	TVOC-pitoisuudelle n = 151 / 132 Formaldehydille n = 156 / 138	Omakotitalot / Muut asuntotyyppit	Langer & Bekö 2013
Kanada	920 / 1 700 _{MD} , 1 200 / 2 100 _M		26 / 26	Kesällä / Talvella	Bari ym. 2015
Ruotsi	150 / 270 _{MD}	16 / 11 _{MD}	21 / 20	Tavanomaisissa taloissa / Passiivitaloissa	Langer ym. 2015
Slovakia	330 / 520 _M		17 / 18	Omakotitalot / Muut asuntotyyppit	Mečiarová ym. 2017

M = Aritmeettinen keskiarvo, GM = Geometrinen keskiarvo, MD = Mediaani.

Suomalaisista asunnoista mitatut pitoisuudet vuosina 2010–2019

Tutkimusaineisto ja menetelmät

Katsauksen lähdeaineistona käytettiin Työterveyslaitokselle vuosina 2010–2019 analysoitaviksi toimittujen VOC- ja formaldehydinäytteiden mittaustuloksia suomalaisista asunnoista. Aineisto sisälsi mittaustulokset yhteensä 1 093 VOC-näytteestä ja 211 formaldehydinäytteestä, joista valtaosa on arvion mukaan kerätty asunnoista, joissa on epäilty esiintyvän sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä. Aineistosta on jätetty pois sellaisten kohteiden näytteet, joissa esimerkiksi epäillyn öljyvahingon tai hiljattain tehdyn remontin seurauksena mittaustulos oli selvästi poikkeava, tai joissa näyte on otettu rakenteen sisältä tai muuten epätyypillisestä sijainnista (3 % näytteistä). Aineisto on analysoitu ja esitetty mukailien Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) VOC-katsauksessa käytettyjä tunnuslukuja ja esitystapaa.

Aineiston VOC-näytteet on kerätty Tenax TA- tai Tenax TA/Carbograph 5 TD -näytteenottoputkiin Työterveyslaitoksen ohjeistuksen mukaisesti ja analysoitu termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla ISO 16000-6:2011 -standardiin perustuvan menetelmän mukaisesti. Oktametyyliisyklotetrasiloksaania ja dodekametyyliisykloheksasiloksaania lukuun ottamatta yhdisteiden pitoisuudet on määritetty yhdisteen omalla vasteella tolueenivasteen sijaan. Formaldehydinäytteet on kerätty joko aktiivisesti tai diffuusion avulla DNPH-keräimiin Työterveyslaitoksen ohjeistuksen mukaisesti. Näytteet on analysoitu nestekromatografisesti ISO 16000-3:2011 -standardiin perustuvan menetelmän mukaisesti.

Sekä VOC- että formaldehydiaineistosta määritettiin yhdisteiden esiintyvyys eli määrittäjärajien ylittävien mittaustulosten prosenttiosuus, geometrinen keskiarvo, P25-, P50- ja P90-arvot eli persentiiliarvot sekä maksimiarvo. Geometrinen keskiarvo kuvaa keskiarvoa logaritmisella asteikolla. P25 kuvaa arvoa, jonka alapuolelle jää 25 prosenttia tapauksista. P50-arvon, eli mediaaniluvun, alapuolelle jää 50 prosenttia analysoiduista tapauksista, ja P90-arvon alapuolelle 90 prosenttia tapauksista. Yhdisteiden pitoisuuksista ja esiintyvyydestä tehtiin myös trendiseuranta vuosilta 2010–2019. Seurantaa varten yhdisteille määritettiin geometrinen keskiarvo sekä keskihajonta ja esiintyvyyssprosentti jokaiselle seurantavuodelle. Geometrinen keskihajonta kuvaa, kuinka hajallaan arvot ovat keskiarvosta. VOC-yhdisteiden ja formaldehydin geometrinen keskiarvo ja VOC-yhdisteiden geometrinen keskihajonta on määritetty määrittäjärajien ylittävistä tuloksista. Persentiiliarvot koskevat koko aineistoa, eli myös tuloksia, jotka eivät ylitä määrittäjärajaa. VOC-yhdisteiden osalta tarkasteltiin ainoastaan yhdisteitä, joita esiintyi vähintään 10 prosentissa näytteistä.

Yleisimmän esiintyvät yhdisteet

Yli 50 prosentissa näytteistä esiintyvät yhdisteet on lueteltu yhdisteryhmittäin taulukossa 5. Aromaattisten hiilivetyjen tyypillisiä lähteitä ovat esimerkiksi liikenteen päästöt. Aldehydejä vapautuu sisäilmaan monista eri lähteistä, kuten rakennusmateriaaleista, hajusteista, ruuan valmistuksesta ja huonekasveista. Alkoholisten lähteitä sisäilmassa ovat muun muassa PVC-materiaalit, liimat ja siivouskemikaalit. Estereitä vapautuu esimerkiksi rakennusmateriaaleista, ruuan valmistuksesta ja elintarvikkeista. Happojen lähteitä ovat muun muassa puhdistusaineet ja raakapuu. Uudesta puusta vapautuu myös esimerkiksi terpeenejä, joiden muita lähteitä ovat muun muassa elintarvikkeet ja hajusteet. Piiyhdisteihin kuuluvien siloksaaniin tyypillisiä lähteitä ovat esimerkiksi pesu- ja puhdistusaineet. Ihmisen toiminnalla on siis huomattava vaikutus VOC-yhdisteiden pitoisuuteen asunnoissa.

Taulukko 5. Yli 50 prosentissa näytteistä esiintyvät yhdisteet asunnoissa vuosina 2010–2019, jaoteltuna yhdisteryhmän mukaan.

Yhdisteryhmä	Yhdisteet
Aromaattiset hiilivedyt	Bentseeni, ksyleenit (p, m), tolueni
Aldehydit	Bentsaldehydi, dekanaali, heksanaali, heptanaali, nonanaali, oktanaali, pentanaali
Alkoholit	1-Butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli, 1,2-propaanidioli, 2-metyyli-1-propanoli
Esterit	N-butyyliasetaatti, etyyliasetaatti, TXIB
Hapot	Heksaanihappo
Terpeenit	3-Kareeni, limoneeni, α -pineeni
Piiyhdisteet	Dekametyylisyklopentasiloksaani

Vähintään 10 prosentissa näytteistä esiintyviä yhdisteitä oli 61 (taulukko 6). Suurimpina keskimääräisinä pitoisuuksina asunnoissa esiintyi 1,2-propaanidiolia ($6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), α -pineeniä ($5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja heksanaalia ($5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Keskimäärin mitattavissa asunnoissa esiintyi määräysrajan ylittävänä pitoisuuksina 29 yksittäistä VOC-yhdistettä ja TVOC-pitoisuuden geometrinen keskiarvo oli $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä on selvästi alle asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 8 prosentissa näytteistä TVOC-pitoisuus ylitti asumisterveysasetuksen toimenpiderajan. Pääasiassa ylitykset olivat lieviä ja ylittivät toimenpiderajan alle 25 prosentilla. Vain 1,5 prosentissa kaikista näytteistä toimenpideraja ylittyi kaksinkertaisesti tai enemmän. Suurimmillaan toimenpideraja ylittyi noin kolminkertaisesti, mutta ylitys tapahtui vain kahdessa näytteessä, eli alle 0,2 prosentissa näytteistä.

Yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä, keskimäärin $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asumisterveysasetuksessa on asetettu erilliset toimenpiderajat kolmelle aineistossa esiintyvälle VOC-yhdisteelle. TXIB:lle ja 2-etyyli-1-heksanolille toimenpideraja on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja styreenille $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. TXIB:n ja styreenin keskimääräiset pitoisuudet ja P90-arvot alittivat selvästi toimenpiderajat. 2-Etyyli-1-heksanolin keskimääräinen pitoisuus alitti toimenpiderajan selvästi, mutta toimenpideraja ylittyi 13 prosentissa näytteistä. Muita VOC-yhdisteitä asumisterveysasetuksessa koskee toimenpideraja $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet ja P90-arvot alittivat kyseisen toimenpiderajan, mutta maksimi-arvot ylittivät toimenpiderajan noin 40 prosentilla yhdisteistä. On kuitenkin huomioitava, että asumisterveysasetuksen toimenpiderajat VOC-yhdisteille on määritetty pääosin toluenivasteella, joten asunnoista mitattuja arvoja voidaan verrata toimenpiderajoihin vain suuntaa antavasti lukuun ottamatta dodekametyylisykloheksasiloksaania, oktametyylisyklotetrasiloksaania ja TVOC-pitoisuutta, joiden pitoisuudet on määritetty toluenivasteella. Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat eivät ole terveysperusteisia, eikä niiden perusteella siten voida arvioida altistumisesta aiheutuvia terveysvaikutuksia. Taulukossa 6 on esitetty VOC-yhdisteitä kuvaavien tunnuslukujen lisäksi yhdisteitä koskevat terveysperusteiset EU-LCI- ja RW I/II -ohje-arvot. Yhdisteiden geometriset keskiarvopitoisuudet ja P90-arvot alittavat huomattavasti terveysperusteiset ohje-arvot.

Taulukko 6. Yleisimmät VOC-yhdisteet (esiintyvyys ≥ 10 % näytteistä) asuntojen sisäilmassa vuosina 2010–2019 Työterveyslaitoksessa ISO 16000-6:2011 -standardiin perustuvalla menetelmällä analysoidun aineiston perusteella (n = 1 093). Geometrinen keskiarvo on laskettu määrittärajän (LOQ) ylittävistä tuloksista, muut tunnusluvut koskevat koko aineistoa. Määrittärajat ovat suuntaa antavia. EU-LCI- ja RW I/II -arvot ovat terveysperusteisia ohjearvoja. Taulukon esitystapa mukailen Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) VOC-katsausta.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (Määrittärajä)	CAS-numero	Esiintyvyys 2010–2019 näytteissä (%)	GM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mediaani ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EU-LCI-arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RW I/II -arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Alifaattiset hiilivedyt (0,4–0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
Dekaani	124-18-5	22	1,2	<LOQ	<LOQ	1,0	49		
Dodekaani	112-40-3	29	0,8	<LOQ	<LOQ	0,9	10		
Heksadekaani	544-76-3	31	0,7	<LOQ	<LOQ	0,8	3,0		
2,2,4,4,6,8,8-Heptametyylinonaani	4390-04-9	19	1,8	<LOQ	<LOQ	1,0	40		
Heptaani	142-82-5	31	0,9	<LOQ	<LOQ	1,0	20	15 000	
Nonaani	111-84-2	21	0,9	<LOQ	<LOQ	0,8	19		
Oktaani	111-65-9	17	0,7	<LOQ	<LOQ	0,6	9,0		
2,2,4,4,6,6-Pentametyyliheptaani	13475-82-6	22	1,7	<LOQ	<LOQ	2,0	56		
Pentadekaani	629-62-9	31	0,7	<LOQ	<LOQ	0,8	6,0		
Tertradekaani	629-59-4	35	0,8	<LOQ	<LOQ	1,0	8,0		
Tridekaani	629-50-5	18	0,8	<LOQ	<LOQ	0,7	7,0		
Undekaani	1120-21-4	23	1,1	<LOQ	<LOQ	1,0	25		

1 = Laskettu määrittärajän ylittävistä mittaustuloksista.

2 = Yhteinen ksyleenin kaikille kolmelle isomeerille (p, m, o) sekä niiden seoksille (Euroopan komissio 2020).

3 = Kokonaisohjearvona C7-C8 alkyylibentseenille (Umwelt Bundesamt 2022).

Yhdisteryhmä ja yhdiste (Määrittäysraja)	CAS-numero	Esiintyvyys 2010–2019 näytteissä (%)	GM ₁ (µg/m ³)	P25 (µg/m ³)	Mediaani (µg/m ³)	P90 (µg/m ³)	Max (µg/m ³)	EU-LCI-arvo (µg/m ³)	RW I/II -arvo (µg/m ³)
Aromaattiset hiilivedyt (0,5 µg/m³)									
Bentseeni	71-43-2	63	0,8	<LOQ	0,5	1,0	13		
Etyylibentseeni	100-41-4	43	0,9	<LOQ	<LOQ	1,0	20	850	200/2 000
Ksyleeni (p, m)	108-38-3, 106-42-3	79	1,2	0,4	0,8	4,0	57	500 ₂	100/800 ₃
Ksyleeni (o)	95-47-6	41	0,9	<LOQ	<LOQ	1,0	21	500 ₂	100/800 ₃
Styreeni	100-42-5	30	0,9	<LOQ	<LOQ	1,0	170	250	30/300
1,2,4-Trimetyylibentseeni	95-63-6	24	0,9	<LOQ	<LOQ	0,8	15	450	400/4 000
Tolueneeni	108-88-3	95	1,7	0,8	1,0	6,0	260	2 900	300/3 000 ₃
Terpeenit (0,5 µg/m³)									
3-Kareeni	498-15-7	85	3,1	0,9	2,0	13	230	1 500	200/2 000
Limoneeni	138-86-3, 5989-27-5, 5989-54-8	80	3,0	0,5	2,0	13	490	5 000	1 000/10 000
α-Pineeni	80-56-8	96	5,8	2,0	5,0	28	310	2 500	200/2 000
β-Pineeni	127-91-3	45	1,1	<LOQ	<LOQ	2,0	20	1 400	200/2 000

1 = Laskettu määrittäysrajan ylittävistä mittaustuloksista.

2 = Yhteinen ksyleenin kaikille kolmelle isomeerille (p, m, o) ja niiden seoksille (Euroopan komissio 2020).

3 = Kokonaisuohjearvona C7-C8 alkyylibentseeneille (Umwelt Bundesamt 2022).

4 = Alustava arvo (Umwelt Bundesamt 2022).

Yhdisteryhmä ja yhdiste (Määrittäysraja)	CAS-numero	Esiintyvyyys 2010–2019 näytteissä (%)	GM ₁ (µg/m ³)	P25 (µg/m ³)	Mediaani (µg/m ³)	P90 (µg/m ³)	Max (µg/m ³)	EU-LCI-arvo (µg/m ³)	RW I/II -arvo (µg/m ³)
Alkoholit (0,5 µg/m ³ , 1,2-Propanidioli 0,8–1 µg/m ³)									
Bentsyylialkoholi	100-51-6	33	1,4	<LOQ	<LOQ	2,0	120	440	400/4 000
1-Butanoli	71-36-3	97	3,3	2,0	3,0	10	200	3 000	700/2 000
2-Etyyli-1-heksanoli	104-76-7	88	2,8	0,9	2,0	16	120	300	100/1 000 ₄
1-Oktanoli	111-87-5	18	1,1	<LOQ	<LOQ	1,0	5,0	1 700	
1-Heksanoli	111-27-3	15	0,8	<LOQ	<LOQ	0,6	12	2 100	
2-Metyyli-1-propanoli	78-83-1	58	1,4	<LOQ	0,6	3,0	110	11 000	
1-Pentanoli	71-41-0	34	2,1	<LOQ	<LOQ	3,0	27	730	
1,2-Propanidioli (propyleeniglykoli)	57-55-6	84	6,1	1,0	4,0	26	710	2 100	60/600
Fenolit (0,5 µg/m ³)									
Fenoli	108-95-2	23	0,8	<LOQ	<LOQ	0,9	8,0	70	20/200
Alkoholi- ja fenolieetterit (0,5– 1 µg/m ³)									
2-(2-Butoksietoksi)etanoli	112-34-5	19	3,0	<LOQ	<LOQ	2,0	280	350	400/1 000 ₄
2-Butoksietanoli	111-76-2	48	1,3	<LOQ	<LOQ	2,0	23	1 600	100/1 000
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	111-90-0	28	2,5	<LOQ	<LOQ	4,0	98	350	700/2 000 ₄
2-Fenoksietanoli	122-99-6	44	1,0	<LOQ	<LOQ	2,0	17	60	30/100
1-Metoksi-2-propanoli	107-98-2	37	1,3	<LOQ	<LOQ	2,0	74	7 900	1 000/10 000

1 = Laskettu määrittäysrajan ylittävistä mittaustuloksista.

4 = Alustava ohjearvo (Umwelt Bundesamt 2022).

Yhdisteryhmä ja yhdiste (Määrittäysraja)	CAS-numero	Esiintyvyyys 2010–2019 näytteissä (%)	GM ₁ (µg/m ³)	P25 (µg/m ³)	Mediaani (µg/m ³)	P90 (µg/m ³)	Max (µg/m ³)	EU-LCI-arvo (µg/m ³)	RW I/II -arvo (µg/m ³)
Aldehydit (0,5 µg/m ³)									
Bentsaldehydi	100-52-7	87	1,6	0,9	1,0	4,0	36		20/200 ₄
Dekanaali	112-31-2	83	2,5	1,0	2,0	6,0	20	900	100/2 000
2-Furfuraali	98-01-1	46	1,1	<LOQ	<LOQ	2,0	44	10	10/100
Heksanaali	66-25-1	92	5,7	2,0	5,0	20	290	900	100/2 000
Heptanaali	111-71-7	63	1,4	<LOQ	1,0	2,0	10	900	100/2 000
Nonanaali	124-19-6	95	5,5	3,0	6,0	13	37	900	100/2 000
Oktanaali	124-13-0	80	1,5	0,6	1,0	3,0	12	900	100/2 000
Pentanaali	110-62-3	82	2,0	0,7	2,0	6,0	59	800	100/2 000
Ketonit (0,5 µg/m ³)									
Asetofenoni	98-86-2	15	0,7	<LOQ	<LOQ	0,5	5,0	490	
2-Butanoni	78-93-3	12	3,0	<LOQ	<LOQ	1,0	47	20 000	
6-Metyyli-5-hepten-2-oni	110-93-0	42	1,1	<LOQ	<LOQ	2,0	6,0		
Sykloheksanoni	108-94-1	28	0,8	<LOQ	<LOQ	1,0	110	410	

1 = Laskettu määrittäysrajan ylittävistä mittaustuloksista.

4 = Alustava ohjearvo (Umwelt Bundesamt 2022).

Yhdisteryhmä ja yhdiste (Määrittäysraja)	CAS-numero	Esiintyvyys 2010–2019 näytteissä (%)	GM ₁ (µg/m ³)	P25 (µg/m ³)	Mediaani (µg/m ³)	P90 (µg/m ³)	Max (µg/m ³)	EU-LCI-arvo (µg/m ³)	RW I/II -arvo (µg/m ³)
Hapot (0,5–1 µg/m ³)									
Butaanihappo (voihappo)	107-92-6	32	1,2	<LOQ	<LOQ	2,0	12	1 800	
Heksaanihappo (kapronihappo)	142-62-1	76	5,1	1,0	4,0	11	73	2 100	
Pentaanihappo (valeriaanahappo)	109-52-4	45	1,8	<LOQ	<LOQ	3,0	26	2 100	
Propaanihappo	79-09-4	49	2,6	<LOQ	<LOQ	5,0	65	1 500	
Esterit (0,3–0,5 µg/m ³)									
n-Butyyliasetaatti	123-86-4	53	1,4	<LOQ	0,4	3,0	77	4 800	
Etyyliasettaatti	141-78-6	55	2,1	<LOQ	0,6	6,0	110		600/6 000
Texanol	25265-77-4	46	2,4	<LOQ	<LOQ	7,0	250	850	
TXIB	6846-50-0	57	1,9	<LOQ	0,7	5,0	48	1 300 ₅	
Piiyhdisteet (0,5 µg/m ³)									
Dodekametyylisykloheksasiloksaani*	540-97-6	24	2,8	<LOQ	<LOQ	3,0	77		
Oktametyylisyklotetrasiloksaani*	556-67-2	11	5,2	<LOQ	<LOQ	2,0	190	1 200	
Dekametyylisyklopentasiloksaani	541-02-6	90	5,4	1,0	4,0	45	440		100/1 000
Muut yhdisteet									
2-Pentyylifuraani	3777-69-3	15	0,7	<LOQ	<LOQ	0,5	4,0		
TVOC*			110	60	110	370	1 400		

*= Tolueenivasteella määritetty pitoisuus.

1 = Laskettu määrittäysrajan ylittävistä mittaustuloksista.

5 = Arvoa johdettaessa ei ole huomioitu yhdisteen mahdollisia ärsytysvaikutuksia (Euroopan komissio 2020).

Vuosina 2010–2019 formaldehydiä analysoitiin yhteensä 211 näytteestä, joista 99 prosentissa formaldehydin pitoisuus ylitti määrittärajän (Taulukko 7). Formaldehydin keskimääräinen pitoisuus asunnoissa oli 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Formaldehydin terveysperusteinen ohjearvo WHO:n ja ANSES:n sekä EU-LCI- ja RW I -arvojen mukaan on 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä ohjearvo ylittyi yhdessä näytteessä lievästi. Myös asumisterveysasetuksen lyhyen ajan keskiarvopitoisuuden toimenpideraja on 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

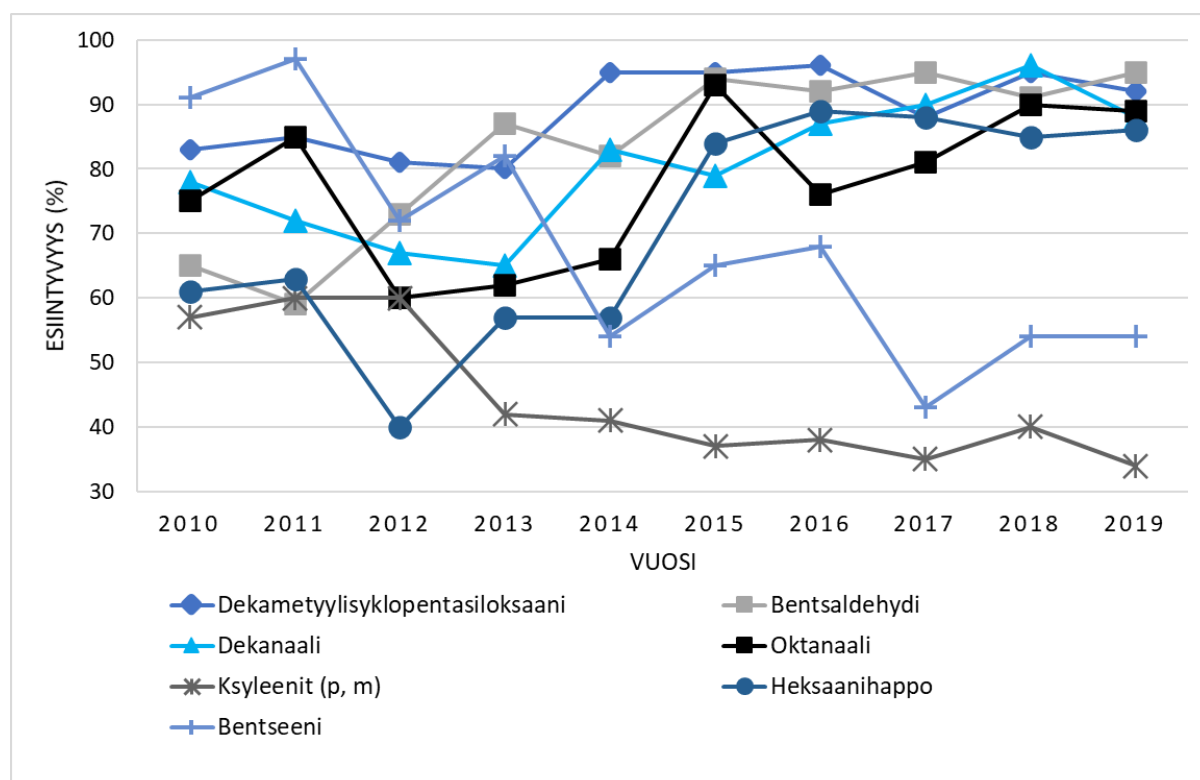
Taulukko 7. Formaldehydipitoisuudet asuntojen sisäilmassa vuosina 2010–2019 Työterveyslaitoksessa ISO 16000-3:2011 -standardiin perustuvalla menetelmällä analysoidun aineiston perusteella (n = 211).

Yhdiste (Määrittärajä)	CAS-numero	GM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mediaani ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EU-LCI-arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RW I/II -arvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Formaldehydi (1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50-00-0	22	13	21	63	110	100	100/-

I = Laskettu määrittärajän ylittävistä mittaustuloksista.

Esiintyvyyden muutostrendit

Kuvassa 1 on esitetty esiintyvyyssprosentin muutostrendit niille yhdisteille, joita esiintyi yli 50 prosentissa näytteistä ja joiden esiintyvyydelle oli havaittavissa nouseva tai laskeva muutostrendi vuosina 2010–2019. Liitteessä 1 on esitetty asunnoissa vuosina 2010–2019 esiintyvien VOC-yhdisteiden vuosikohtaiset esiintyvyyssprosentit ja pitoisuudet määrittärajän ylittävistä tuloksista kaikille niille VOC-yhdisteille, joita esiintyi yli 10 prosentissa näytteistä ja joille muutostrendi oli havaittavissa.



Kuva 1. Asunnoissa yleisimmin esiintyvien VOC-yhdisteiden esiintyvyyssprosenttien muutokset vuosina 2010–2019 (n = 1 093).

Niissä alifaattisissa hiilivedyissä, joissa on havaittavissa muutostrendi vuosien 2010–2019 aikana, trendi on ollut 2,2,4,4,6,8,8-heptametyylinonaania lukuun ottamatta laskeva. Esiintyvyyden laskevasta trendistä

huolimatta dekaanin, nonaanin ja undekaanin pitoisuudet ovat pysyneet keskimäärin samalla tasolla määritysrajan ylittävissä näytteissä. Myös aromaattisten hiilivetyjen osalta esiintyvyyden selkeät muutostrendit olivat laskevia. Erityisesti bentseenin esiintyvyys oli pienentynyt, vuonna 2010 bentseeniä esiintyi 91 prosentissa näytteistä, kun vuonna 2019 esiintyvyys oli enää 54 prosenttia. Yhdisteiden pitoisuuksissa ei ollut havaittavissa merkittäviä muutoksia. Esiintyvyyden laskeva trendi voi johtua esimerkiksi ulkoa kulkeutuvien teollisuuden ja liikenteen päästöjen vähentyneestä määrästä.

Muissa yhdisteryhmissä yhdisteiden esiintyvyydessä havaitut trendit ovat olleet pääasiassa nousevia. Esiintyvyyden selkeitä nousutrendejä on havaittavissa esimerkiksi alkoholi- ja fenolieettereistä 2-butoksietanolilla ja 2-fenoksietanolilla, aldehydeistä bentsaldehydillä, hapoista butaani-, heksaani- ja propani- ja piyhdisteistä dodekametyylisykloheksaaniloksaanilla. Näiden yhdisteiden esiintyvyys on noussut tarkastelujakson aikana 25–57 prosenttiyksikköä, mutta yhdisteiden määritysrajan ylittävien näytteiden keskimääräisissä pitoisuuksissa on havaittavissa pientä laskua. Ketonyhdisteillä havaitut trendit olivat 2-butanonia lukuun ottamatta nousevia. 2-Butanonin esiintyvyys on laskenut huomattavasti, vuonna 2010 yhdistettä esiintyi 36 prosentissa näytteistä mutta vuonna 2019 enää 3,8 prosentissa näytteistä.

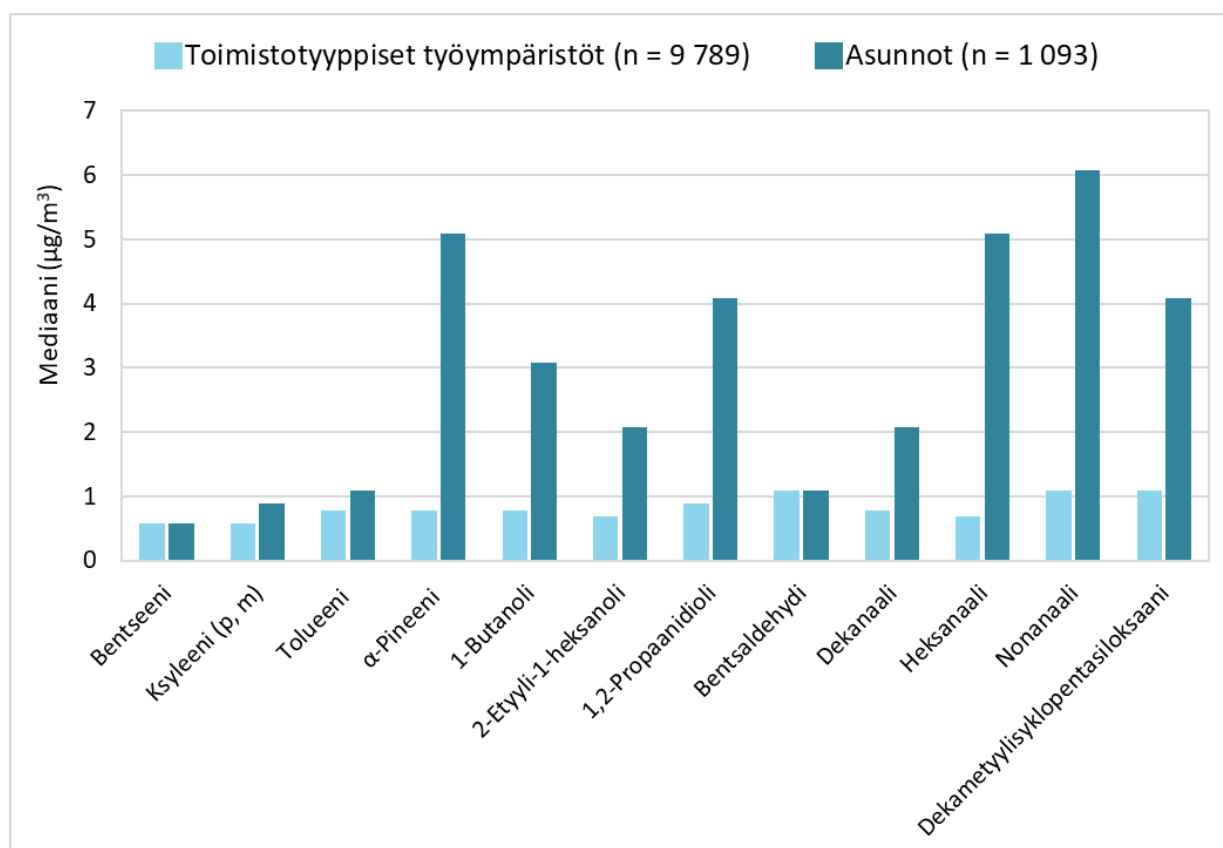
Haittuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus on laskenut kymmenen vuoden aikana tasaisesti (Liite 1). Vuonna 2010 keskimääräinen TVOC-pitoisuus asunnoissa oli 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kun vuonna 2019 pitoisuus oli enää 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vaikka yksittäisten yhdisteiden esiintyvyyksissä on ollut havaittavissa nousevia trendejä, ovat yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet pysyneet samalla tasolla tai vähentyneet. Esiintyvyyden trendien nousu ei kuitenkaan välttämättä kerro siitä, että yhdistettä esiintyisi asuntojen sisäilmassa enemmän kuin ennen. Koska näytteissä tulee standardimenetelmän mukaan tunnistaa kaksi kolmasosaa TVOC-alueesta, vuosien mittaan laskevan TVOC-pitoisuuden myötä yhä useampia yhdisteitä tunnistetaan näytteistä. Tämä ei vaikuta yhdisteiden laskeviin trendeihin, joten TVOC-pitoisuuden ja alifaattisten sekä aromaattisten hiilivetyjen osalta sekä pitoisuudessa että esiintyvyydessä näkyvät trendit ovat todellisia. Sekä yksittäisten yhdisteiden että TVOC-pitoisuuden laskuun vaikuttavia merkittäviä tekijöitä ovat luultavasti rakennusmateriaalien ja liikenteen päästöjen väheneminen. Nämä muutokset selittävät toisaalta todennäköisesti myös yhdisteiden esiintyvyydessä tapahtuneita muutoksia. Myös esimerkiksi muutokset kotitalouksissa käytettävissä pesu- ja puhdistusaineissa voivat vaikuttaa havaittuihin trendeihin. Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) julkaisussa on kuvattu tarkemmin yhdisteiden esiintyvyyden muutoksiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä.

VOC-yhdisteet toimistotyypisissä työympäristöissä vuosina 2010–2019

Verrattuna Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) raportoimaan aineistoon vuosina 2010–2019 toimistotyypisistä työympäristöistä määritetyistä VOC-pitoisuuksista, asuntojen keskimääräinen TVOC-pitoisuus samalla aikavälillä oli noin nelinkertainen verrattuna toimistotyypisten työympäristöjen pitoisuuteen. Asunnoissa TVOC-yhdisteiden mediaanipitoisuus oli 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($n = 1\,093$) ja toimistotyypisissä työympäristöissä 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($n = 9\,789$).

Suuremman TVOC-pitoisuuden lisäksi asunnoissa esiintyi myös määrällisesti enemmän yksittäisiä VOC-yhdisteitä, ja yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet olivat suurempia. Yli 50 prosentissa näytteistä esiintyviä VOC-yhdisteitä oli asunnoissa 22 ja toimistotyypisissä työympäristöissä 12. Yleisimmät yhdisteet vastasivat toisiaan molemmissa ympäristöissä. Kuvassa 2 on vertailtu toimistotyypisten työympäristöjen 12 yleisimmän VOC-yhdisteen mediaanipitoisuuksia asunnoissa esiintyneisiin pitoisuuksiin.



Kuva 2. Sisäympäristöissä tyypillisesti esiintyvien VOC-yhdisteiden mediaanipitoisuuksien vertailu toimistotyypisissä työympäristöissä (n = 9 789) ja asunnoissa (n = 1 093) vuosina 2010–2019.

Formaldehydin pitoisuus asunnoissa oli noin viisinkertainen verrattuna toimistotyypisiin työympäristöihin; asunnoissa formaldehydin mediaanipitoisuus oli $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n = 211) ja toimistotyypisissä työympäristöissä $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n = 1 711).

Pitoisuuserot asuntojen ja toimistotyypisten työympäristöjen välillä näkyivät mediaanipitoisuuksien lisäksi yhdisteiden koko jakaumassa, myös muun muassa P90-arvoissa. Pitoisuuseroa toimistotyypisten työympäristöjen ja asuntojen välillä selittää esimerkiksi ihmisten toiminnan, käytössä olevien kuluttajatuotteiden ja sisustusmateriaalien monipuolisuus asunnoissa sekä toimistotyypisten työympäristöjen tehokkaampi ilmanvaihto. Yhdisteiden esiintymisprosentissa havaitut muutostrendit olivat hyvin samankaltaisia sekä asunnoissa että toimistotyypisissä työympäristöissä. Molemmista ympäristöistä alifaattisten ja aromaattisten hiilivetyjen esiintyvyys oli pääosin laskenut kymmenen vuoden aikana, kun muiden yhdisteryhmien esiintyvyydessä havaitut trendit olivat pääasiassa nousevia.

Asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden terveysvaikutusten arviointi

Yhdisteen aiheuttamiin terveysvaikutuksiin vaikuttaa muun muassa yhdisteen ominaisuudet, pitoisuus, altistumisaika ja -reitti. Haihtuville orgaanisille yhdisteille altistutaan niiden olomuodon takia pääasiassa hengitysteitse, mutta altistuminen on mahdollista myös ihon tai ruoansulatuskanavan kautta. Yleisimpiä VOC-yhdisteiden aiheuttamia vaikutuksia suurilla pitoisuuksilla on limakalvojen ärsytys, joka saattaa ilmetä ohimenevinä hengitystie-, silmä-, nenä- ja kurkkuoireina. Ärsytysoireiden lisäksi VOC-yhdisteet voivat mahdollisesti lisätä astmariskiä. Muita VOC-yhdisteiden terveysvaikutuksia suurilla pitoisuuksilla on kuvattu Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) julkaisussa.

VOC-yhdisteiden terveysvaikutuksia arvioitaessa on hyvä huomioida, että terveysperusteisia ohjearvoja laadittaessa käytetään yleisesti turvakertoimia, joten ohjearvon lievä ylittyminen ei suoraan tarkoita

haittavaikutusten todennäköistä ilmenemistä. Lisäksi yhdisteiden hajukynnykset voivat olla merkittävästi terveysperusteisia ohjearvoja pienempiä, joten asunnossa esiintyvä hajuhaitta ei suoraan tarkoita, että VOC-yhdisteiden esiintyminen terveydelle haitallisina pitoisuuksina olisi todennäköistä. (SCHER 2007, Bernstein ym. 2008, Hulin ym. 2012, Valvira 2016, Tran ym. 2020.) Haju itsessään voidaan kuitenkin kokea epämiellyttävänä, jolloin se saattaa vähentää viihtyisyyttä tai laukaista oireilua epäsuorien mekanismien kautta (Greenberg et al. 2013). Haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärää sisäilmassa voidaan pitää yleisenä indikaattorina sisäilman laadusta, vaikka terveysvaikutukset riippuvatkin enemmän seoksen koostumuksesta eli yksittäisten yhdisteiden pitoisuudesta kuin yhteismäärästä. Terveysvaikutuksia ei voi arvioida asumisterveysasetuksen ja sen soveltamisohjeen toimenpiderajojen avulla, koska toimenpiderajat eivät ole terveysperusteisia.

Tutkimusaineiston mukaan asunnoissa yleisesti esiintyvien yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet ja P90-arvot alittavat selvästi terveysperusteiset RW I/II- ja EU-LCI-ohjearvot (Umwelt Bundesamt 2022, Euroopan komissio 2020), joten haitalliset terveysvaikutukset ovat hyvin epätodennäköisiä. Yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet olivat kaikissa tapauksissa vähintään kymmenkertaisesti terveysperusteisia ohjearvoja pienempiä, ja useimmiten ne alittivat ohjearvot sata- tai tuhatkertaisesti.

Muutamilla VOC-yhdisteillä (styreeni, 3-kareeni, α -pineeni, 2-etyyli-1-heksanoli, bentsaldehydi, dekametyyliisoklopentasiloksaani, heksanaali ja 2-furfuraali) terveysperusteinen RW I -arvo ylittyi alle 1 prosentissa näytteistä. 1,2-Propaanidiolin RW I -arvo ylittyi noin 4 prosentissa näytteistä. RW I -arvot kuvaavat yhdisteiden pitoisuuksia, jotka nykytiedon valossa eivät edes elinikäisellä altistuksella aiheuta haitallisia terveysvaikutuksia ja ne on johdettu RW II -arvoista lisäturvakertoimella.

RW II -arvot kuvaavat pitoisuustasoja, joiden ylittyessä erityisesti esimerkiksi perussairauden takia herkistyneillä ihmisillä voi esiintyä haitallisia terveysvaikutuksia pitkäaikaisilla altistumisilla. (Umwelt Bundesamt 2022.) RW II -arvo ylittyi ainoastaan 1,2-propaanidiolilla, ja ainoastaan yhdessä näytteessä 1 093:sta. Terveysperusteinen EU-LCI-arvo ylittyi vain yhdellä VOC-yhdisteellä, 2-furfuraalilla, 0,9 prosentissa näytteistä.

VVOC-yhdisteisiin kuuluvalla formaldehydille terveysperusteiset RW I- ja EU-LCI-arvot ovat $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kyseinen pitoisuus ylittyi lievästi yhdessä näytteessä 211:sta.

Kokonaisuudessaan aineistossa terveysperusteisten ohjearvojen ylitykset olivat harvinaisia ja lieviä, ja koskivat käytännössä vain RW I-arvoa. RW I-arvo on tässä katsauksessa esitellyistä terveysperusteisista ohjearvoista tiukin, ja johdettu lisäturvakertoimella RW II-arvosta. Käytettyjen turvakertoimien takia arvojen lievä ylitys ei suoraan tarkoita terveysvaikutusten todennäköistä ilmenemistä. Vaikka Suomessa ei ole käytössä sitovia terveysperusteisia ohjearvoja ja lievät ylitykset eivät todennäköisesti aiheuta terveysvaikutuksia, on suositeltavaa ryhtyä toimiin päästölähteen selvittämiseksi ja tarvittaessa päästöjen vähentämiseksi, mikäli jokin yhdiste ylittää jonkin kansainvälisen terveysperusteisen ohjearvon.

Yhteisvaikutukset otetaan yleisesti huomioon riskinarvioinnissa vertaamalla eri yhdisteiden yhteenlaskettua pitoisuutta terveysperusteisiin ohjearvoihin, sillä pienillä pitoisuuksilla synergistiset yhteisvaikutukset ovat harvinaisia (ATSDR 2004). Koska aineistossa yhdisteiden keskimääräiset yhteenlasketut pitoisuudetkin alittavat pääosin yhdisteille laaditut terveysperusteiset ohjearvot, voidaan haitallisista yhteisvaikutuksista joutuvia terveysvaikutuksia pitää epätodennäköisinä.

Johtopäätökset

Asuntojen sisäilmassa esiintyy laaja kirjo haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joista suurin osa on peräisin rakennusmateriaalien lisäksi esimerkiksi sisustuksesta, siivouskemikaaleista ja muista kuluttajatuotteista, ruuanlaitosta ja ulkoilmasta. Vuosina 2010–2019 kootun aineiston mukaan yleisimpiä asunnoissa esiintyviä yhdisteitä ovat 1-butanoli, α -pineeni, nonanaali, tolueeni, heksanaali, dekametyylisyklopentasiloksaani, 2-etyyli-1-heksanoli, bentsaldehydi, 3-kareeni, 1,2-propaanidioli, dekanaali, pentanaali, oktanaali, limoneeni, ksyleenit (p, m), heksaanihappo, bentseeni, heptanaali, 2-metyyli-1-propanoli, TXIB, etyyliasetaatti ja n-butyylisasetaatti, joita kaikkia esiintyi yli 50 prosentissa näytteistä. Sekä keskimääräinen TVOC-pitoisuus että yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet asunnoissa olivat aineiston perusteella alhaisia eivätkä ne yksittäistapauksia lukuun ottamatta ylittäneet asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja.

Terveysperusteisen RW I -ohjearvon ylitys havaittiin 113 näytteessä eli 10 prosentissa tutkituista näytteistä ja yhden yhdisteen RW II -ohjearvo ylittyi yhdessä näytteessä 1 093:sta. EU-LCI-arvo ylittyi 0,9 prosentissa näytteistä ja RW II -arvon tapaan vain yhdellä VOC-yhdisteellä. Tyypillisimmin näytteissä ylittyi ainoastaan yhden yhdisteen terveysperusteinen ohjearvo, ja enimmillään kaksi yhdistettä ylitti ohjearvon samassa näytteessä. VVOC-yhdisteisiin kuuluva formaldehydi ylitti terveysperusteisen ohjearvon 0,5 prosentissa näytteistä. Ohjearvoja johdettaessa käytetään yleisesti turvakertoimia, ja ohjearvojen ylitykset olivat lieviä. Siten myös mitattujen yhdisteiden aiheuttamat haitalliset terveysvaikutukset ovat erittäin epätodennäköisiä tutkituissa asunnoissa. Kun vielä otetaan huomioon se, että valtaosa aineiston näytteistä on arvion mukaan kerätty asunnoista, joissa on epäilty esiintyvän sisäilman laatuun liittyviä ongelmia, viittaavat tulokset siihen, että asuntojen VOC-yhdisteet aiheuttavat harvoin oireita tai muita terveysvaikutuksia Suomessa.

Asuntojen keskimääräinen TVOC-pitoisuus on laskenut kymmenen vuoden tarkastelujakson aikana 40 prosenttia. Yksittäisten VOC-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet määrittäjärajaa ylittävissä näytteissä ovat pääasiassa pysyneet samalla tasolla tai pienentyneet. Alifaattisten ja aromaattisten hiilivetyjen osalta yhdisteiden esiintyvyydessä on havaittavissa selkeä, laskeva trendi. Esimerkiksi rakennusmateriaaleissa ja liikenteen päästöissä tapahtuneet muutokset ovat todennäköisesti vaikuttaneet merkittävästi havaittuihin trendeihin.

Verrattuna Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) raportoimaan aineistoon toimistotyöympäristöjen työympäristöjen VOC-pitoisuuksista vuosina 2010–2019, asuntojen keskimääräinen TVOC-pitoisuus on moninkertainen verrattuna toimistotyöympäristöjen pitoisuuteen. Myös yksittäisten VOC-yhdisteiden ja formaldehydin pitoisuudet asunnoissa olivat suurempia kuin toimistotyöympäristöissä. Pitoisuuseroa selittää esimerkiksi ihmisten toiminnan ja käytössä olevien kuluttajatuotteiden sekä sisustusmateriaalien monipuolisuus asunnoissa. Lisäksi toimistotyöympäristöissä työympäristöissä ilmanvaihto on yleensä tehokkaampi kuin asunnoissa. Asuntojen ja toimistotyöympäristöjen sisäilmassa yleisimmin esiintyneet yhdisteet olivat samoja, mutta asunnoissa esiintyi laajempi kirjo erilaisia yhdisteitä. Yhdisteiden esiintymisprosentteissa havaitut trendit olivat hyvin samankaltaisia molemmissa ympäristöissä.

Koska haihtuvien orgaanisten yhdisteiden esiintyvyys vaihtelee esimerkiksi rakentamisessa käytettävien materiaalien ja kuluttajatuotteiden muuttuessa, olisi asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden kartoitus suositeltavaa toistaa tietyin väliajoin, esimerkiksi kymmenen vuoden välein.

Lähteet

- Alapieti T, Alhonnoro E, Mikkola R, Salonen H, 2020, Jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksien mittaamisessa, SIY Raportti, 38, 45, 2020
- ANSES, 2018, Indoor Air Quality Guidelines (IAQGs) [verkkoaineisto], <https://www.anses.fr/en/content/indoor-air-quality-guidelines-iaqgs>, [viitattu 20.05.2021]
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004, INTERACTION PROFILE FOR: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX)
- Bari MA, Kindziński WB, Wheeler AJ, Héroux M-E, Wallace LA, 2015, Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada, *Building and Environment*, 90:114–124
- Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, Li N, Mason S, Nel A, Oullette J, Reijula K, Reponen T, Seltzer J, Smith A, Tarlo SM, 2008, The health effects of non-industrial indoor air pollution, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3):585–591
- Bornehag C-G & Stridh G, 2000, Volatile Organic Compounds (VOC) in the Swedish Housing Stock, *Proceedings of Healthy Buildings*, 1:437–442
- Brown SK, 2002, Volatile Organic Pollutants in New and Established Buildings in Melbourne, Australia, *Indoor Air*, 12(1):55–63
- Euroopan komissio, 2020, EU-LCI-Values [verkkoaineisto], <https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci-subgroup/eu-lci-values.fi>, [viitattu 11.05.2021]
- Greenberg MI, Curtis JA, Vearrier D, 2013, The perception of odor is not a surrogate marker for chemical exposure: a review of factors influencing human odor perception, *Clinical Toxicology*, 51(2):70–76
- Guo H, Kwok NH, Cheng HR, Lee SC, Hung WT, Li YS, 2009, Formaldehyde and volatile organic compounds in Hong Kong homes: concentrations and impact factors, *Indoor Air*, 19(3):206–217
- Gusdorf J & Parekh A, 2000, Energy Efficiency and Indoor Air Quality in R-2000 and Conventional New Houses in Canada, *Residential Buildings: Technologies, Design, and Performance Analysis- 1.101-1.1012*
- Hartikainen S, Hyttinen M, Leppänen M, Salmi K, Kähkönen E, Holopainen R, Pasanen P, 2013, Energiatohokkaan rakentamisen vaikutus sisäilman laatuun: VOC- ja SVOC-yhdisteiden esiintyminen matalaenergiatalojen sisäilmassa, SIY Raportti 31, 355, 2013
- Hartikainen S, Leppänen M, Salmi K, Tarhanen J, Hyttinen M, Kähkönen E, Holopainen R, Pasanen P, 2014, SVOC- ja VOC-yhdisteiden esiintyminen matalaenergiatalojen ja tavanomaisesti rakennettujen pien- ja kerrostalojen sisäilmassa, SIY Raportti 32, 137, 2014
- Huang S, Xiong J, Cai C, Xu W, Zhang Y, 2016, Influence of humidity on the initial emittable concentration of formaldehyde and hexaldehyde in building materials: experimental observation and correlation, *Scientific Reports*, 6, 23388; doi: 10.1038/srep23388
- Hulin M, Simoni M, Viegi G, Annesi-Maesano I, 2012, Respiratory health and indoor air pollutants based on quantitative exposure assessments, *The European Respiratory Journal*, 40(4):1033–1345
- Hänninen O, Alm S, Kaarakainen E, Jantunen M, 2002, The EXPOLIS Databases, B13/2002, Publications of the National Public Health Institute, Kuopio, KTL
- ISO 16000-3:2011, Indoor air - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air– Active sampling method.
- ISO 16000-6:2011, Indoor air - Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on TENAX TA® sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID
- ISO 16017-2:2003, Indoor, ambient and workplace air – Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography – Part 2: Diffusive sampling
- Järnström H, Saarela K, Kalliokoski P, Pasanen A-L, 2006, Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland, In *Atmospheric Environment*, 40(37):7178–7191
- Järnström H, 2008, Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings, VTT publications 672
- Järnström H, Saarela K, Kalliokoski P, Pasanen A-L, 2008, The Impact of Emissions from Structures on Indoor Air Concentrations in Newly Finished Buildings – Predicted and On-Site Measured Levels, *Indoor and Built Environment*, 17(4):313–323
- Järnström H, Koivusaari R, Saari M, Kukkonen P, 2019, TXIB-yhdisteen esiintyminen sisäilmassa 2010-luvulla ja ilmanvaihtojärjestelmän merkitys pitoisuuden hallinnassa, SIY Raportti 37, 389, 2019
- Korhonen E, Puhakka E, Rossi T, Kärkkäinen J, 2009, Sisäilman haihtuvat orgaaniset yhdisteet käyttökorkoitukseltaan erilaisissa rakennuksissa sisäilmaston kuntotutkimusten yhteydessä, SIY Raportti 27, 119, 2009
- Korpi A, Järnberg J, Pasanen A-L, 2009, Microbial volatile organic compounds, *Critical Reviews in Toxicology*, 39(2):139–193
- Langer S & Bekö G, 2013, Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics, *Building and Environment* 69:44–54
- Langer S, Bekö G, Bloom E, Widheden A, Ekberg L, 2015, Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden, *Building and Environment*, 93(1): 92–100
- Leppänen M, Pasanen P, Hyttinen M, 2020, Rakennuksen tiiviyyden ja painesuhteiden vaikutus kemiallisten epäpuhtauksien määrään sisäilmassa, SIY Raportti, 38, 63, 2020
- Liu JL, Bai G, Chen J, Zhu LZ, Guo WQ, Shen XY, 2011, Total volatile organic compound concentrations and its influencing factors in urban indoor air after decoration, *Chinese Science Bulletin*, 56(25):2683–2689
- Mečiarová Ľ, Vilčeková S, Burdová EK, Kiselák J, 2017, Factors Effecting the Total Volatile Organic Compound (TVOC)

- Concentrations in Slovak Households, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12):1443
- Metiäinen P, Mussalo-Rauhamaa H, Viinikka M, 2003, Muovimattokorjausten vaikutus sisäilman TXIB-pitoisuuteen ja asukkaiden oireiluun, *SIY Raportti* 19, 173, 2003
- Noetzel H & Järnström H, 2019, Sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuudet 10 vuoden ikäisessä asuinrakennuksessa, *SIY Raportti* 37, 413, 2019
- Paciencia I, Madureira J, Rufo J, Moreira A, Fernandes Ede O, 2016, A systematic review of evidence and implications of spatial and seasonal variations of volatile organic compounds (VOC) in indoor human environments, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, 19(2):47–64
- Park JS & Ikeda K, 2006, Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years on new and older homes, *Indoor Air*, 16(2):129–135
- Ranta-Korhonen T, Thil S, Hannus E, 2018, Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulun VOC-Online-hankkeessa tutkitaan erikikäisten rakennusten sisäilmaa, *SIY Raportti*, 36, 429, 2018
- Raw GJ, Coward SKD, Brown VM, Crump DR, 2004, Exposure to air pollutants in English homes, *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 14:85–94
- Saarinen A, Vartiala T, Viinikka M, 2002, Asukkaiden vaikutus sisäilman VOC- ja NH₃-pitoisuuksiin, *SIY Raportti* 17, 145, 2002
- Salthammer T, 2013, Formaldehyde in the Ambient Atmosphere: From an Indoor Pollutant to an Outdoor Pollutant?, *Angewandte Chemie International Edition*, 52(12):3320–3327
- Sarigiannis DA, Spyros PK, Gotti A, Liakos IL, Katsoyiannis A, 2011, Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk, *Environment International*, 37(4):743–765
- SCHER, Scientific Committee on Health and Environmental Risks, 2007, Opinion on risk assessment on indoor air quality
- Sisäilmayhdistys, 2008, Kemialliset tutkimukset [verkkoaineisto], <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Muut-sisailmatutkimukset/Kemialliset-tutkimukset>, [viitattu 01.12.2021]
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015)
- Su FC, Mukherjee B, Batterman S, 2013, Determinants of personal, indoor and outdoor VOC concentrations: an analysis of the RIOPA data, *Environmental research*, 126, 192–203
- Suzuki N, Nakaoka H, Hanazato M, Nakayama Y, Takaya K ja Mori C, 2019, Emission rates of substances from low-volatile-organic-compound paints, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 4543–4550
- Terveydensuojelulaki (763/1994)
- Tran VV, Park D, Lee Y-C, 2020, Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8):2927
- Tuomainen M, Tuomainen A, Liesivuori J, Pasanen A-L, 2003, The 3-year follow-up study in a block of flats – experiences in the use of the Finnish indoor climate classification, *Indoor Air*, 13(2):136-147
- Tuomainen M & Pirinen J, 2004, Kokemuksia kaksivuotisesta seurantatutkimuksesta uudessa kerrostaloyhtiössä, *SIY Raportti* 22, 105, 2004
- Umwelt Bundesamt, 2022, German Committee on Indoor Guide Values [verkkoaineisto], <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/german-committee-on-indoor-air-guide-values#hygienic-guide-values-for-indoor-air>, [viitattu 01.02.2022]
- Valtioneuvosto, 2019, Hallituksen vuosikertomus 2019, Liite 3, Toimenpiteet eduskunnan lausumien ja kannanottojen johdosta, Valtioneuvoston julkaisuja 2020:5
- Valvira, 2016, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osat I ja III
- Valvira, 2020, Ohje asunnon terveystaitaan selvittämissprosessiin
- Vardoulakis S, Giagloglou E, Steinle S, Davis A, Sleuwenhoek A, Galea KS, Dixon K, Crawford JO, 2020, Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review, *International Journal of Environmental Research of Public Health*, 17(23):8972
- Villberg K, Saarela K, Tirkkonen T, Pasanen A-L, Kasanen J-P, Pasanen P, Kalliokoski P, Mussalo-Rauhamaa H, Malmberg M, Haahela T, 2004, Sisäilman laadun hallinta, VTT Publications 540
- Wallenius K, Hovi H, Mahiout S, Remes J, Rautiala S, Jokela P, Leino K, Liukkonen T, 2021, Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyöympäristöissä - Päästölähteet, mittausmenetelmät, pitoisuustasot ja terveysvaikutukset
- WHO & IPCS, 1994, Acetaldehyde: Health and Safety Guide, Health and Safety Guide No, 90
- WHO, 2010, WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants

LIITE 1. Yleisesti asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden esiintyvyyden muutostrendit.

Taulukko 1. Yleisesti asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden esiintyvyyden muutostrendit (n = 1 093). Esiintyvyyden lisäksi taulukossa on kuvattu yhdisteiden vuosikohtaiset geometriset keskiarvopitoisuudet ja geometrinen keskihajonta. Geometrinen keskiarvo ja geometrinen keskihajonta on laskettu määrittäjärajan ylittävistä tuloksista. Taulukon esitystapa vastaa Työterveyslaitoksen (Wallenius ym. 2021) VOC-katsauksen esitystapaa.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (CAS-numero)	Trendi	Vuosi (n)	2010 (69)	2011 (65)	2012 (67)	2013 (74)	2014 (96)	2015 (144)	2016 (123)	2017 (190)	2018 (134)	2019 (131)
Alifaattiset hiilivedyt												
Dekaani (124-18-5)	↘	Esiintyvyyden (%)	36	31	21	10	37	21	28	20	12	17
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	1,4	1,7	1,3	0,8	1,7	0,8	1,1	1,1	0,8	1,3
		GSD ₁	1,8	2,5	2,3	1,6	3,2	1,8	2,2	2,1	1,8	2,7
2,2,4,4,6,8,8-Heptametyylinonaani (4390-04-9)	↗	Esiintyvyyden (%)	5,8	17	15	12	18	24	27	15	25	24
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	7,9	3,0	3,2	2,9	2,5	1,2	1,7	1,6	1,3	2,1
		GSD ₁	2,2	3,4	3,8	2,6	4,3	2,2	2,7	3,4	2,8	3,8
Nonaani (111-84-2)	↘	Esiintyvyyden (%)	25	22	30	15	41	13	19	24	15	17
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	1,0	1,1	1,1	0,8	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8
		GSD ₁	1,8	1,9	2,7	1,3	2,1	1,8	1,8	1,8	1,5	1,8
Undekaani (1120-21-4)	↘	Esiintyvyyden (%)	35	34	27	12	40	9,7	24	25	18	21
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	1,3	1,6	1,1	1,4	1,3	0,8	1,0	0,9	0,7	1,1
		GSD ₁	2,0	2,5	1,9	1,9	2,7	1,6	2,0	1,8	1,5	2,3

1 = Laskettu määrittäjärajan ylittävistä mittaustuloksista.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (CAS-numero)	Trendi	Vuosi (n)	2010 (69)	2011 (65)	2012 (67)	2013 (74)	2014 (96)	2015 (144)	2016 (123)	2017 (190)	2018 (134)	2019 (131)	
Aromaattiset hiilivedyt													
Bentseeni (71-43-2)	↘	Esiintyvyys (%)	91	97	72	82	54	65	68	43	54	54	
		GM (µg/m ³) ₁	0,8	0,8	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
		GSD ₁	2,0	1,9	2,1	1,5	1,5	1,5	1,6	2,0	1,6	1,6	1,8
Etyylibentseeni (100-41-4)	↘	Esiintyvyys (%)	55	57	52	42	43	40	42	41	41	36	
		GM (µg/m ³) ₁	0,9	0,9	1,6	1,1	1,3	0,7	0,8	0,8	1,0	0,8	
		GSD ₁	2,4	1,9	2,6	1,8	2,7	1,9	2,2	2,2	2,6	1,9	
Ksyleeni (p, m) (108-38-3, 106-42-3)	↘	Esiintyvyys (%)	87	86	85	76	73	80	81	77	78	77	
		GM (µg/m ³) ₁	1,4	1,5	2,0	1,6	1,7	0,9	1,2	1,2	1,1	1,0	
		GSD ₁	2,7	2,5	3,5	2,3	3,0	2,1	2,6	2,6	2,8	2,3	
Ksyleeni (o) (95-47-6)	↘	Esiintyvyys (%)	57	60	60	42	41	37	38	35	40	34	
		GM (µg/m ³) ₁	0,8	0,9	1,3	1,0	1,3	0,7	0,9	1,0	1,0	0,8	
		GSD ₁	2,1	1,9	2,9	1,8	2,7	2,0	2,4	2,5	2,7	1,9	
1,2,4-Trimetyylibentseeni (95-63-6)	↘	Esiintyvyys (%)	30	37	25	22	26	18	27	27	16	23	
		GM (µg/m ³) ₁	0,7	0,8	1,8	0,9	0,8	0,6	0,7	1,0	1,0	0,8	
		GSD ₁	1,8	1,7	2,7	1,6	1,8	2,1	1,6	2,3	3,3	1,9	

1 = Laskettu määrittärajaa ylittävistä mittaustuloksista.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (CAS-numero)	Trendi	Vuosi (n)	2010 (69)	2011 (65)	2012 (67)	2013 (74)	2014 (96)	2015 (144)	2016 (123)	2017 (190)	2018 (134)	2019 (131)
Fenolit												
Fenoli (108-95-2)	↗	Esiintyvyys (%)	26	0,0	4,5	2,7	9,4	7,6	47	40	27	34
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	1,0		0,8	1,0	1,2	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7
		GSD ₁	1,9		1,2	1,0	1,5	2,1	1,7	1,9	1,6	1,4
Alkoholi- ja fenolieetterit												
2-Butoksietanoli (111-76-2)	↗	Esiintyvyys (%)	25	32	25	23	46	70	59	57	45	50
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	2,1	1,9	1,0	1,7	1,4	1,1	1,3	1,3	1,0	1,2
		GSD ₁	2,1	2,4	2,2	1,7	2,1	2,0	2,3	2,1	2,1	2,9
2-Fenoksietanoli (122-99-6)	↗	Esiintyvyys (%)	12	35	39	28	29	53	63	45	46	58
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	1,6	1,3	1,3	1,1	1,4	0,8	0,9	1,1	1,0	0,9
		GSD ₁	1,5	1,7	2,3	1,5	2,0	1,9	1,8	2,4	2,2	1,9
Aldehydit												
Bentsaldehydi (100-52-7)	↗	Esiintyvyys (%)	65	59	73	87	82	94	92	95	91	95
		GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁	3,3	2,4	2,1	2,2	1,9	1,4	1,6	1,4	1,2	1,5
		GSD ₁	2,2	1,9	2,2	2,3	1,9	1,8	2,1	1,9	1,7	2,2

1 = Laskettu määrittämissrajaa ylittävistä mittaustuloksista.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (CAS-numero)	Trendi	Vuosi (n)	2010 (69)	2011 (65)	2012 (67)	2013 (74)	2014 (96)	2015 (144)	2016 (123)	2017 (190)	2018 (134)	2019 (131)
Dekanaali (112-31-2)	↗	Esiintyvyyys (%)	78	72	67	65	83	79	87	90	96	88
		GM (µg/m ³) ₁	3,1	3,3	2,6	2,7	2,8	3,2	2,2	2,0	2,6	2,3
		GSD ₁	2,0	1,9	1,9	1,9	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	2,0
Oktanaali (124-13-0)	↗	Esiintyvyyys (%)	75	85	60	62	66	93	76	81	90	89
		GM (µg/m ³) ₁	1,7	1,8	2,0	1,9	1,6	1,5	1,6	1,2	1,3	1,3
		GSD ₁	1,6	1,8	2,0	2,2	1,7	1,9	1,9	1,9	1,8	2,0
Ketonit												
Asetofenoni (98-86-2)	↗	Esiintyvyyys (%)	0,0	3,1	10	20	21	3,5	11	21	24	22
		GM (µg/m ³) ₁		1,4	0,8	1,0	0,8	0,6	0,9	0,6	0,5	0,6
		GSD ₁		1,6	1,9	1,8	1,3	1,2	2,1	1,4	1,5	1,4
2-Butanoni (78-93-3)	↘	Esiintyvyyys (%)	30	32	19	8,1	12	8,3	12	7,9	5,2	3,8
		GM (µg/m ³) ₁	2,6	2,0	2,4	5,8	4,2	5,0	3,6	3,2	2,7	1,7
		GSD ₁	3,1	1,7	2,2	4,4	2,3	3,1	2,4	2,4	2,0	1,4
6-Metyyli-5-hepten-2-oni (110-93-0)	↗	Esiintyvyyys (%)	36	37	25	19	31	52	42	44	58	50
		GM (µg/m ³) ₁	1,3	1,3	1,0	1,7	1,0	1,1	1,2	1,0	0,8	1,2
		GSD ₁	1,5	1,7	1,7	1,7	1,5	1,8	1,8	1,7	1,6	1,9
Sykloheksanoni (108-94-1)	↗	Esiintyvyyys (%)	19	29	15	16	26	32	31	28	38	32
		GM (µg/m ³) ₁	1,0	1,7	1,1	1,3	1,1	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8
		GSD ₁	2,0	2,2	2,2	2,7	2,3	2,5	1,7	1,9	1,7	2,1

1 = Laskettu määrittärajaa ylittävistä mittaustuloksista.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (CAS-numero)	Trendi	Vuosi (n)	2010 (69)	2011 (65)	2012 (67)	2013 (74)	2014 (96)	2015 (144)	2016 (123)	2017 (190)	2018 (134)	2019 (131)
Hapot												
Butaanihappo (voihappo) (107-92-6)	↗	Esiintyvyyys (%)	13	14	6,0	6,8	24	45	37	43	39	42
		GM (µg/m ³) ₁	2,7	2,1	4,1	2,2	2,0	0,9	1,3	1,1	1,0	1,4
		GSD ₁	1,7	2,4	2,2	2,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
Heksaanihappo (kapronihappo) (142-62-1)	↗	Esiintyvyyys (%)	61	63	40	57	57	84	89	88	85	86
		GM (µg/m ³) ₁	8,3	6,3	7,9	5,1	9,2	4,7	5,4	5,0	3,7	4,2
		GSD ₁	1,9	2,3	1,8	2,2	2,1	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0
Propaanihappo (79-09-4)	↗	Esiintyvyyys (%)	25	15	16	8,1	30	63	59	56	63	82
		GM (µg/m ³) ₁	5,0	5,1	5,4	3,8	4,7	1,8	3,2	2,9	2,3	2,0
		GSD ₁	2,0	2,1	2,8	3,0	1,6	2,0	2,3	1,9	2,1	2,5
Esterit												
Texanol (25265-77-4)	↗	Esiintyvyyys (%)	35	31	33	32	42	47	59	50	57	52
		GM (µg/m ³) ₁	5,6	6,8	3,4	2,3	4,8	1,4	3,1	2,0	1,6	2,2
		GSD ₁	3,1	5,1	5,5	2,2	4,3	2,7	4,2	3,3	2,8	4,1
Piiyhdisteet												
Dodekametyylisykloheksasiloksaani * (540-97-6)	↗	Esiintyvyyys (%)	0,0	0,0	9,0	12	15	15	19	26	52	53
		GM (µg/m ³) ₁			7,6	2,4	9,0	4,3	2,6	2,5	2,5	2,4
		GSD ₁			3,1	1,5	2,6	2,3	2,9	2,1	2,8	2,6

1 = Laskettu määrittämissuorituksen ylittävistä mittaustuloksista.

*= Tolueenivasteella määritetty pitoisuus.

Yhdisteryhmä ja yhdiste (CAS-numero)	Trendi	Vuosi (n)	2010 (69)	2011 (65)	2012 (67)	2013 (74)	2014 (96)	2015 (144)	2016 (123)	2017 (190)	2018 (134)	2019 (131)
Dekametyylisyklopentasiloksaani ↗ (541-02-6)	Esiintyvyys (%)		83	85	81	80	95	95	96	88	95	92
	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁		11	7,4	6,4	4,8	7,6	4,9	4,2	5,5	5,6	3,3
	GSD ₁		3,7	5,0	4,5	3,4	5,1	4,0	5,8	4,7	4,7	4,3
TVOC	GM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ₁		160	140	140	86	120	100	100	95	100	95
	GSD ₁		2,4	2,3	2,4	2,6	2,8	2,5	2,7	2,8	2,5	2,9

1 = Laskettu määrittärajaa ylittävistä mittaustuloksista.