

# Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa

*Haihtuvat orgaaniset yhdisteet herättävät paljon keskustelua puhuttaessa sisäilman laadusta. Suomalaisten asuntojen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia tarkasteltiin vuosilta 2010–2019. Yhdisteiden pitoisuudet olivat pieniä, ja kymmenen vuoden aikana yhdisteiden kokonaispitoisuus pienentyi 40 prosenttia.*

**H**aihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ovat yleisiä sisä- ja ulkoilman yhdisteitä. Niiden tyypillisiä lähteitä asunnoissa ovat esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaalit, kalusteet, tilan käyttäjien ja lemmikkieläinten aineenvaihduntatuotteet, ruuanlaitto ja elintarvikkeet sekä erilaiset kuluttajatuotteet kuten pesu- ja puhdistusaineet ja hajusteet. Lisäksi yhdisteitä kulkeutuu asuntojen sisäilmaan ulkoa esimerkiksi ilmanvaihdon tai tuuletuksen kautta. (Su ym. 2013, Valvira 2016.)



## Asuntojen VOC-yhdisteet vuosina 2010–2019

Suomalaisissa asunnoissa esiintyviä pitoisuuksia tarkasteltiin Työterveyslaitokselle vuosina 2010–2019 analysoitavaksi toimitetuista 1 093 VOC-näytteestä ja 211 formaldehydinäytteestä. Erilaisen haihtuvuutensa takia erittäin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (VVOC) kuuluva formaldehydi on eroteltu aineistossa muista VOC-yhdisteistä. Aineiston VOC-näytteet on analysoitu termodesorptio-kaasukromatografimassaspektrometrilaitteistolla ISO 16 000-6:2011 -standardiin perustuvan menetelmän mukaisesti ja formaldehydinäytteet nestekromatografisesti ISO 16 000-3:2011 -standardiin perustuvan menetelmän mukaisesti.

VOC-yhdisteiden osalta tarkasteltiin ainoastaan yhdisteitä, joita esiintyi vähintään 10 prosentissa näytteistä. Yleisimpiä yhdisteitä olivat 1-butanoli,  $\alpha$ -pineeni, nonanaali, tolueni ja heksanaali, joita kaikkia esiintyi yli 90 prosentissa näytteistä. Aineistossa yksittäisten yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,7–6,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keskimääräinen kokonaispitoisuus (TVOC) asunnoissa vuosina 2010–2019 oli 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Asumisterveysasetuksessa (545/2015) on säädetty toimenpiderajat TXIB:lle, 2-etyyli-1-heksanolille, naftaleenille (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja styreenille (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Muita VOC-yhdisteitä asumisterveysasetuksessa koskee toimenpideraja 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden toimenpideraja on 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vuosina 2010–2019 VOC-yhdisteiden geometriset keskiarvot ja P90-arvot alittivat niille säädetty toimenpiderajat 2-etyyli-1-heksanolia lukuun ottamatta. Kyseisen yhdisteen keskimääräinen pitoisuus oli toimenpiderajan alapuolella, mutta P90-arvo ylitti toimenpiderajan. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden keskimääräinen arvo ja P90-arvo alittivat toimenpiderajan. Verrat-

taessa aineiston pitoisuuksia asumisterveysasetuksen toimenpiderajoihin on kuitenkin huomioitava, että asumisterveysasetuksen toimenpiderajat VOC-yhdisteille on määritetty pääosin tolueenivasteella. Tutkitussa aineistossa pitoisuudet on määritetty pääosin yhdisteen omalla vasteella, joten aineiston arvoja voidaan verrata toimenpiderajoihin vain suuntaa antavasti lukuun ottamatta TVOC-pitoisuutta ja muutamaa yksittäistä yhdistettä, joiden pitoisuus on määritetty tolueenivasteella. Formaldehydille asumisterveysasetuksen mukainen toimenpideraja 30 minuutin mittausjakson keskiarvopitoisuudelle on 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , joka ylittyi 0,5 prosentissa näytteistä. Formaldehydin osalta sekä toimenpideraja että aineiston arvot on määritetty käyttämällä yhdisteen omaa vastetta.

## Pitoisuuksien vertailu terveysperusteisiin ohjearvoihin

Haihtuville orgaanisille yhdisteille altistutaan niiden olomuodon takia pääasiassa hengitysteitse, mutta altistuminen on mahdollista myös ihon tai ruoansulatuskanavan kautta. Yksi yleisimmistä VOC-yhdisteiden aiheuttamista vaikutuksista suurilla pitoisuuksilla on limakalvojen ärsytys, joka voi ilmetä ohimenevinä hengitystie-, silmä-, nenä- ja kurkkuoireina.

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat eivät ole terveysperusteisia, joten tässä katsauksessa mahdollisten terveydellisten riskien arviointiin on käytetty kansainvälisiä ohjearvoja. Saksalaiset sisäilman laadun arviointiin tarkoitetut terveysperusteiset 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 perussairauden tai muun syyn takia herkistyneillä ihmisillä voi esiintyä

haitallisia terveysvaikutuksia pitkäaikaisessa altistumisessa. (Umwelt Bundesamt 2022.) Suomalaisissa asunnoissa yleisesti esiintyvien VOC-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet ja P90-arvot alittavat selvästi RW I ja II -arvot. Yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet olivat kaikissa tapauksissa vähintään kymmenkertaisesti näitä ohjearvoja pienempiä, ja useimmiten ne alittivat ohjearvot sata- tai tuhatkertaisesti.

Osalla VOC-yhdisteistä (styreeni, 3-kareeni,  $\alpha$ -pineeni, 2-etyyli-1-heksanoli, bentsaldehydi, dekametyyliisyklopentasiloksaani, heksanaali ja 2-furfuraali) terveysperusteinen RW I -arvo ylittyi alle 1 prosentissa näytteistä, minkä lisäksi 1,2-propanidiolin RW I -arvo ylittyi noin 4 prosentissa näytteistä. RW II -arvon ylittyminen oli huomattavasti harvinaisempaa, sillä arvo ylittyi ainoastaan 1,2-propanidiolilla, ja ainoastaan yhdessä näytteessä 1 093:sta. VVOC-yhdiste formaldehydin terveysperusteinen RW I-arvo ylittyi lievästi yhdessä näytteessä 211:sta. Taulukossa 1 on esitetty asunnoissa

yleisimmin esiintyneiden VOC-yhdisteiden, formaldehydin ja TVOC:n pitoisuudet verrattuna saksalaisiin terveysperusteisiin RW-ohjearvoihin.

Kokonaisuudessaan terveysperusteisten ohjearvojen ylitykset olivat aineistossa harvinaisia ja lieviä, ja koskivat lähinnä vain RW I -arvoa. Ohjearvoissa käytettyjen turvakertoimien takia arvojen lievä ylityskään ei suoraan tarkoita terveysvaikutusten todennäköistä ilmenemistä.

Asunnossa esiintyvä VOC-yhdisteisiin liitetty haju voi herättää huolta asukkaissa. On hyvä huomioida, että VOC-yhdisteiden hajukynnykset voivat olla merkittävästi terveysperusteisia ohjearvoja pienempiä, joten asunnossa esiintyvä hajuhaitta ei suoraan tarkoita, että yhdisteiden esiintyminen terveydelle haitallisina pitoisuuksina olisi todennäköistä. Näissäkin tilanteissa haju itsessään voidaan kuitenkin kokea epämiellyttävänä, jolloin se saattaa vähentää viihtyisyyttä tai laukaista oireilua epäsuorien mekanismien kautta (Greenberg et al. 2013).

**Taulukko 1. Asunnoissa vuosina 2010–2019 yleisimmin esiintyneiden VOC-yhdisteiden esiintyvyyssprosentit, geometriset keskiarvot, P90-arvot ja maksimi-arvot (n = 1 093). Oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vertailun vuoksi yhdisteitä koskevat terveysperusteiset RW I ja II -ohjearvot.**

Yhdiste	Esiintyvyyss (%)	GM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P90 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RW I/II -arvo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1-Butanoli	97	1,4	10	200	700/2 000
$\alpha$ -Pineeni	96	5,8	28	310	200/2 000
Nonanaali	95	5,5	13	37	100/2 000
Tolueni	95	1,7	6,0	260	300/3 000 †
Heksanaali	92	5,7	20	290	100/2 000
Dekametyyliisyklopentasiloksaani	90	5,4	45	440	100/1 000
2-Etyyli-1-heksanoli	88	2,8	16	120	100/1 000 ‡
Bentsaldehydi	87	1,6	4,0	36	20/200 ‡
3-Kareeni	85	3,1	13	230	200/2 000
1,2-Propanidioli	84	6,1	26	710	60/600
TVOC	-	110	370	1400	-
Formaldehydi	-	22	63	110	100/-

† = Kokonaisohjearvona C7-C8 alkyylibentseenille.

‡ = Alustava ohjearvo.

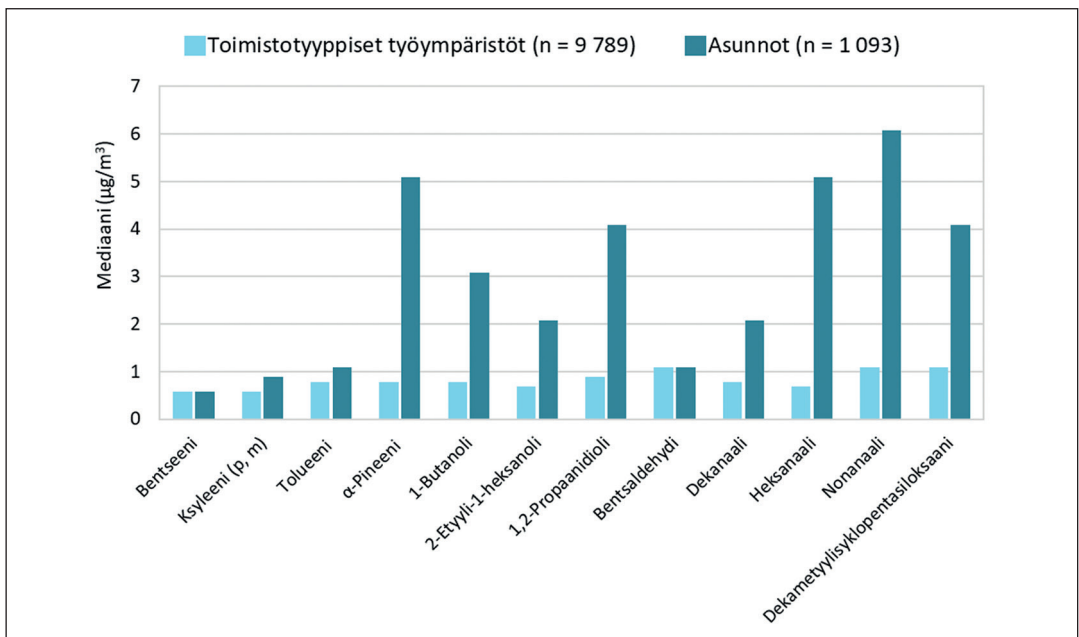
## Yhdisteiden pitoisuuksissa ja esiintyvyydessä tapahtuneet muutokset

Yhdisteiden esiintyvyyden ja pitoisuuksiin muutostrendejä tarkasteltiin kymmenen vuoden ajanjaksolta. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus vuonna 2010 oli  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vuonna 2019 pitoisuus oli enää  $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , eli kokonaispitoisuus oli laskenut 40 prosenttia. Yksittäisiä yhdisteitä ja yhdisteryhmiä tarkasteltaessa alifaattisten ja aromaattisten hiilivetyjen esiintyvyydessä havaittiin pääosin laskevia trendejä. Muiden VOC-yhdisteiden osalta havaitut trendit olivat pääosin nousevia. 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.

Havaittuihin trendeihin vaikuttavia tekijöitä ovat luultavasti esimerkiksi muutokset rakennusmateriaalien ja liikenteen päästöissä. Myös muun muassa kotitalouksissa käytettävissä pesu- ja puhdistusaineissa on tapahtunut muutoksia, jotka voivat vaikuttaa havaittuihin trendeihin.

## Asuntojen VOC-pitoisuuksien vertailu toimistotyyppisten työympäristöjen pitoisuuksiin

Työterveyslaitos (Wallenius ym. 2021) on raportoinut VOC-yhdisteiden pitoisuuksia toimistotyyppisistä työympäristöistä vuosilta 2010–2019. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus asunnoissa ( $n = 1\,093$ ) oli tällä aikavälillä noin nelinkertainen verrattuna toimistotyyppisten työympäristöjen ( $n = 9\,789$ ) pitoisuuteen. Formaldehydin pitoisuus asunnoissa ( $n = 211$ ) oli noin viisinkertainen toimistotyyppisten työympäristöjen ( $n = 1\,711$ ) pitoisuuteen verrattuna. Lisäksi asunnoissa esiintyi myös määrällisesti



Kuva 1. Sisäympäristöissä tyypillisesti esiintyvien VOC-yhdisteiden mediaanipitoisuudet toimistotyyppisissä työympäristöissä ja asunnoissa vuosina 2010–2019.

enemmän yksittäisiä VOC-yhdisteitä kuin toimistotyyppisissä työympäristöissä. Kuvassa 1 on vertailtu toimistotyyppisten työympäristöjen 12 yleisimmän VOC-yhdisteen mediaanipitoisuuksia asunnoissa esiintyneisiin pitoisuuksiin.

Asuntojen korkeampia VOC-pitoisuuksia ja yhdisteiden lukumäärää selittää esimerkiksi se, että asunnoissa ihmisten toiminta on yleensä monipuolisempaa ja esimerkiksi erilaisia sisustusmateriaaleja käytetään enemmän. Lisäksi toimistotyyppisissä työympäristöissä ilmanvaihto on yleensä tehokkaampaa kuin asunnoissa.

## Yhteenveto

Vuosina 2010–2019 kootun aineiston mukaan sekä keskimääräinen TVOC-pitoisuus että yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet asunnoissa ovat alhaisia eivätkä ne yksittäistapauksia lukuun ottamatta ylitä asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja. Terveysperusteinen RW I-ohjearvo yksittäiselle VOC-yhdisteelle ylittyi 10 prosentissa tutkituista näytteistä ja RW II-ohjearvo ylittyi 0,1 prosentissa näytteistä. VVOC-yhdisteisiin kuuluva formaldehydi ylitti terveysperusteisen ohjearvon 0,5 prosentissa näytteistä. Asuntojen keskimääräinen TVOC-pitoisuus on laskenut kymmenen vuoden tarkastelujakson aikana 40 prosenttia, ja yhdisteiden esiintyvyydessä on tapahtunut muutoksia. Koska muutoksia on odotettavissa myös jatkossa esimerkiksi rakentamisessa käytettävien materiaalien ja kuluttajatottumusten muuttuessa, olisi asunnoissa esiintyvien VOC-yhdisteiden kartoitus syytä uusilla tulovaisuudessa.

## Lisätietoa

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.

ISO 16 000-3:2011, Indoor air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air – Active sampling method.

ISO 16 000-6:2011, 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.

Juntunen M, Salmela A, Jalkanen K, Hovi H, Wallenius K, Hyvärinen A, 2022, Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa: Pitoisuustasot, yleisimmät yhdisteet ja terveysvaikutukset.

Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015) (Asumisterveysasetus).

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.

Umwelt Bundesamt, 2022, German Committee on Indoor Guide Values [verkkoaineisto], <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/german-committee-on-indoor-airguide-values#hygienic-guide-values-for-indoor-air>.

Valvira, 2016, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osat I ja III.

Wallenius K, Hovi H, Mahiout S, Remes J, Rautiala S, Jokela P, Leino K, Liukkonen T, 2021, Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyyppisissä työympäristöissä – Päästölähteet, mittausmenetelmät, pitoisuustasot ja terveysvaikutukset. ■