

Mari Österlund

# VÄHÄKEMIKAALINEN RAKENTAMINEN

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)  
Teollinen puurakentaminen

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Mari Österlund
Työn nimi	Vähäkemikaalinen rakentaminen
Toimeksiantaja	Rakennusasiaintoimisto Aarre Oy
Vuosi	2024
Sivut	66 sivua
Työn ohjaaja(t)	Anu Kuusela, Petteri Härkönen

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuoda esille haitallisimpia rakennusmateriaaleissa esiintyviä kemikaaleja missä materiaaleissa niitä esiintyy, sekä kemikaalien haittavaikutuksista. Tutkimuksessa tuotiin esille case-kohteessa käytettyjen rakennusaineiden päämateriaaleja. Case-kohteena oli Honkasuon Aarreatat, käsin veistetyistä hirrestä valmistettu asunomoduuili hirsirivitalo. Työn sisältö rakentui kirjoittajan mielenkiinnosta aiheeseen ja opas, josta voisi olla hyötyä vähäkemikaaliseen rakentamiseen.

Tässä työssä käydään läpi sisäilmasairautta ja sen oireita yleisesti läpi. Työssä kerrotaan haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC), haitallisimmista ja yleisimmistä kemikaaleista, niiden esiintyminen ja haittavaikutukset. Työssä tuodaan esille vaihtoehtoisia materiaaleja, jotka olisivat mahdollisimman luonnonmukaisia ja joita on mahdollisuus saada luonnosta, luonnollisesti valmistettuja ja -tuotettuja tuotteita. Esille tuodaan myös rakennusmateriaalien päästöluokitus M1, sekä muita vähäkemikaalisia tuotteita suosivia sertifikaatteja esimerkiksi Allergiatunnus, Joutsenmerkki ja EU-ympäristömerkki.

Päätelmissä käydään läpi kirjoittajan havainnot ja ajatukset työn sisällöstä. Miten haitallisten kemikaalien sisältämiä tuotteita voisi korvata vähemmän haitallisilla materiaaleilla. Mitkä asiat voivat vaikuttaa vähäkemikaalisuuteen?

Kemikaalien vaikutukset jokaisen yksilön kohdalla ovat erilaiset ja tarkkoja ja luotettavia tuloksia on mahdoton saada siitä, pitoisuuksilla jokin aine vaikuttaa ihmiseen. Materiaalien hygroskooppisuus vaikeuttaa tarkkojen ja yhdenmukaisten tulosten saamisesta, koska pitoisuuksiin vaikuttavat myös ympärillä olevan ilmaston ominaisuudet, kuten lämpötila ja ilmankosteus. Luonnon materiaaleista ei saada yhdenmukaisia näytteitä, niihin vaikuttavat muun muassa kasvu- ja sijaintiolosuhteet, kasvu- ja sijaintipaikka ja näytteenoton kohta.

**Asiasanat:** haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), kemikaalit, puu

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Mari Österlund
Thesis title	Low chemical construction
Commissioned by	Rakennusasiaintoimisto Aarre Oy
Time	2024
Pages	66 pages
Supervisor	Anu Kuusela, Petteri Härkönen

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to give an overview of the most harmful chemicals found in building materials, review in which materials they are present, and present their harmful effects. The study focused on the main materials of the building materials used in the target case. The target case was Honkasuo Aarreatat, a modular row house made of hand-carved logs. The content of the work was built on the author's interest in the topic. A guide that could be useful for low-chemical construction was created as part of the thesis.

This work reviews sick building syndrome and its symptoms in general. The thesis introduces volatile organic compounds (VOC), the most harmful and common chemicals, their occurrence and adverse effects as well as alternative materials that are as organic as possible and that can be obtained from nature or products. In addition the emission classification of building materials M1 and other certificates favouring low-chemical products, such as the Finnish allergy label, the Swan Ecolabel and the EU Ecolabel are reviewed.

The conclusions section summarizes the author's observations and thoughts on how products containing harmful chemicals could be replaced with less harmful materials what factors can affect low chemical exposure.

The effects of chemicals on each individual are different, and it is impossible to obtain accurate and reliable results at what concentrations a substance affects humans. The hygroscopicity of the materials makes it difficult to obtain accurate and uniform results, because the concentrations are also affected by the characteristics of the surrounding climate, such as temperature and humidity. Natural materials do not provide uniform samples because they are affected by factors such as the growing and location conditions, the of growth and the sampling point.

**Keywords:** chemicals, volatile organic compounds (VOC), wood

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	SISÄILMASAIRAUS.....	9
3	KEMIKAALIT.....	12
4	HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET.....	13
4.1	Määritelmät ja luokittelut.....	13
4.2	Toimenpiderajat.....	15
4.3	Päästölähteitä.....	16
4.3.1	Formaldehydi (CH <sub>2</sub> O).....	22
4.3.2	Bentsaldehydi C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O.....	23
4.3.3	Dekanaali (C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O).....	23
4.3.4	Heksanaali (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O).....	24
4.3.5	Nonanaali (C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O).....	24
4.3.6	Bentseeni (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ).....	24
4.3.7	Tolueeni (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> ).....	26
4.3.8	Ksyleeni (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> ).....	27
4.3.9	1-Butanoli C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O.....	27
4.3.10	2-etyyli-1-heksanoli C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O.....	28
4.3.11	Naftaleeni (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> ).....	29
4.3.12	Styreeni (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ).....	30
4.4	Palonestoaineet.....	31
4.5	POP-yhdisteet.....	33
5	SERTIFIKAATIT JA MERKINNÄT.....	33
5.1	RAKENNUSMATERIAALIEN PÄÄSTÖLUOKITUS (M).....	34
5.2	Allergiatunnus.....	36
5.3	Joutsenmerkki.....	37
5.4	EU-ympäristömerkki.....	40
6	HUONEILMAN KOSTEUS.....	41

7	PUU.....	42
7.1	Diffuusioavoin rakenne.....	42
7.2	Puun kosteusominaisuudet hygroskooppinen.....	42
7.3	Puun uuteaineet.....	43
7.4	Puun lämpökäsittely/modifiointi.....	46
7.5	Puun pintakäsittely.....	48
7.6	Kierrätyspuun käyttö rakennusmateriaalina.....	51
7.7	Puun terveyshaitat ja vaikutukset terveyteen.....	53
8	VAIHTOEHTOISET TUOTTEET KEMIKAALEJA SISÄLTÄVILLE TUOTTEILLE.....	55
9	LASI.....	55
10	SAVI.....	58
11	PÄÄTELMÄT.....	59

## SANASTO

BKT	Bruttokansantuote
Diffuusio	Ilmiö, jossa kaasumolekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen mahdollisesti esiintyneet pitoisuuserot.
Genotoksinen karsinogeeni	Aiheuttaa syövän vahingoittamalla geenejä
HDF-levy	high-density fiberboard, kova puukuitulevy
Hygroσκοoppinen	Huokoinen materiaali sitoo itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttaa sitä ilmaan pyrkien tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa
In vitro -tutkimus	koe koeputkessa, lasimaljassa tai yleisesti solun tai eliön ulkopuolella
Karsinogeeninen	syöpää aiheuttava
Kosteuspuskurointi	Materiaalin kykyä vaimentaa sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluita, jotka voivat olla kausiluontoisia tai päivittäisiä. Tämä tapahtuu kosteuden sitomisen ja luovuttamisen kautta.
MDF-levy	medium-density fibreboard, puolikova havupuukuitulevy
Primääripäästöt	vaurioitumattoman materiaalin yhdisteiden haihtuessa ilmaan
SBS	Sick Building Syndrome, Sairaana rakennuksen oireyhtymä (rakennuksen)

SBS-oireyhtymä	Sick Building Syndrome, Sairaana rakennuksen oireyhtymä ihmisellä
Suhteellinen kosteus	Ilmoittaa ilman vesihöyryn määrän tietyissä lämpötiloissa.
Synteesi	kahden tai useamman yhdisteen yhdistäminen, josta voi tulla uusia yhdisteitä
RH-%	
Sekundaaripäästöt	Hajoamistuotteita, jotka syntyvät kemiallisesta ja fyysikaalisesta hajoamisesta.
Vesihöyrynläpäisevyys	
Petrokemia	Kemian haara, joka tuottaa maaöljy- ja maakaasu pohjaisia tuotteita esim. (muovi, peruskemikaalien (olefiinit, eteeni, propeeni ja butadieeni) ja katalyyttien tuotteet)

## 1 JOHDANTO

Opinnäytteeni aiheeksi valikoitui vähäkemikaalinen rakentaminen. Aihe kiinnostaa minua ja minulla on omakohtaisia kokemuksia aiheesta, joten se tuntui luontevalta valinnalta. Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite on lisätä tietoa terveellisistä ja vähäkemikaalisista materiaaleista, joista erittyisi mahdollisimman vähän oireita aiheuttavia aineita ja yhdisteitä esimerkiksi monikemikaalilyliherkille. Kemialliset epäpuhtaudet ovat yksi vakavimmista sisäilman laadun heikentäviä tekijöitä. Kemikaaleja on kaikkialla, emme voi välttyä erilaisilta kemikaaleilta, mutta voimme valita tuotteita, jotka sisältäisivät vähemmän haitallisia kemikaaleja ja näin luoda terveellisempi ja miellyttävämpi sisäilma. Kemikaalien päästölähteitä voivat olla rakennus- ja sisustusmateriaalit, kosteusvaurioituneet materiaalit, ihmisten toiminnasta ja liikenteestä tai muista ulkoilman epäpuhtauslähteistä. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet ovat eräänlaisia kemiallisia epäpuhtauksia, joita esiintyy kaasumaisessa muodossa.

Opinnäytetyössä kerrotaan hieman sisäilmasairaudesta, joka on opinnäytetyöni perusta ja syy tälle aiheelle. Seuraavaksi yleiskuvus kemikaaleista ja haihtuvista orgaanisista yhdisteistä eli VOC-yhdisteistä, niiden määritelmät ja päästölähteet, jossa käydään läpi rakennusaineiden haitallisimpia ja yleisimpiä kemikaaleja ja niiden haittavaikutuksia. Mitä vapaaehtoisesti haettavia sertifikaatteja on, jotka voivat auttaa valitsemaan vähäkemikaalisemman ja mahdollisesti terveellisemmän materiaalin. Tämän työn laajin aihe kertoo puumateriaalin ominaisuuksista, miten ja miksi se on mahdollisesti hyvä rakennusmateriaali sisäilmasta herkistyneille ihmisille. Pintapuolisesti käyn läpi lasin ja saven käytön lyhyesti, sekä luonnonmukaisia maaleja ja pinnoitteita.

Toimeksiantajaani lähestyin sähköpostilla ja kirjoitin haluni tehdä opinnäytetyöni vähäkemikaalisuudesta. Toimeksiantajani Rakennusasiaintoimisto Aarre Oy:n arkkitehti SAFA Minna Aarnio ja rakennusinsinööri Jukka Reinikainen ovat työelämäohjaajinani. Case-kohteeni on Aarreaitta niminen rivitalokohde Helsingin honkasuolla. Hirret ovat suomalaisesta puusta käsin veistettyjä, joista viisi on tehty kuusihirrestä ja kaksi mäntyhirrestä. Ylä- ja alapohjan eristeenä on käytetty EHTA-eristettä,

joka on tehty kuusen kutterilastuista. Hirsien välissä, sekä ikkuna- ja ovikarmien tiivisteinä on käytetty pellavanauhaa ja -rivettä. Ikkunat ja ovet ovat puuta, väliovet ovat lasiliukuovia, väliseinät ovat puurunkoisia ja savirapattuja. Sisäpinnat ovat käsittelemättömiä, joissa puu on jätetty puhtaalle puupinnalle, hirsijulkisivut ovat keittomaalilla maalattu. Ala- ja yläpohjat ovat tuulettuvia. Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto, asunnon keskellä on tiilimuurattu piippu seitsemällä poistoilmahormilla ja yksi savu hormi, johon on liitetty puhdaspolttainen varaava takka. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa on otettu huomioon sen toimivuus ja ehdot sen toimivuudelle. Yksiaineinen runkorakenne ja yksinkertainen tekniikka ovat vikasietoisuuden kannalta turvallinen ratkaisu. Rakennus on hiilinegatiivinen, sen hiilikädenjälki on suurempi kuin sen hiilijalanjälki. Rivitalo on rakennettu asunto moduuleista, jossa jokaisella asunnolla on oma runkonsa. Tämä mahdollistaa moduulin siirtämisen ja uudelleen käytön, sekä kierrätyksen, jos sille on tarvetta tulevaisuudessa. Hirren paksuus on 225 mm asuntojen välissä on 50 mm suljettu ilmarako, jolloin asuntojen väliset seinät ovat 500 mm. Se on hyvä rakenne asuntojen välisen paloturvallisuuden ja äänieristyksen kannalta. Hiilinegatiivisuus oli tärkein kriteeri rakennusprojektille, samoin kestävät ja mahdollisimman luonnonmukaiset materiaalit.

Opinnäytetyössä läpikäytävät materiaalit rajoittuvat case- kohteeseen käytettyihin uusiin materiaaleihin. Tässä työssä ei tarkastella materiaalien vanhenemisen tai vaurioitumisen aiheuttamia emissioita.

Tutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä ovat yleisimmät ja haitallisimmat kemikaalit rakennustuotteissa tai -materiaaleissa, mitkä ovat niiden haittavaikutukset?
- Mitkä ovat vähäkemikaalisia ja mahdollisimman luonnonmukaisia materiaaleja?

## **2 SISÄILMASAIRAUS**

Suomessa ei ole lääketieteellistä termiä sisäilmasairaudelle, joka on yleisessä käytössä, jopa hallitusohjelmassa käytetään nimitystä sisäilmasta sairastuneelle. Jos sisäilmasta koetaan oireita, voi tuntea itsensä sairaaksi. Oireet, jotka liittyvät sisäilmaan ovat yleensä lieviä ja ohimeneviä. Ne ovat

epäspesifisiä ja niihin vaikuttavat monet muutkin tekijät, kuin huonolaatuinen sisäilma. Virheelliset informaatiot ja vaarakäsitykset voivat joillakin ihmisillä kehittyä toiminnallisiksi oireiksi. Sisäilman laatu tulee ottaa yhtenä mahdollisena tekijänä koettuihin haittakokemuksiin. Toiminnalliset oireet voivat kehittyä toiminnalliseksi häiriöksi, vaikka sisäilmassa ei esiinny biologisia tai fysikaalisia altisteita. (THL 2020.)

Valtaosa ihmisistä eivät saa oireita rakennuksissa, joissa osa ihmisistä saa monimuotoisia, toiminta- ja työkykyä heikentäviä sisäilmaan liitettyjä oireita, vaikka niissä ei ole merkittäviä määriä sisäilman epäpuhtauksia.

Toiminnalliselle häiriölle, joka luokitellaan ympäristöherkkyydeksi (ICD- 10 R68.81) potilas voi kokea oireensa johtuvan eri ympäristötekijöistä, kuten home, kemikaalit, tuuli- ja sähkövoima. THL (2020) tutkijan mukaan ympäristöherkkyyden ratkaiseva tekijä on koetun ympäristön haitallisuus, ei kemialliset, fysikaaliset tai biologiset ominaisuudet tai niiden pitoisuudet. (THL 2020.)

Nykyajan materiaaleissa on useita kemiallisia yhdisteitä, jotta niiden tekniset ominaisuudet paranisivat. Kemialliset yhdisteet voivat olla keinotekoisia tai luonnosta. Useita materiaaleja on mahdoton valmistaa ilman kemikaaleja esimerkiksi liimoja, lastulevyjä, useita maaleja, tasoitteita, vedenpitäviä vaatteita ja niin edelleen. Materiaalit, jotka on valmistettu, käytetty ja käsitelty oikein eivät yleensä aiheuta perusterveille ihmisille terveysongelmia. Joillekin henkilöille materiaaleista vapautuneet orgaaniset yhdisteet ja muut kemikaalit tai niiden yhteisvaikutukset voivat aiheuttaa herkistymisoireita. Epäpuhtauksia on tuhansia, eikä ole tarpeeksi tietoa, mitkä niistä ovat terveydelle vaarallisia tai haitallisia. (Sisäilmayhdistys 2022.)

WHO on sopinut vuonna 1982 yleisesti käytetyn termin Sick Building Syndrome SBS -sairaana rakennuksen oireyhtymä. (WHO käyttää niin rakennuksille, kuin ihmisillekin SBS- nimitystä). SBS-oireyhtymä on tila, jossa ihmiset kärsivät sairauden oireista tai voivat huonosti ilman näkyvää syytä oleskeltuaan (sairaissa) rakennuksissa. Oireet ovat hyvin moninaisia ja eriasteisia, kuten silmien, nenän, kurkun tai ihon ärsytys sekä yleisoireina väsymys ja päänsärky. Oireita voi olla vaikea todentaa johtuvan rakennuksista, koska näitä oireita voi esiintyä kuuallakin kuin rakennuksissa.

Yleensä oireiden vakavuus lisääntyy, mitä pidempiä aikoja vietetään rakennuksessa, vastaavasti oireet voivat jopa kadota, jos on poissa rakennuksesta. (WHO 1995, 1.)

Ennen kuin tunnistettiin, että oireet voivat johtua rakennuksista, ongelman todellinen vakavuus todentui, niin voitiin puuttua ongelman syyhyn ja parantaa ongelmien esiintyvyyttä. Ongelmalliset rakennukset voidaan mahdollisesti korjata, mutta aina tämä ei ole mahdollista, vaan joskus rakennusten uusiminen/ purkaminen on ainoa vaihtoehto. Uudet rakennukset voidaan suunnitella ja rakentaa niin, että voitaisiin välttää rakennusten SBS. SBS-oireyhtymän laajuus on todettu olevan jopa 30 % uusissa, remontoituissa tai kunnostetuissa rakennuksissa olevissa asukkaissa. (WHO 1995, 1, 11.)

Rakennuksen SBS on laajalle levinnyt ja voi esiintyä jokaisessa rakennuksessa, niin toimistoissa, päiväkodeissa, kouluissa, sairaaloissa kuin asunnoissakin. Kun päiväkodissa, koulussa ja sairaalassa, joissa on herkimpiä yksilöitä, huomataan SBS-oireyhtymää, on tilanne erittäin huolestuttava ja korjaaviin toimenpiteisiin pitäisi ryhtyä viipymättä. SBS-oireyhtymän on todettu johtavan merkittäviin häiriöihin sosiaaliseen elämään ja työsuoritukseen, sekä tuottavuuden menetykseen. SBS- oireyhtymä voi lisätä poissaoloja, heikentää työsuorituksia, mitkä johtavat kokonaiskustannusten menetyksiin, jopa 0,5 –1,0 % BKT:stä. (WHO 1995, 1–4.)

Yleensä ei pystytä erityisiä syitä tunnistamaan mikä rakennuksissa aiheuttaa SBS- oireita, mutta on pystytty tunnistamaan joitakin asioita, jotka voivat vaikuttaa oireisiin. Näitä ovat:

- Sijainti
- Rakennusmateriaalien ja huonekalujen kemialliset päästöt.
- Talotekniikka: riittämätön ilmanvaihto, ilmastointi jäähdytyksellä, liikkeet ilmastointikanavat
- Huollon ja korjausten laiminlyönti tai puutteellisuus
- Kosteus: liian alhainen tai korkea
- Kemialliset epäpuhtaudet: tupakansavu, otsoni, VOC-yhdisteet

Syiden tunnistaminen on vaikeaa ja kaikkia syitä ei aina pystytä tunnistamaan. Edes korjaustoimenpiteillä ei aina pystytä kaikkia syitä poistamaan. (WHO 1995, 6–7.)

Haihtuvien yhdisteiden altistumiseen vaikuttavat pääasiassa hengityselimien ja niiden limakalvojen, sekä ihon ja ruuansulatuselimistön kautta. Ensi oireet voivat ilmaantua limakalvoille ylähengitysoireiden ja silmien ärsytysoireina, nenän tukkoisuutena ja vuotamisena. Ärsytysoireina voi olla hermostolliset aistiärsykkeet tai epiteelisolukon tulehdusreaktiot. Jos altistus jatkuu, oireet voivat edetä ja aiheuttaa yskää ja hengityksenahdistusta. Yhdisteet, jotka ovat vesiliukoisia, vaikuttavat enemmän ylähengitysteihin ja erittäin heikosti veteen liukenevat vaikuttavat keuhkojen rakkuloihin. Haihtuville yhdisteille altistuneille voi tulla hermostollisia oireita, kuten päänsärkyä, pahoinvointia, huimausta ja väsymystä, sekä määrittelemätöntä epämukavaa oloa. Oireina voi ilmetä myös allergia- ja astmaoireita, poskiontelotulehduksia, sekä ihoärsytyksiä ja kutinaa. Oireet ovat yksilöllisiä ja ne voivat olla vaikeasti tunnistettavissa ja monimuotoisia. Altistuksen jatkuessa ja pahimmassa tapauksessa voi puhjeta esimerkiksi astma. Altistuksen pituus vaikuttaa siihen, sairastutaanko kroonisesti vai ovatko oireet ohimeneviä. Uudelleen altistuminen voi tuoda oireet taas takaisin, vaikka ne olisivatkin olleet pitkään poissa. Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa sisäilman laatuun, jolloin pystytään minimoimaan haitallisia tai ärsytysoireita aiheuttavia tuotteita. Pelkällä ilmanvaihdolla ei voida ratkaista sisäilmaongelmia. (Harju ym. 2021, 16–17.)

### **3 KEMIKAALIT**

Ihminen on tuottanut ja luonut uusia materiaaleja ja yhdisteitä, joiden sopivuudesta ihmisen biologiaan on viiveellä selvinnyt. Usein on jokin fysikaalinen ominaisuus todettu hyväksi ja havaittu myöhemmin, että aineen haitallisuus ihmisen terveyteen tai luontoon pitkäaikaiskäytössä tai vikasietoisuus on huono esimerkiksi kosteusominaisuuksien osalta. Esimerkkeinä kreosootti, asbesti, liimat, formaldehydit ja muut lisäaineet fysikaalisen ominaisuuden osalta ollen rakennustekniikalle ja -taloudelle hyväksi. Nyt niiden haitat ihmiselle ja luonnolle tiedetään paremmin. (Rakennusfysiikka 2021, 295.)

Vaikka yksittäiset kemikaalit eivät olisikaan haitallisia, niin niiden yhteisvaikutukset saattavat tuottaa myrkyllisiä tai haitallisia yhdisteitä niin sanottu kemikaalcocktail. Kemikaaleissa 1+1 ei ole 2, vaan esimerkiksi 6. (Joutsenmerkki 2020.)

## 4 HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat yhdisteitä, jotka sisältävät hiiltä ja jotka voivat esiintyä kaasumaisessa muodossa tavanomaisessa lämpötilassa. Haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin ei yleensä lasketa hiilen oksideja kuten hiilimonoksiidia ja hiilidioksidia. (Wallenius ym. 2021, 8.)

VOC-yhdisteitä on luonnossa esiintyviä ja ihmisen aiheuttamia VOC-yhdisteitä. Luonnossa kasvit tuottavat ja päästävät biogeenisiä yhdisteitä, jotka ovat luonnollisia haihtuvia yhdisteitä. VOC-yhdisteillä on useita lähteitä, joista ihmisen toiminta vaikuttaa kaikista eniten. Ihmisten aiheuttamia VOC-päästöjä ovat esimerkiksi laajamittainen liikenne, ajoneuvot, teolliset prosessit, pakokaasut, jätteiden hajoaminen ja liuottimien käyttö, jotka ovat lisääntyneet viime vuosina valtavasti. Lisäksi teollinen toiminta, petrokemian tuotantolaitokset, hiilivoimalaitokset, kuivapesuprosessit, suuret rakennusprojektit ja rakennusten maalaus vapauttavat huomattavasti enemmän haihtuvia yhdisteitä, kuin luonnossa esiintyvät orgaaniset yhdisteet. (Zhou ym. 2023.)

### 4.1 Määritelmät ja luokittelut

Haihtuville orgaanisille yhdisteille on useita määritelmiä tai luokitteluita. Niihin vaikuttavat kiehumispiste, höyrynpaine ja eluoituminen kromatograafisessa analyysissä, sekä ympäristö- ja terveyshaitat. Taulukoissa 1, 2 ja 3 on kuvattuna erilaisia määritelmiä ja luokitteluita haihtuville orgaanisille yhdisteille WHO:n Maailman terveysjärjestön, standardi ISO 16000-6 sekä EU-direktiivien mukaan. Joista ISO-standardi on tarkkarajaisempi mitä WHO:n määritelmä. (Asumisterveysopas 2009; Wallenius ym. 2021, 8–9; Wallenius ym. 2023, 15–17.)

Taulukko 1 WHO:n VOC-yhdisteiden määrittely (Tuomi ym. 2012, 2.)

Lyhenne	Kuvaus	Kiehumispiste (°C)	Höyrynpaine (kPa)
VVOC	erittäin haihtuvat yhdisteet	>0...50–100	>15
VOC	haihtuvat yhdisteet	50–100...240–260	>10 <sup>-2</sup>
SVOC	puolihaihtuvat yhdisteet	240–260...380–400	10 <sup>-2</sup> ...10 <sup>-8</sup>
POM	hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet	>380	–

Taulukko 2. ISO 16000-6 standardin mukainen määrittely (Wallenius ym. 2021, 9)

Lyhenne	Kuvaus	Määritelmä
VVOC	erittäin haihtuvat yhdisteet	VVOC-yhdisteet eluoituvat ennen n-heksaania
VOC	haihtuvat yhdisteet	VOC-yhdisteet eluoituvat n-heksaanin ja n-heksadekaanin välisellä alueella
SVOC	puolihaihtuvat yhdisteet	SVOC-yhdisteet eluoituvat n-heksadekaanin jälkeen

Taulukko 3. EU-direktiiviin mukainen määrittely (Wallenius ym. 2021, 9)

EU- direktiivi	Määritelmä
Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU	Orgaaninen yhdiste sekä kreosoottien osa, jonka höyrynpaine 293,15 K:n lämpötilassa on vähintään 0,01 kPa tai jolla on vastaava haihtuvuus tietyissä käyttöolosuhteissa
Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/42/EY	Orgaaninen yhdiste, jonka alkukiehumispiste normaalissa ilmanpaineessa 101,3 kPa mitattuna enintään 250°C.

Haihtuvien yhdisteiden lyhenteet, englanninkielinen nimi, suomenkielinen nimi, sekä esiintyminen.

**VVOC** (very volatile organic compounds) erittäin haihtuvat yhdisteet esimerkiksi. etanoli, asetoni, formaldehydi ja pentaani.

**VOC** (volatile organic compounds) haihtuvat yhdisteet esimerkiksi styreeni, tolueni, ksyleeni, 2-etyyli-1-heksanoli

**SVOC** (semi volatile organic compounds) puolihaihtuvat yhdisteet esimerkiksi **PAH** yhdisteet = polysykliset aromaattiset hiilivedyt

**POM** (particulate organic matter) hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet esimerkiksi mykotoksiinit, ftalaatit, PCB

(Tuomi ym. 2012, 2. ; Wallenius ym. 2021, 9.)

## 4.2 Toimenpiderajat

Haihtuville orgaanisille yhdisteille on asetettu erilaisia toimenpiderajoja, jotka koskevat asunnoissa esiintyvien ja työperäisten altistumisien pitoisuuksia ja materiaalien päästöjä. Suomessa sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus on asettanut toimenpiderajat haihtuville orgaanisille yhdisteille laskettuna tolueninivasteella. Tolueninivaste saadaan vertaamalla yhdisteen detektorivastetta toluenin detektorivasteeseen.

- Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sallittu kokonaispitoisuus (TVOC) huoneilmassa on  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- yksittäisen haihtuvan orgaanisen yhdisteen (VOC) sallittu pitoisuus huoneilmassa on  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Lisäksi on asetettu neljälle eri yhdisteelle erikseen eri toimenpiderajat, jotka ovat:

- 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraatti (TXIB) toimenpideraja on  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- 2-etyyli-1-heksanoli (2-EH) toimenpideraja on  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Naftaleeni toimenpideraja on  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lisäksi huoneilmassa ei saa esiintyä hajua
- Styreenin toimenpideraja on  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Huoneilman TVOC pitoisuuden jäädessä alle  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  siinä voi kuitenkin olla terveyshaittaa, joka voi tulla yksittäisestä yhdisteestä, jonka toimenpideraja on  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tai joilla on eri toimenpiderajat. (Asumisterveysasetus 15 §)

Altistumisen terveysvaikutuksia ei voida arvioida asumisterveysasetuksen asettamilla toimenpiderajoilla, koska ne eivät ole terveysperusteisia (Juntunen ym. 2022, 18).

### 4.3 Päästölähteitä

Rakennusten sisäilmassa voi esiintyä satoja erilaisia kaasumaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. VOC-yhdisteiden määrä kasvaa jatkuvasti, koska koko ajan kehitellään uusia tuotteita ja yhdisteitä. VOC-yhdisteitä vapautuu rakennusmateriaaleista, useista viimeistelytuotteista, erityisesti maalien, lakkojen, vahojen, puhdistusaineiden, tahnojen, kumien, liimojen, rasvojen, liottimien, kuluttajatuotteista (pesuaineet, puhdistus- ja kiillotusaineet, ilmanraikastimet ja hygienia tuotteet), sekä elektroniikkalaitteet (kopiokoneet ja tulostimet). Taulukossa 4 on kuvattuna eri materiaalien päästölähteitä. Lisäksi sisäilmaan kulkeutuu VOC- yhdisteitä ulkoilmasta (teollisuus, liikenne, pienpoltto ja kasvillisuus). Asunnoissa VOC-pitoisuudet ovat yleensä korkeammat mitä toimisto-, koulu- tai julkisissa tiloissa. Tämä voi johtua muun muassa ruuanlaitosta, asunnoissa saatetaan käyttää enemmän hajusteita, erilaisia siivous- ja hygienia tuotteita, sekä yleensä ilmanvaihto on tehokkaampaa julkisissa rakennuksissa. (Juntunen ym. 2022, 10; Zhou ym. 2023, 1.1–1.2.)

Taulukko 4. Sisäilmaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästölähteitä (Rundt, ym. 2005)

<b>Yhdisteryhmä: yhdisteitä</b>	<b>Mahdollisia päästölähteitä</b>
aldehydit: pentanaali, heksanaali, heptanaali, oktanaali, nonanaali	puurakenteet, lastulevy, tapetit, lattiavahat, hajusteet, linoleum, kostea mineraalivilla
bentsaldehydi	pakokaasut, lastu- ja kuitulevyt
alifaattiset ja sykliiset hiilivedyt: heksaani, heptaani, oktaani, sykloheksaani, metyyli sykloheksaani	liimat, bensiini, pakokaasut, liuottimet, polyuretaani
nonaani, dekaani, un-, do-, tri-, tetra, penta- ja heksadekaani	pakokaasut, polttoöljy, dieselöljy
C4-C5-hiilivedyt: butaanit, pentaanit	kylmä-, punne- ja vaahdotusaineet, nestekaasu (butaani), polyuretaani
alkoholit: propanolit, butanolit,	liuottimet, puhdistusaineet, maalit

pentanolit	
aromaattiset hiilivedyt: etylibentseeni, ksyleeni, trimetylibentseenit, tolueni	maalit, lakat, liimat, pakokaasut, bensiini, liuottimet, seinäpinnoitteet, polyuretaani, puhdistusaineet
<b>Yhdisteryhmä: yhdisteitä</b>	<b>Mahdollisia päästölähteitä</b>
bentseeni	bensiini, pakokaasut, tupakka
styreeni	polyesteri (lujitemuovi) hartsi, kumimatot
glykolit: 1-metoksi-2-propanoli, 1- etoksi-2-propanoli	vesiohenteiset maalit, lakat
1,2-propaanidioli, 2-(2-etoksietoksi) etanoli	korkkilaatat
klooratut hiilivedyt: tri- ja tetrakloorieteeni, 1,1,1-trikloorietaani	liuottimet, kuivapesuaineet, liimat
siloksaanit: mm. dekametyylisyklopentasiloksaani	saumausaineet, kosteuseristeet, tekstiilien lian hyljintäpinnoitteet
terpeenit: $\alpha$ - ja $\beta$ -pineeni, 3-kareeni, limoneeni	puumateriaalit, hajusteet, puhdistusaineet, maalit, liuottimet
muut: TXIB, 2-etyyliheksanoli	muovimatot
1,4-diklooribentseeni	deodorantit, koimyrkyt, ilmanraikasteet

Vapauduttuaan ilmaan VOC-yhdisteet voivat heti reagoida mihin tahansa hiukkaseen tai aineeseen. Ne käyvät nopeasti läpi monia kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia ja vapauttavat orgaanisia ja epäorgaanisia johdannaisia ei-toivottuina tuotteina ilmaan. (Zhou ym. 2023, 1.) VOC-yhdisteitä voi vapautua primääri-, sekundääri-, tai tertiääriemissioina. Primääriemissiot ovat uusien materiaalien lyhytaikaisia ominaispäästöjä, joita vapautuu suurina pitoisuuksina uusista tuotteista tai materiaaleista ensimmäisien kuukausien ajan. Esimerkiksi maalien kuivumis- ja kalvonmuodostusprosessissa haihtuvat apuaineet ja liuottimet tuottavat primääriemissiota. On tutkittu, että uusista rakennuksista primääriemissiot voivat puolittua alle vuodessa. Sekundääriemissiot ovat pidempiaikaisia ominaispäästöjä materiaaleista. Se on sisäilman laadun kannalta suurin materiaaliemissiotyyppi. Materiaalien sisältämien yhdisteiden reagoiessa

kemiallisesti muun muassa valon, veden tai otsonin vaikutuksesta syntyvä haihtuva yhdiste, jota kutsutaan tertiääriemissioksi. Esimerkkejä tertiääriemissioista ovat muun muassa PVC- materiaaleissa käytetyt Ftalaatit, jotka reagoidessaan kosteassa ja emäksisessä olosuhteessa syntyvät tertiääripäästöinä alkoholeina 2-etyyli-1-heksanolia ja ftaalihappoa. Sekä otsonin reagoidessa monien sisustus- ja rakennusmateriaalien ja esimerkiksi ihossa olevien lipidien kanssa, joista syntyy tertiääriemissioina muun muassa aldehydejä. (Wallenius ym. 2021, 14.)

Rakentamisen ja remontoinnin aikana voidaan vaikuttaa materiaalien kuljetus- ja varastointiolosuhteilla, rakentamisen aikaisilla olosuhteilla ja rakentamisjärjestyksellä sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksiin. Pitoisuudet voivat olla prosessin alussa hyvinkin korkeita, mutta ne laskevat normaalille tasolle muutaman kuukauden kuluessa. Sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuuteen ja poistumiseen voidaan vaikuttaa ilmanvaihdolla, huoneilman lämpötilalla ja kosteudella, sekä materiaalivalinnoilla. Hygroskooppiset materiaalit absorboivat eli imevät vettä itseensä, joka vaikuttaa päästöjen määrään vaihteluille suhteellisen ilmankosteuden vaihteluista. Kosteuden ja lämpötilan noustessa myös VOC-päästöt kasvavat. Lisäksi emissiolähteiden laatu, sijainti ja laajuus, hapettumisprosessit, muut kemialliset ja mikrobiologiset prosessit, materiaaleihin kiinnittyneet yhdisteet, sekä ihmisen toiminta vaikuttavat VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin. Taulukossa 5 on kuvattuna emissiolähteitä eri materiaaleista. Myös materiaalin kuluminen voi lisätä VOC-yhdisteiden päästöjä. (Harju ym. 2021, 17; Wallenius ym. 2021, 14–15.)

Taulukko 5. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiolähteitä ja esimerkkejä, joita näistä lähteistä voi yleisesti vapautua. Ammoniakki\* ei kuulu orgaanisiin yhdisteisiin. (Wallenius ym.2021, 16–18.)

<b>Rakennusmateriaalien emissiolähde</b>	<b>Esimerkkejä yhdisteistä</b>
PVC-materiaalit	TXIB, C <sub>7</sub> –C <sub>12</sub> -alkoholit, 2-Etyyli-1-heksanoli, 1-Butanoli, Alkyylibentsoaatit, Alkyylibentseenit (C <sub>10</sub> –C <sub>13</sub> ), Fenoli, Alkoholi- ja fenolieetterit
Linoleum	Orgaaniset hapot, Aldehydit (huom. formaldehydi), Ketonit, Alkoholit (C <sub>5</sub> –C <sub>8</sub> ), 2-Pentyylifuraani

Tekstiilimatot	Kaprolaktaami, 4-Fenyylysyklohekseeni (4-PCH), Siloksaanit, Pohjamateriaalin päästöt
Korkki	Fenolihdisteet, Terpeeniyhdisteet
Maalit, lakat (vesi ohenteiset)	Texanol ja muita estereitä, 1,2-Propaanidioli, Alkoholi- ja fenolieettereitä
Maalit, lakat (liuotin ohenteiset)	Tolueeni, Ksyleenit, Hiilivetyseokset (liuotinbensiini)
Liimat	2-Etyyli-1-heksanoli, 1-Butanoli, Akrylaatit
Raakapuu	Terpeenit ja niiden johdannaiset (esim. $\alpha$ -pineeni, $\beta$ -pineeni, 3-kareeni), Aldehydit, Orgaaniset hapot
Kumi	Bentsotiatsoli, Hiilivetyseokset, Styreeni
Puupohjaiset tuotteet (esim. lastulevy, MDF, vaneri, CLT)	Terpeenit ja niiden johdannaiset ( $\alpha$ -pineeni, $\beta$ -pineeni, 3-kareeni), Aldehydit (huom. formaldehydi), Orgaaniset hapot, Mahdollisesta pinnoitteesta aiheutuvat päästöt
Epoksinpinnoitteet	Bentsyylialkoholi, Bentsaldehydi, Alkoholi- ja fenolieetterit, Hiilivetyseokset
Akrylipinnoitteet	Akrylaatit, Alkoholi- ja fenolieetterit
Polyuretaanipinnoitteet	Ammoniakki*, 1,2-Propaanidioli, Alkoholi- ja fenolieetterit, Hiilivetyseokset
Tiivistemassat	Siloksaanit, Etikkahappo, Ammoniakki*
Mineraalivilla	Ammoniakki*
Polystyreenieristeet	Styreeni, 2-Metyylibutaani
Laastit, tasoitteet	Hiilivetyseokset, Siloksaanit, Ammoniakki*
Kivihiilitervaa sisältävät vedeneristeet ja muut materiaalit	PAH-yhdisteet
<b>Kalusteet ja sisustusmateriaalit</b>	<b>Esimerkkejä yhdisteistä</b>
Puumateriaalit	Ks. raakapuu ja puupohjaiset tuotteet
Nahka, tekstiilit	Formaldehydi, Siloksaanit
Maalit, liimat, lakat	Ks. maalit, lakat, liimat ja ohenteet
Akustiikkamateriaalit	Pinnoitteen päästöt

Lianhyljintäpinnoitteet	Siloksaanit
Palonsuoja-aineet	Polybromatut difenyylieetterit, Organofosfaatit, Ammoniakki*
Huonekasvit	Terpeenit, Aldehydit
Puhdistusaineet, desinfiointiaineet	Etikkahappo

Rakentaessa tai remontoidessa riskialttiille ryhmille, kuten allergikoille ja astmaatikoille, haihtuville yhdisteille herkistyneille, sekä lapsille tulee kiinnittää erityisesti huomiota vähäpäästöisyyteen ja -kemikaalisuuteen (Harju ym. 2021, 7).

Terveyden ja hyvinvoinninlaitos on tutkinut vuosina 2010-2019 Suomalaisissa asunnoissa esiintyvien formaldehydin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden esiintymisiä ja pitoisuuksia. Kuvassa 1. on yleisimpiä yhdisteryhmiä, joita esiintyy sisäilmassa, niitä voivat olla esimerkiksi alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, terpeenit, alkoholit ja aldehydit.

Yhdisteryhmä	Esimerkkiyhdisteitä	Päästölähteitä
Alifaattiset hiilivedyt	Heptaani, oktaani, nonaani	Puhdistusaineet, rakennusmateriaalit
Aromaattiset hiilivedyt	Bentseeni, styreeni, naftaleeni, tolueeni, ksyleeni	Ulkoilman kautta sisälle kulkeutuvat liikenteen ja teollisuuden päästöt, tupakointi
Terpeenit	Limoneeni, $\alpha$ -pineeni, 3-kareeni	Puhdistusaineet, hajusteet, hygienia tuotteet, 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

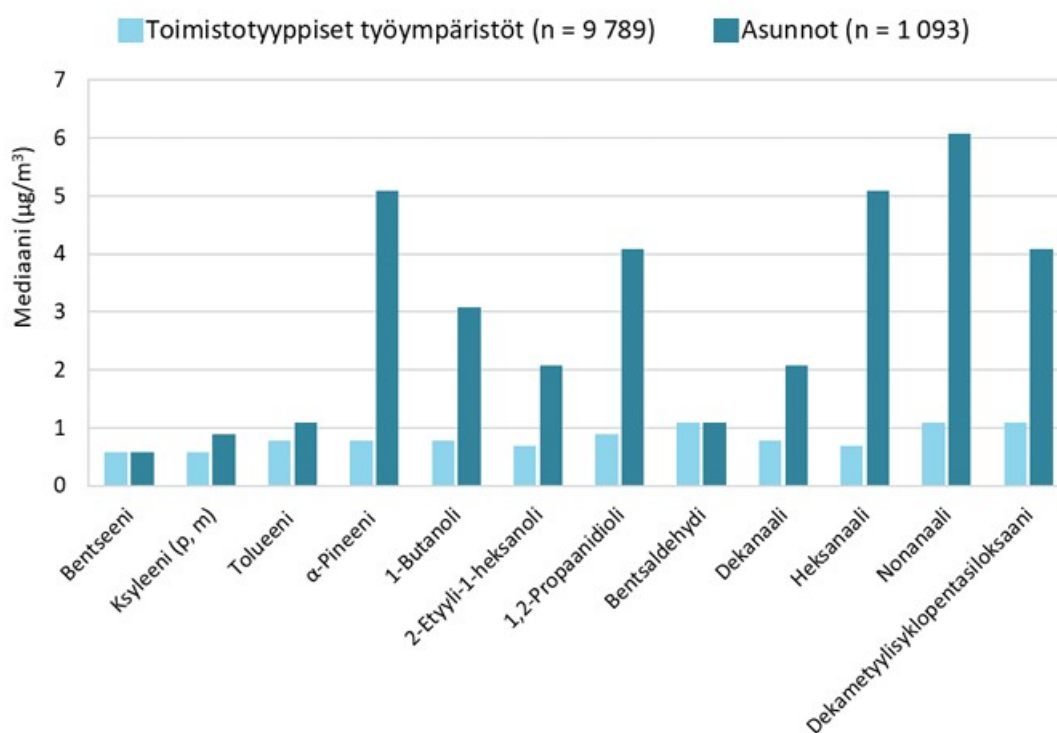
Kuva 1. Sisäympäristön yleisimpiä VOC-yhdisteryhmiä, esimerkkiyhdisteitä ja tyypillisiä päästölähteitä (Juntunen ym. 2022, 6).

Kuvassa 2 on lueteltu näytteissä olleita yhdisteitä, joita oli yli 50 % esiintyvistä yhdisteistä. Aromaattisia hiilivetyjä, joiden lähteet ovat esimerkiksi liikenteestä. Aldehydien lähteitä ovat esimerkiksi rakennusmateriaaleista, hajusteista, huonekasveista ja monista muista lähteistä. Alkoholien lähteitä ovat PVC-materiaalit, liimat ja siivouskemikaalit. Esterien lähteitä ovat rakennusmateriaalit, ruuan valmistus, ja elintarvikkeet. Happoja esiintyy puhdistusaineissa ja raakapuussa. Terpeenien lähteitä ovat uusi puu,

elintarvikkeet ja puhdistusaineet. Piiyhdisteitä vapautuu pesu- ja puhdistusaineista. (Juntunen ym. 2022, 17).

Yhdisteryhmä	Yhdisteet
Aromaattiset hiilivedyt	Bentseeni, ksyleenit (p, m), toluenei
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, $\alpha$ -pineeni
Piiyhdisteet	Dekametyylisyklopentasiloksaani

Kuva 2. Yli 50 % näytteistä esiintyvät yhdisteet asunnoissa vuosina 2010-2019, jaoteltuna yhdisteryhmän mukaan (Juntunen ym. 2022, 18).



Kuva 3. Sisäympäristöissä tyypillisesti esiintyvien VOC-yhdisteiden mediaanipitoisuuksien vertailu toimistotyyppisissä työympäristöissä ja asunnoissa (Juntunen ym. 2022, 26).

Kuvassa 3 on yleisimmän VOC-yhdisteiden toimistotyyppisten työympäristöjen mediaanipitoisuuksia verrattuna asunnoissa esiintyneisiin pitoisuuksiin. Pitoisuuksien eroa voidaan selittää ihmistentoiminnan, kuluttajatuotteiden, sisustusmateriaalien monipuolisuudella, sekä ilmanvaihdolla, joka on tehokkaampi toimistotyyppisissä työympäristöissä. (Juntunen ym. 2022, 26.)

### 4.3.1 Formaldehydi (CH<sub>2</sub>O)

Formaldehydi kuuluu aldehydeihin, se on väritön, syttyvä, vesiliukoinen ja erittäin reaktiivinen kaasu huoneen lämpötilassa. Formaldehydissä on voimakas pistävä haju. Sitä saadaan myös 30–50 % vesiliuoksena nimellä formaliini. Formaldehydi muuttuu valon vaikutuksesta hyvin nopeasti hiilidioksidiksi. Formaldehydin kiehumispiste on -19,1 °C eli se lasketaan VVOC- yhdisteisiin, aldehydi ryhmään. (WHO 2010, 103; Formaldehydi s.a.)

Formaldehydiä esiintyy ympäristössämme kaikkialla. Luonnollisia lähteitä ovat esimerkiksi metsäpalot, tulivuoret ja biomassan maatumisen. Ihmisen tuottamia lähteitä ovat muun muassa lämmityksessä kaasu- ja puuhellat, tupakointi, kynttilöiden ja suitsukkeiden poltto. Teollisissa valmisteissa hartsien valmistu ja säilöntäaineet. Sisätilojen formaldehydi lähteitä ovat rakennusmateriaalit, huonekalut, formaldehydipohjaisia hartseja sisältävät puutuotteet ja muovi. Eniten formaldehydiä vapautuu sisätiloissa uusista rakennusmateriaaleista ja tuotteista useiden kuukausien, varsinkin lämpimässä ja kosteassa olosuhteessa. Sisäilmassa saattaa olla useita formaldehydin lähteitä, jolloin niistä on vaikeaa tunnistaa tärkeimpiä sisäilmaan vaikuttavia lähteitä. Vähäpäästöisillä materiaaleilla ja tuotteilla, sekä hyvällä ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa sisäilman formaldehydin pitoisuuteen. (WHO 2010, 103–105, 138.)

Kuluttajatuotteissa formaldehydejä käytetään esimerkiksi pesu-, puhdistus- ja desinfiointiaineissa, kosmetiikassa ja hygieniatuotteissa, hajusteissa, ilmanraikastimissa, painoväreissä, hyönteisten torjunta-aineissa, vahoissa, kiillotusaineissa, polttoaineissa, liimoissa, kiteissä ja tasoitteissa, huonekaluissa, tekstiileissä, paperi- ja kartonkituotteissa ja elektronisissa laitteissa. (WHO 2010, 104–105; Formaldehydi s.a.)

Formaldehydiä käytetään erilaisten liimahartsien valmistukseen, joita ovat fenoliformaldehydihartsi, ureaformaldehydihartsi, ja melamiiniformaldehydihartsi. Liimahartseja sisältäviä tuotteita ovat vaneri-, kuitu- ja lastulevy, kalusteet, MDF- ja HDF-levyt. Formaldehydihartseja ovat lasi- ja mineraalivilla tuotteissa sideaineina. Aminohartseja käytetään happokovettuvissa maaleissa ja lakoissa, joita käytetään yleensä puun

punkäsittelyssä puusepän- ja huonekaluteollisuudessa. (TTL s.a. formaldehydi.) Uusissa lastulevyissä, jotka ovat tehty SFS-standardien mukaan formaldehydipäästöt ovat pieniä tai niihin käytetään ureaformaldehydin tilalla fenoliformaldehydi- tai isosyaniittipohjaisia liimoja. (Harju ym. 2021, 16.)

Formaldehydin altistumisreitit ovat hengittäminen, nieleminen ja ihon kautta imeytyminen. Haittavaikutuksia ovat myrkyllinen hengittäessä, nieltynä ja iholle joutuessa. Ärsyttää ihoa, silmiä, hengitysteitä. Voi aiheuttaa perimäaurioita ja syöpää. Helsingissä vuonna 2001 tehdyssä EXPOLIS-tutkimuksessa on mitattu formaldehydin keskimääräinen ilmanpitoisuus, joka kodeissa oli  $41,4 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ,  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , vaihteluvälin ollessa  $8,1\text{--}77,8 \mu\text{m}/\text{m}^3$  ja ei teollisilla työpaikoilla  $15 \mu\text{m}/\text{m}^3$ . (WHO 2010, 105–106; Formaldehydi s.a.)

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksen, jossa sisäilman formaldehydipitoisuuden vuosikeskiarvo  $50 \mu\text{m}/\text{m}^3$  ei saa ylittyä ja lyhyen ajan keskiarvopitoisuus 30 minuutin mittauksen aikana  $100 \mu\text{m}/\text{m}^3$  ei saa ylittyä. Ärsytysoireita voi esiintyä jo  $5\text{--}10 \mu\text{m}/\text{m}^3$  pitoisuuksissa, joita voivat olla silmien ja hengitysteiden ärsytykset. (Asumisterveysasetus Formaldehydi 16 §)

#### 4.3.2 Bentsaldehydi $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$

Bentsaldehydi kuuluu aldehydeihin, se on väritön neste, joka tuoksuu manteliöljylle. On haitallista nieltynä tai iholle joutuessa, vesieliölle myrkyllistä. Sitä käytetään hajusteiden ja värien valmistuksessa, liuottimena ja lisäaineena elintarvikkeissa. Bentsaldehydi ärsyttää ylähengitysteitä, silmiä, limakalvoja ja ihoa. Aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, huimausta, ja huumaavaa vaikutusta. (Työsuoja.fi 2007.)

#### 4.3.3 Dekanaali ( $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$ )

Dekanaali kuuluu aldehydeihin, se on väritön tai vaaleankeltainen, makea ja sitruksen makuinen ja hajuinen neste. Liukenee etanoliin, eetteriin, asetoniin ja hiilitetrakloridiin ei liukene veteen. Dekanaalia on pieniä määriä muun muassa tillissä, korianterissa, limetissä, appelsiinissa ja vähäisiä määriä

sitrushedelmissä, sitruunaruohossa, kukkakaaleissa, kaloissa ja öljyissä. Dekanaalia käytetään mausteissa, hajusteissa ja synteettisten sitrusöljyjen valmistuksessa. Dekanaali voi olla myrkyllinen yhdiste. Sen on havaittu liittyvän useisiin sairauksiin, kuten astmaan, munuaisten vajaatoimintaan ja keliakiaan. Kroonisesti altistuminen voi johtaa sydän- ja verisuonitauteihin, munuaisvaurioihin ja -sairauteen. (Pubchem 2004a.)

#### 4.3.4 Heksanaali (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O)

Heksanaali kuuluu aldehydeihin, se on väritön, neste, jolla on pistävä haju, on syttyvä neste ja höyry. Liukenee etanoliin, etyylietteriin, asetoniin ja bentseeniin, ei liukene veteen. Heksanaalia käytetään pehmittimenä, kumikemikaaleihin, väriaineissa, synteettiseen hartsiin, hyönteismyrkyissä, hajusteissa sekä aromiaineena hedelmämausteissa. Heksanaalia esiintyy monissa hedelmissä, vihanneksissa ja kasveissa.

Heksanaalin on havaittu liittyvän päänsärkyyn, keliakiaan, crohnin tautiin, haavaisen paksusuolen tulehdukseen, rasvamaksaan ja ärsyttää silmiä. Krooninen altistuminen voi johtaa munuaisvaurioihin, sydän- ja verisuonitauteihin. (Pubchem 2005b.)

#### 4.3.5 Nonanaali (C<sub>9</sub>H<sub>18</sub>O)

Nonanaali kuuluu aldehydeihin, se on kirkasta ruskeaa nestettä, tuoksuu ruusuisen sitruunaiselta. Liukenee etyylietteriin ja kloroformiin, ei liukene veteen. Nonanaalia esiintyy, maisissa, teessä, inkiväärissä, appelsiineissa, porkkanoissa ja limetissä, sekä eteerisissä öljyissä, sitä käytetään hajusteiden ja aromien valmistukseen, sekä elintarvikkeissa synteettisenä aromiaineena. Sen on havaittu liittyvän kehityshäiriöihin, jota ei ole määritelty erikseen, autismiin, haavaisen paksusuolen tulehdukseen, crohnin tautiin, keliakiaan, synnynnäisiin aineenvaihduntahäiriöihin ja rasvamaksaan. (Pubchem 2005c.)

#### 4.3.6 Bentseeni (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Bentseeni on aromaattinen hiilivety, se on kirkas, väritön, haihtuva ja helposti syttyvä neste, jolla on ominainen haju. Se haihtuu nopeasti huoneenlämpötilassa, kiehumispiste on 80,1°C. Bentseeni voi esiintyä

englanninkielisinä nimityksinä benzene, benzol, coal naphtha, cyclohexatriene, phene, phenyl hydride, pyrobenzo. (WHO 2010, 15; TTL 2024, bentseeni.)

Sisäilmassa bentseeniä erittyy niin sisä- kuin ulkoilman lähteistä. Ulkoilman lähteitä ovat liikenne. Pitoisuuksiin vaikuttavat vuodenaajat ja sää. Lisäksi eri teollisuuden alat kuten teräs-, kemikaali-, maakaasu-, öljy-, ja hiilen teollisuus. Bentseenin sisäilman päästölähteitä ovat rakennusmateriaalit ja huonekalut, autotallit, varastoidut liuottimet, erilaiset ihmisen toiminnot (esimerkiksi tupakointi, siivousaineet, maalit, hyönteiskarkotteet, kopiointi ja tulostus) ja lämmitys- ja ruuanlaitto järjestelmät (hiilen, puun, kaasujen käyttö polttoaineina).

Rakentamiseen, remontointiin ja sisustamiseen käytettävillä materiaaleilla voi vaikuttaa merkittävästi sisäilman bentseenin pitoisuuksiin. Bentseeniä käytetään useiden muovien raaka-aineena, kuten polyestereissä ja polyamideissa, sekä tietyissä sisustusmateriaaleissa ja polymeerimaaleissa esimerkiksi vinyyli-, PVC- ja kumilattiat, nailonmatot ja SBR-lateksipohjaiset matot. Lastulevyhuonekalut, vaneri, lasikuitu, lattialiimat, maalit, puupanelointi, tiivisteet ja maalinpoistoaineet voivat sisältää myös bentseeniä. (WHO 2010, 15–17; TTL ova-ohjeet / bentseeni.)

Sisäilmassa on tavallisesti korkeampi bentseenin pitoisuus kuin ulkoilmassa. Koska ulkoilman bentseenin pitoisuudet siirtyvät ilmanvaihdon mukana sisäilmaan, sekä sisätilojen monien eri lähteiden vuoksi. Sisäilman bentseenin pitoisuuteen vaikuttavat ilmanvaihto ja ilmasto-olosuhteet. Kylminä vuodenaikoina pitoisuudet ovat korkeampia kuin lämpiminä vuodenaikoina. Myös ulkopinnoista voi ilmanvaihdon seurauksena tulla bentseenin pitoisuuksia. Bentseenin päästöt vähenevät uusista materiaaleista viikkojen, kuukausien tai jopa vuoden kuluttua saavuttaen lähes tasaisen päästötason. Hyvällä ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa sisäilman bentseenin pitoisuuteen. (WHO 2010, 16–18.)

Bentseenin altistuminen tapahtuu 95–99 % hengittämällä, loput vedestä tai ruuasta. Bentseenin haittavaikutukset ja altistukset voivat aiheuttaa muun muassa: genotoksinen karsinogeeni (syöpä, kasvaimet), verisuonisairauksia (anemiaa, leukemia, erilaisia lymfoomia), neurologiset häiriöt, (kiihtyneisyys,

puhehäiriöt, päänsärky, huimaus, heikkous, unettomuus, pahoinvointi, käsien ja jalkojen kihelmöinti, pistely, tunnottomuus tai puutuminen sekä väsymys), kromosomipoikkeavuuksia. On todettu suurien pitoisuuksien aiheuttaneen jopa kuolemia, jotka ovat tapahtuneet äkillisesti tai muutaman tunnin kuluttua altistumisesta arvioidulla pitoisuudella 20 000 ppm ( $64980 \text{ mg/m}^3$ ) 5–10 minuutin ajan. (WHO 2010, 17–18.)

WHO ei suosittele Bentseenille turvallista altistustasoa sen genotoksisen karsinogeenin vuoksi. Siksi pitäisi vähentää bentseeniä sisältävien tuotteiden käyttöä rakennus- ja sisustus materiaaleissa, liuottimien käyttöä harrastus tai siivousaineissa. Työterveyslaitos on kuitenkin asettanut työntekijöille raja-arvon bentseenille, joka on 0,5 ppm (8 h keskipitoisuus) se laskee vuoden 2026 huhtikuussa tasolle 0,2 ppm (8 h keskipitoisuus). (WHO 2010, 38; TTL 2024.)

#### **4.3.7 Tolueeni (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)**

Tolueeni on aromaattinen hiilivety, se on väritön, helposti syttyvä, palava neste, lievästi pistävä ja makeahko haju, joka muistuttaa bentseeniä. Kiehumispiste on 111°C. Tolueenilla voidaan korvata bentseeni, joka on karsinogeeninen yhdiste. Suomenkielisiä nimityksiä tolueenille voi esiintyä metyylibentseeni, toluoli ja englanninkielisinä toluene, toluol, toluole, methylbenzene, phenylmethane nimityksinä. (TTL 2022 ova-ohjeet, tolueeni.; TTL, tolueeni,1.)

Tolueenia käytetään maaleissa, lakoissa, liimoissa ja väriaineissa liuottimena ja ohenteena. Orgaanisissa synteeseissä, kumin ja hartsin liuottamisessa, sekä lääkeaineiden ja räjähdysaineiden valmistuksessa. (TTL 2022 ova-ohjeet, tolueeni.)

Tolueeni on luokiteltu lisääntymiselle vaaralliseksi aineeksi, vähentää hedelmällisyyttä ja aiheuttaa kehityshäiriöitä, sekä voi vaurioittaa sikiötä. Nieltynä ja hengitysteihin joutuessaan voi olla tappava, saattaa aiheuttaa huimausta ja uneliaisuutta, tasapainohäiriöitä, päänsärkyä, huonovointisuutta, silmien kirvelyä, hengityselinten ärsytystä, huumaantumisen tunnetta. Pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistumisessa saattaa vahingoittaa elimiä,

kroonisia aivotoiminnan häiriöitä (väsyneisyys, unihäiriöt, päänsärky, keskittymiskyvyn- ja muistin heikkeneminen ja ärtyisyys) ja ihokosketuksessa ärsytysihottumaa. (TTL 2022 ova-ohjeet, tolueni; TTL, tolueni, 4.)

#### 4.3.8 Ksyleeni (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>)

Ksyleeni on aromaattinen hiilivety, se on väritön, syttyvä neste, palava neste, jolla on makea bentseeniä muistuttava haju. Ksyleenin kiehumispiste on 138–145 °C, riippuen teknisestä koostumuksesta. Tekninen ksyleeni on seos, joka sisältää 4–20 % o-ksyleeniä, 44–60 % m-ksyleeniä ja 12–20 % p-ksyleeniä. Suomenkielisiä nimityksiä ksyleenille voi esiintyä dimetyylibentseeni ja englanninkielisiä xylene, dimethylbenzene, xylol ja methyltoluene nimityksinä. (TTL 2022 ova-ohjeet, ksyleeni.)

Ksyleeniä käytetään maaleissa, lakoissa, vernissassa, puunsuoja-aineissa, väriaineissa ja liimoissa liuottimena ja ohenteena. Sitä käytetään myös laboratorioissa, nahka- ja kumiteollisuudessa ja torjunta-aineiden valmistuksessa. (TTL 2022 ova-ohjeet, ksyleeni; TTL ksyleeni, 2.)

Ksyleenin altistuminen tapahtuu pääasiassa hengitysteitse kaasumaisessa olomuodossa ja nestemäisenä ihon kautta. Haittavaikutuksia ovat muun muassa väsymys, tasapainohäiriöt, päänsärky, huonovointisuus, silmien kirvely, hengityselinten ärsytys, huumaantumisen tunne ja suurina pitoisuuksina tajunnan menetys ja hengenvaara. Voi kehittyä munuaisten, maksan ja keuhkojen soluvaurioita. Pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistumisessa saattaa aiheuttaa kroonisia aivotoiminnan häiriöitä (väsyneisyys, unihäiriöt, päänsärky, keskittymiskyvyn- ja muistin heikkeneminen ja ärtyisyys) ja ihokosketuksessa ärsytysihottumaa. (TTL 2022 ova-ohjeet, ksyleeni.)

#### 4.3.9 1-Butanoli C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O

1-Butanoli kuuluu alkoholeihin, se on väritön, alkoholille haiseva neste, jonka kiehumispiste on 118°C. Se on syttyvä neste, jonka höyry voi ilman kanssa muodostaa syttyvän seoksen, voimakkaiden hapettimien kanssa on palo- ja räjähdysvaara. Reagoi voimakkaiden hapettimien (halogeenit ja peroksidit) ja

voimakkaiden pelkistimien (vahvat hapot, alkalimetallit, ja alumiini) kanssa, syövyttää muoveja ja kumeja. Suomenkielisiä nimityksiä 1-butanolille voi esiintyä butanoli, butan-1-oli, n-butanoli, butyylialkoholi, n-butyylialkoholi, propyylikarbinoli, propyylietanoli, butyylihydroksidi, 1-hydroksibutaani, metyylolpropani ja englanninkielisinä 1-butanol, n-butanol, butanol, butan-1-ol, butyl alcohol, n-butyl alcohol, butyl hydroxide, butyric alcohol (normal), 1-hydroxybutane, methylolpropane, propyl carbinol, propyl methanol nimityksinä. (TTL 2022 Ova-ohjeet, 1-butanoli.)

1-Butanolia käytetään liuottimena, kemianteollisuuden välituotteena, kuten pehmentimien, maalien, lakkojen ja vahojen, torjunta-aineiden, hydraulinesteiden, pesuaineiden, lääkkeiden, kankaiden, ja tekstiilien valmistuksessa. Sitä käytetään myös polttoaineissa jäätymisenestoaineena, elintarvikkeissa aromiaineena ja kasvirasvojen tuotannossa uuttoliuottimena. (TTL 2022 Ova-ohjeet, 1-butanoli.)

1-Butanolihöyry ärsyttää silmiä ja hengitysteitä sekä aiheuttaa keskushermosto-oireina päänsärkyä, huimausta ja uneliaisuutta. Lisäksi voi esiintyä kurkkukipua, yskää, silmien polttavaa kipua, näön sumenemista, kyynelvuotoa ja valonarkuutta. Korkeina pitoisuuksina voi aiheuttaa tajunnantason laskua. Imeytyy ihon kautta elimistöön, sekä aiheuttaa ihon ärsytysoireita. Toistuvassa altistumisessa nestemäinen 1-butanoli kuivattaa ihoa, sekä 1-butanolihöyry saattaa aiheuttaa kuulon heikkenemistä ja vaurioittaa kuulo- ja tasapainohermoa. (TTL 2022 Ova-ohjeet, 1-butanoli.)

#### **4.3.10 2-etyyli-1-heksanoli C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>O**

2-Etyyli-1-heksanoli kuuluu alkoholeihin, se näyttää tummanruskealta nesteeltä, sillä on aromaattinen haju. Sitä käytetään pehmittiminä, vaahdonestoaineina, kostutusaineena, liuottimena (maalit, lakat) tekstiilien viimeistelyaineena, musteissa, kumissa, paperissa, voiteluaineissa, valokuvauksessa, ja kuivapesussa. 2-etyyliheksanolia on käytetty pehmeän polyvinyylidikloridin (PVC) esteripehmittimien valmistuksessa. 2-Etyyli-1-heksanolia voi olla sisäilmassa muovisten rakennusmateriaalien hajoamistuotteiden seurauksena. Suomessa on asetettu 2-etyyli-1-

heksanolille toimenpiderajaksi 10 µg/m<sup>3</sup>. (Pubchem 2005b ; Asumisterveysasetus.15 §.)

2-Etyyli-1-heksanolin altistumisreittejä voivat olla esimerkiksi hengittämällä, nieltynä tai ihon läpi. Se ärsyttää ihoa, silmiä, hengitysteitä. Suurien pitoisuuksien hengittäminen voi aiheuttaa keskushermostovaikeuksia. Eläinkokeissa on todettu suurien pitoisuuksien aiheuttavan rappeumia aivoissa. Altistumisen oireina ovat yskä, päänsärky, huimaus, kurkkukipu, heikkous, pahoinvointi, ihon punoitus tai kuiva iho, Silmien punoitus ja -kipu ja näön hämärtyminen. USA:ssa tehdyissä ihmiskokeissa on todettu aiheuttavan kemikaaliherkkyyttä. (Pubchem 2005a.)

#### **4.3.11 Naftaleeni (C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>)**

Naftaleeni on valkoinen kiteinen jauhe, jolla on ominainen vähän tervamainen haju, sen kiehumispiste on 218 °C. Naftaleeni polysyklinen aromaattinen hiilivety, PAH-yhdiste, joka on yksi erittäin haihtuvista orgaanisista yhdisteistä. (WHO 2010, 157.)

Naftaleenia käytetään raaka-aineena ftalaattipehmittimien ja synteettisten hartsien synteisiin. Sitä käytetään rakentamisessa betonin pehmittimien valmistuksessa, kipsilevyjen ainesosina, synteettisissä- ja luonnonkumeissa, polyuretaanivaahdossa, maaleissa sekä PVC-, linoleum-, kumi- ja polyolefiini lattiapinnoitteissa. Lisäksi naftaleenia käytetään hyönteis- ja tuholaiskarkotteissa, desinfiointiaineissa ja hajunpoistoaineena WC-tiloissa. Naftaleenia esiintyy myös polttoöljyssä, bensiinissä ja puusavussa. Kreosootin pääraaka-aine on ollut naftaleeni. (WHO 2010, 157; Halios, 3.1.)

Naftaleenin pääasiallinen altistumisreitti on hengittäminen, varsinkin sisätiloissa, koska ihmiset viettävät suurimman osan ajasta sisätiloissa. Myös iho altistuminen ja nieltynä (koipallot) on mahdollista. Naftaleenin haittavaikutuksia ihmisillä ei ole paljon tutkittu, mutta in vitro -kokeilla on voitu havaita naftaleenin olevan myrkyllistä tai tappavaa soluille. Naftaleenin haittavaikutuksia ovat hengitysteiden vauriot, hemolyyttinen anemia, kaihi sekä mahdollisesti syöpää aiheuttava. On myös havaittu muutoksia, tulehduksia ja liikakasvua hengitysteiden soluissa, joilla on osallisuus syöpää

aiheuttavassa vasteessa. On havaittu naftaleenin aiheuttavan päänsärkyä, heikkoutta, hikoilua, pahoinvointia, oksentelua, silmien punoitusta ja vatsakipua. (WHO 2010, 158, 184–185.)

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksen, jossa sisäilman naftaleenin toimenpideraja on  $10 \mu\text{m}/\text{m}^3$ , sekä hajua ei saa esiintyä. (Asumisterveysasetus 15 §).

#### 4.3.12 Styreeni ( $\text{C}_8\text{H}_8$ )

Styreeni voi esiintyä myös vinyylibentseeni, fenyylityleeni ja styroli, sekä englanninkielisenä styrene, vinylbenzene, phenylethylene, styrol, ethenylbenzene ja cinnamene nimillä. Styreeni on kellertävä, väritön, siirappimainen, haihtuva ja syttyvä neste ja höyry. Kiehumispiste on  $145^\circ\text{C}$ . Styreenillä on makeahko ja pistävä haju. Voi reagoida hapettimien ja vahvojen happojen kanssa, liuottaa kumia ja syövyttää kuparia. (TTL 2022 Ova-ohjeet, Styreeni.)

Suomessa styreeniä käytetään muoviteollisuudessa polystyreenin (PS) ja styreeni-butadieenilateksin (SB-lateksin) valmistuksessa. PS-muovisia kuluttajatuotteita ovat esimerkiksi Styreenistä tehdään myös eristeenä käytettävää paisutettua polystyreenimuovia eli styroxia, sekä synteettisiä kumituotteita eli ajoneuvojen mattoja ja renkaiden. Styreeniä käytetään myös silloittajana ja liuotteena tyydyttymättömissä polyesterihartseissa ja vinyyliesterihartseissa. Hartseja voidaan käyttää lasi- tai hiilikuidun kanssa saaden kestävä ja luja polymeerikomposiitti. Lujitemuovia käytetään uima-altaiden, veneiden, junien, bussien, tuulimyllyjen ja säiliöiden valmistukseen. Rakennus materiaaleina siitä tehdään seinä- ja kattoelementtejä ja sisustuksessa esimerkiksi paneeleina ja tekokivinä. Styreeniä käytetään myös kaksikomponenttisille maaleille ja polyesterilakoille, sekä polyesterikittejä ja -liimoja. (TTL s.a Styreeni.)

Styreeni ärsyttää ihoa ja silmiä, hengitettynä haitallinen ja epäillään vaurioittavan sikiötä, sekä voi vahingoittaa kuuloa. Pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa keskushermoston toiminnan häiriöitä ja liuotinaivosairauden.

Kansainvälinen IARC on luokitellut styreenin syöpävaaralliseksi aineeksi. (TTL s.a Styreeni.)

#### 4.4 Palonestoaineet

Palonestoaineiden tarkoitus on estää ja hidastaa palamisen etenemistä tuotteessa, säästään ihmishenkiä palotilanteissa. Palonestoaineilla on myös haittapuolensa sisältäen terveydelle vaarallisia aineita. Ennen yleisesti käytössä ollut polybromatut difenyylieetterit, PBDE-yhdiste, joka hajoaa hitaasti ympäristössä, rikastuttaa ravintoketjussa ja varastoituu elimistöön. Nykyään PBDE-yhdisteiden käyttö ja maahantuonti on suurimmaksi osaksi kielletty. Vaikka niiden käyttö on kiellettyä, niin edelleen yhdistettä on monissa kuluttajatuotteissa, jotka ovat valmistettu ennen kielloja. Näistä yhdisteet saattavat vapautua luontoon ja sitä kautta ravinnoksi käytettäviin kaloihin ja eläimiin. (THL 2023.)

Monissa palonestoaineissa on bromia, fosforia, klooria tai yhdistettynä useampaa niistä. Bromatut ja fosforoidut aineet ovat korvanneet PBDE-yhdisteet. Bromattuja palonestoaineita ovat tetrabromibisfenoli A (TBBPA), lukuisat bromatut bentsoe- ja ftaalihappoesterit, bromatut bentseenit ja sykloheksaanit, jotka korvaavat kielletyt PBDE-yhdisteet ja heksabromisyklododekaania (HBCD). Nykyiset bromatut palonestoaineet eivät kerry samoin kuin PBDE ravintoketjuun. Fosforoiduissa palonestoaineissa on kolme akryyli-, alkyyli- tai halogenoitua alkyyliryhmä, jotka ovat fosforihappoon liittyneet. Fosforoituja palonestoaineita on sisäilmassa ja huonepölyssä selvästi enemmän, mutta eivät ole niin pysyviä mitä bromatut palonestoaineet. Muovituotteiden, huonekalujen, tekstiilien ja elektroniikan palonestoaineissa käytetään bromia tai fosforia, joka hidastaa tai estää palon etenemistä. (THL 2023.)

Palonestoaineille altistumiset tapahtuvat sisäilman, huonepölyn ja ravinnon kautta, erityisesti kala, muita lähteitä ovat liha, kananmuna, maitotuotteet ja rasvat (THL 2023,).

PBDE-yhdisteiden haittavaikutuksia ei täysin tunneta, mutta saattaa lisätä imusolmukeesyövän riskiä, häiriöitä kilpirauhashormonin pitoisuuksissa,

haitallisia sikiölle, sekä aiheuttaa käyttäytymishäiriöitä ja oppimisvaikeuksia (THL 2023.)

Uusia bromattuja palonestoaineita ei ole tutkittu kattavasti, jotta tiedettäisiin niiden haittavaikutukset terveydelle. Aikaistunut puberteetti, painon nousu, elinten painon nousu, häiriöitä kilpirauhashormonin pitoisuuksissa ja käyttäytymismuutokset ovat eläinkokeissa havaittuja haittavaikutuksia. Ei tiedetä ovatko nämä haittavaikutuksia ihmiselle. Joillekin uusille bromatuille palonestoaineille on suunnitteilla rajoituksia niiden haittavaikutuksien takia. (THL 2023.)

Fosforoiduista palonestoaineista yhdisteet, jotka sisältävät klooria (TCEP, TCIPP ja TDCIPP) ja aromaattiset yhdisteet (TPP ja TMPP) ovat haitallisimpia. Yhdisteet, jotka sisältävät klooria ja fosforia saattavat olla syöpää aiheuttavia ja hermostolle myrkyllisiä. Lisääntymishäiriöitä saattaa aiheutua aromaattisista fosforoiduista palonestoaineista. (THL 2023.)

Terveyden ja hyvinvointilaitos on tutkinut PBDE-yhdisteiden pitoisuuksia ympäristössä ja niiden pitoisuudet ovat laskeneet PBDE-yhdisteiden käyttökiellon seurauksena, niiden oletetaan pienentyvän tulevaisuudessakin. Ruotsalaisessa tutkimuksessa on havaittu, että äidinmaidon ja vesiympäristön pitoisuuksien fosforoitujen palonestoaineiden pitoisuudet ovat korkeampia mitä bromattujen palonestoaineiden pitoisuudet. Suomessa ei ole vastaavia tutkimuksia tehty. (THL 2023.)

Sisäilman aiheuttamista terveysvaikutuksista on hyvin vähän tutkimuksia. Tutkimukset eivät ole yksiselitteisiä ja niille ei ole terveyteen perustuvia ohjearvoja koko Euroopassa ja Yhdistyneessä kuningaskunnassa (Iso-Britannia). Tutkimuksia on tehty TVOC- yhdisteinä, joissa ei ole huomioitu yksittäisiä VOC-yhdisteiden päästö- lähde- ja pitoisuustietoja. Lisäksi tutkimukset ovat vanhoja, kuitenkin eri yhdisteitä, kemikaaleja ja materiaaleja on tullut useita lisää. Halios ym 2022. ovat järjestelmällisesti keränneet tietoa erilaisista kirjallisuuksista, joissa tarkastellaan yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuuksia, terveysvaikutuksia ja altistumisia VOC-yhdisteille eurooppalaisissa asunnoissa, mukaan lukien suomi.

#### 4.5 POP-yhdisteet

Pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP) ovat hitaasti hajoavia orgaanisia aineita, jotka kerääntyvät eläviin organismeihin aiheuttaen riskejä terveydelle ja ympäristölle. POP-yhdisteitä on käytetty palonestoaineina, torjunta-aineina, rakennustuotteissa, sähkö- ja elektroniikkalaitteissa, tekstiileissä ja ajoneuvoissa. POP-yhdisteitä syntyy myös tahattomasti teollisuuden sivutuotteena prosesseissa sekä palamisen tai hajoamisen yhteydessä (dioksiinit ja furaanit). POP-yhdisteet aiheuttavat eläimissä kehitys- ja lisääntymishäiriöitä, ne voivat myös vaikuttaa ihmiseen samalla tavalla. Muun muassa Tukholman yleissopimus kieltää tai rajoittaa POP-yhdisteiden tuotantoa, käyttöä ja päästöjä. Yleissopimus astui voimaan toukokuussa 2004 siihen on lisätty vuosien saatossa useita aineita lisää. Sopimuksen on hyväksynyt 186 maata, sisältyen EU-maat. (Suomen ympäristökeskus 2023, Pysyvät orgaaniset yhdisteet 2024; ECHA, POP-yhdisteet tutuksi s.a.)

### 5 SERTIFIKAATIT JA MERKINNÄT

Suomessa on mahdollisuus hakea vapaaehtoisia erilaisia tuotemerkkejä kuvat 4-7. Merkit ovat maksullisia, niillä jokaisella on omat kriteerinsä, jotka hakijan tuote pitää täyttää ja ne ovat määräajan voimassa. Ne auttavat kuluttajia valitsemaan vastuullisia tuotteita ympäristölle ja terveydelle. Vaikka jokin tuote täyttäisi kaikki kriteerit, joita tarvittaisiin tunnuksen saamiseen ei ole hakenut merkkiä, niin se voi silti olla ympäristölle ja terveydelle turvallinen tuote.



Kuva 4. M1-luokitus merkki  
(Rakennustieto s.a.)



Kuva 5. Allergiatunnus  
(Allergia-, Iho- ja Astmaliitto s.a.)



kuva 6. Joutsenmerkki  
(Joutsenmerkki s.a.)



kuva 7. EU-ympäristömerkki  
(EU-ympäristömerkki s.a.)

## 5.1 RAKENNUSMATERIAALIEN PÄÄSTÖLUOKITUS (M)

Rakennus- ja sisustusmateriaaleille on saatavissa päästöluokitus (M) jolla voidaan parantaa sisäilman laatua. Päästöluokituksen hakeminen on vapaaehtoista. M1-luokituksen myöntää rakennustieto, M1-luokitus on standardin EN ISO 14024:2018 mukainen tuotteen sisäilmapäästöihin rajattu tyyppin 1 ympäristömerkki ja se on voimassa kolme vuotta kerrallaan. Päästöluokat jaotellaan kolmeen ryhmään M1, M2 ja M3, joista M1 on paras ja vähäpäästöisin. (Rakennustieto s.a; RT 07-11299, 3.1.)

M1-luokituksen tarkoituksena on rakennusmateriaalien ja kalusteiden päästöjen eli emissioiden raja-arvojen asettaminen VOC-, formaldehydi-, ja ammoniakkin päästöille. Sisäilman kannalta M1-luokituksen kriteerit ovat asetettu pitkäaikaisille emissioille, ei esimerkiksi liuottimien ja muiden apuaineiden kuivumis- ja kalvonmuodostuksen aikana. Siksi emissiomittaukset tehdään 28 vuorokauden jälkeen. (Rakennustieto s.a.)

Hyvän sisäilman laatuun voidaan vaikuttaa huomioimalla kokonaisuudessaan suunnittelu, rakentaminen ja käytön aikainen toiminta. Sisäilman laatuun vaikuttavat muun muassa kaikkien materiaalien kokonaispäästöt ja ilmanvaihto. Päästöluokituksella pyritään vaikuttamaan materiaalien vähäpäästöisyyteen, jotta ilmanvaihtoa ei tarvitse lisätä sisäilman laadun parantamiseksi, niin kuin korkeampi päästöisiä materiaaleja käytettäessä. Mutta M1-luokituksen saaneilla materiaalien käytöllä ei kuitenkaan taata varmuudella hyvää sisäilmaa. Tuotteet pitää olla ohjeiden mukaan varastoitu,

asennettu ja käytetty sekä ilmanvaihdon olla riittävä. Väärin käytetty M1-luokan tuote voi muuttua korkeapäästöiseksi tuotteeksi esimerkiksi, jos tuote on varastoitu kosteassa tilassa, käytetty yhteensopimattomia tuotteita, tuotetta ei ole käytetty sille tarkoitettussa käyttökohteessa, tuotteen ylläpito laiminlyöty tai siivous on tehty väärin. Jos rakenteiden ja ilmanvaihdon suunnittelussa tai toteutuksessa on tapahtunut virheitä, niitä ei voida korjata käyttämällä vähäpäästöisiä materiaaleja saavutettaessa hyvää ja miellyttävää sisäilmaa. (Rakennustieto s.a; RT 07-11299, 3.1.)

M1-päästöluokitukseen kuuluvat seuraavat tuotteet:

**Rakennusmateriaalit** kuten, rakennuslevyt, maalit ja lakat, liimat, laastit ja tasoitteet sekä eristeet ja lattianpäällysteet.

**Tehdasvalmisteiset yhdistelmätuotteet** kuten ikkunat, ovet, siirtoseinät ja akustiikkalevyt.

**Kiintokalusteet** kuten keittiö- ja kylpyhuone kalusteet, kalusteovet ja työtasot.

**Pehmusteettomat irtokalusteet** kuten lipastot, hyllyt, kaapit ja työpöydät

**Pehmustetut ja pehmustamattomat työ- ja audiotuolit** (kangas- tai keinonahkapäällysteiset)

Sähkölaitteet, sisustustekstiilit, LVI-tuotteet tai urheiluvarusteet (kuten jalkapallo ym. -maalit, koripallokorit ym.) eivät kuulu rakennusmateriaalien päästöluokituksen. Ilmanvaihtotuotteille on oma ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokitus. (Rakennustieto s.a.)

Lasi, tiili, luonnonkivi, ja metalli, keraaminen laatta, sekä käsittelemättömästä männystä, kuusesta, koivusta ja haavasta tehdyt laudat ja hirret ovat luontaisesti vähäpäästöisiä. Sisäilmastoluokitus 2018 määrittää nämä M1-luokitettuihin tuotteisiin ja materiaaleihin. Näitä ei kuitenkaan saa markkinoida M1-luokiteltuina, jos niillä ei ole Rakennustiedon myöntämää M1-luokitusta. Käsittelemättömien puutuotteiden VOC-päästöt voivat uutena ylittää M1-luokan raja-arvot, mutta ajan mittaan päästöt tasaantuvat matalammalle tasolle. (Rakennustieto s.a.)

Suomalainen M1-luokitus on kattavampi mitä eurooppalaiset päästöluokitukset. Eurooppalaisissa luokituksissa on pääsääntöisesti vain formaldehydi ja VOC-päästöt, lisäksi käytetään eri mittaus- ja laskentamenetelmiä, joissa numeroarvoja ei voi vertailla. (Rakennustieto s.a.)

Näitä ovat: (mg/m<sup>3</sup>) tai (µg/m<sup>3</sup>), (mg/m<sup>2</sup>h) tai (µg/m<sup>2</sup>h), (mg/kpl\*h) tai (µg/kpl\*h), %-osuudet, ng/L, sekä pitoisuus ppm mg/m<sup>3</sup> -suureilla 8 tunnin ja 15 minuutin mittausajanjaksoille. (Harju ym. 2021, 23.) Taulukossa 6 on Suomalaiset vaatimukset M1- ja M2- luokituksille. Jos materiaali ei täytä M2- luokan kriteereitä se kuuluu M3- luokan päästöluokitukseen. Materiaaliyhdistelmän päästöluokka määräytyy huonoimman materiaalin mukaan siten, että jos M2- luokan pinta pinnoitetaan M1- luokan pinnoitteella, materiaali kuuluu luokkaan M2. (Rakennustieto s.a; RT 07-11299, 3.1.)

Taulukko 6. M1- ja M2 luokkien vaatimukset rakennusmateriaaleille (RT 07-11299.)

Tutkittavat ominaisuudet	M1 [mg/m <sup>2</sup> h]	M2 [mg/m <sup>2</sup> h]
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaisemissio. Yhdisteistä tunnistettava vähintään 70 %.	<0,2	<0,4
Yksittäinen VOC µg/m <sup>3</sup>	≤ EU-LCI	≤ EU-LCI
Formaldehydin (HCOH) emissio	<0,05	<0,125
Ammoniakin (NH <sub>3</sub> ) emissio	<0,03	<0,06
(EC) No 1272/2008-luokittelun mukaisten luokkaan 1A ja 1B kuuluvien CMR-yhdisteiden emissio <sup>1)</sup>	<0,005	<0,005
Hajun hyväksyttävyyys	+0,0	+0,0

<sup>1)</sup> ei koske formaldehydiä.

Laastit, tasoitteet ja silotteet eivät saa sisältää kaseiinia.

LCI-arvot µg/m<sup>3</sup>, (kts. [http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values\\_fi](http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_fi))

## 5.2 Allergiatunnus

Allergiatunnus on perustettu vuonna 1995. Tuotteet, joilla on allergiatunnus ei sisällä yleisesti herkistäviä tai ärsyttäviä aineita, hajusteita ja materiaaleja.

Lisäksi kemikaalien pitoisuudet tutkitaan, jolloin osa kemikaaleista on siedettyjä pitoisuuksien ollen alhaisia. Tunnuksen saaneet tuotteet täyttävät allergiakriteerit. allergiatunnuksen myöntää Allergia-, Iho-, ja Astmaliitto ry. Rakentamisessa merkin ovat saaneet joitakin lattiamateriaaleja, maaleja, rakennustarvikkeita, lähinnä sisäkattolevyjä, listoja, kattopaneeleja ja sisustuslevyjä. (Allergiatunnus s.a.)

### 5.3 Joutsenmerkki

Joutsenmerkki on pohjoismaiden virallinen ympäristömerkki, se on yksi maailman vaativimmista ympäristösertifikaateista. Pohjoismaiset asiantuntijaryhmät yhdessä laativat kriteereitä, käsittelevät lupahakemukia, myöntävät sertifikaatit ja valvovat merkin käyttöä. Joutsenmerkkiä hallinnoi Ympäristömerkintä suomi Oy, joka on Motivan tytäryhtiö. Motiva on valtion kestävän kehityksen yhtiö. (Joutsenmerkki 2020.)

Joutsenmerkityt tuotteet ja palvelut täyttävät tiukat ympäristövaatimukset, jossa otetaan huomioon elinkaariajattelu, materiaalien alkuperä, energiankulutus tuotannossa ja energiatehokkuus tuotteissa, sekä kemikaalien käyttö ja jätteiden synty kierrätyksen ja hävittämiseen koko elinkaaren ajan. Luonnon monimuotoisuudella on suuri painoarvo ja esimerkiksi puuta käytettäessä puuraaka-aine on oltava jäljitettävissä, valvotuista lähteistä ja 70 % puusta on sertifioidusta metsätaloudesta, sekä CE-merkittyä. Noin viiden vuoden välein joutsenmerkin kriteereitä tiukennetaan, koska esimerkiksi tekniikka, ympäristötieto ja markkinatilanne muuttuvat. Kriteerien tiukennettua, merkkiä pitää hakea uudestaan. (Joutsenmerkki 2020.)

Joutsenmerkin voi saada esimerkiksi WC- ja talouspaperit, huonekalut, vaatteet, siivousvälineet, puhdistusaineet, maalit, rakennusmateriaalit, rakennukset ja niin edelleen. Myös palvelut, kuten hotelli, autopesula, painolaitokset ja siivouspalvelut. Jotta voi saada joutsenmerkin sen on täytettävä tarkat kriteerit. Kriteereitä on yli 50 tuote- tai palveluryhmää. Suomessa on yli 15 000 joutsenmerkittyä tuotetta tai palvelua. (Joutsenmerkki 2020.)

Joutsenmerkin saaneiden tuotteiden kemikaalien haitallisuutta valvotaan tiukasti ja kriteerit ovat lainsäädäntöä tiukemmat. Sellaiset kemikaalit kielletään, joista ei ole riittävästi tietoa. Kaikessa arvioidaan terveellisyys, turvallisuus ja ympäristö, sekä tuote on kestävä ja käyttötarkoitukseen sopiva. Kiellettyjä ovat, syöpää aiheuttavat, mutageeniset, lisääntymiselle vaaralliset ja hormonoimintaa häiritsevät aineet. Myös herkistävät ja ympäristölle haitallisille aineille on hyvin tarkat vaatimukset. Jos aine hajoaa hyvin hitaasti

tai ei laisinkaan luonnossa se riittää rajoittamisen tai kiellettyjen aineiden listalle. (Joutsenmerkki 2020.)

Hajusteita ei tarvitse selvittää tuoteselosteissa niin tarkasti, mitä muita ainesosia, siksi ne ovat ongelmallisia. Joutsenmerkissä hajusteet ovat kiellettyjä monissa tuotteissa, mutta joissakin ne sallitaan, silloin kriteerit ovat hyvin tiukkoja. Tuoksuihin valitaan niitä aineita, joissa on mahdollisimman vähän herkistäviä ja haitallisia aineita. Lapsille suunnatuissa joutsenmerkki tuotteissa ovat vielä tiukemmat kriteerit, mitä muissa tuotteissa, koska lapset ovat herkempiä kemikaaleille, mitä aikuiset. (Joutsenmerkki 2020.)

Maalien, lakkojen ja puuöljyjen kriteereinä ovat laatu, kestävyys ja tehokkuus. Kemikaaleissa on tiukat vaatimukset aineille, jotka ovat syöpää aiheuttavia, perimää tai lisääntymistä vaurioittava. Kiellettyjä aineita ovat Ftalaatit sekä ongelmalliset aineet, jotka ovat EU:n ja kansallisten viranomaisten luokittelemat hormonihäiritsijät tai sellaisiksi epäillyt aineet. Rajoitettu haitallisten aineiden emissioita sekä suuren ilmastovaikutuksen raaka-aineista aiheutuvia kasvihuonepäästöjä kuten titaanioksidin ja sementin päästöjä. (Joutsenmerkki 2020.)

Kemiallisiin rakennustuotteisiin kuuluvat, koti- ja ammattikäyttöön tarkoitetut liimat ja ankkurimassat, saumamassat ja tasoitteet, sekä ulkomaalit. Joutsenmerkki kriteereinä ovat muun muassa, terveydelle ja ympäristölle haitallisille aineille tiukat rajoitukset, ilmakehään ja veteen vaikuttavat matalat päästöt, tuotteet ovat testatusti laadukkaita ja tehokkaita. (Joutsenmerkki 2020.)

Kestävälle puutavaralle kriteereinä ovat myrkyttömyys, kierrätettävyys, säänkestävyys on testattu hyväksi, sekä jätepalat voi polttaa normaalisti. Raskasmetalleja tai torjunta-aineita ei ole käytetty. (Joutsenmerkki 2020.)

Sisätilojen rakennuslevyille, listoille ja paneeleille kriteereinä ovat esimerkiksi, että kemikaalien ympäristö- ja terveysominaisuudet on huomioitu tuotteen valmistuksessa ja mahdollisessa pintakäsittelyssä. On asetettu raja-arvot formaldehydin ja liuottimien päästölle. Tuotteen koko elinkaaren ajan on

pienemmät ympäristö- ja ilmastovaikutukset, tuote täyttää kierrätykseen asetetut vaatimukset, edistäen kiertotaloutta. (Joutsenmerkki 2020.)

Julkisivupaneelit ja -levyt, joita käytetään rakennusten ulkoverhoukseen ja kalusteisiin, sekä korkeapainelaminaatit, ristiinliimatut massiivipuulevyt (CLT) sekä sementti- ja mineraalivillapohjaiset levyt, joiden päätarkoituksena ei ole lämmöneristys. Näiden kriteereinä ovat, että kemikaalien terveys- ja ympäristövaikutukset ovat huomioitu tuotteiden valmistuksessa ja pintakäsittelyssä, muun muassa palonestoaineiden ja antibakteeristen aineiden käyttö on kielletty. (Joutsenmerkki 2020.)

Lattianpäällyste ja alusmateriaaleihin kuuluvat puusta, korkista, bambusta, laminaatista, linoleumista ja PVC-vapaista tehdyt lattianpäällysteet ja alusmateriaalit sisäkäyttöön. Asetettu rajat formaldehydi- ja VOC-päästöille, huomioitu tuotannossa ja materiaalissa käytettyjen kemikaalien terveys- ja ympäristöominaisuudet, sekä viiden vuoden takuu ja korjausmahdollisuus. (Joutsenmerkki 2020.)

Ikkunoille ja ulko-oville on oma ryhmänsä, joihin kuuluvat lasista, puusta, muovista, ja/tai metallista tehdyt ikkunat ja ulko-ovet. Näissä huomiota on kiinnitetty energiatehokkuuteen, karmien, ikkunoiden ja ovien materiaaleihin sekä vaarallisiin aineisiin. Vaatimukset kemikaaleille, puunsuoja-aineille, muovin lisäaineille ja kierrätykselle. Sisäovet kuuluvat huonekalujen ja kalusteiden ryhmään (Joutsenmerkki 2020.)

Huonekalut ja kalusteet, joihin kuuluvat istuinkalusteet, sängyt, patjat, varastokalusteet, pöydät, tilanjakoseinäkkeet, liitutaulut, keittiö- ja kylpyhuonekalusteet, sekä myös sisäovet kuuluvat tähän ryhmään. Joutsenmerkki kriteereitä näille ovat tiukat rajoitukset muun muassa lisääntymiselle- ja syöpävaarallisille ja geneettistä perimää vaurioittaville aineille. Halogenoidut palonsuoja-aineet, fluoratut aineet, sekä antibakteeriset lisäaineet ja nanohiukkaset ovat kiellettyjä. Formaldehydin, VOC- päästöille, kemikaaleille ja materiaaleille on asetettu alhaiset raja-arvot esimerkiksi liimoille, pehmustusmateriaaleille, tekstiileille, puupohjaisille levyille ja laminaateille. (Joutsenmerkki 2020.)

Uudisrakennuksille voidaan myös hakea joutsenmerkkiä. toimisto-, opetus-, päiväkot-, asuinrakennukset, myös pien-, ja kerrostalot, palvelutalot, hoitolaitokset, terveyskeskukset sekä hotelli- ja kongressikeskukset kuuluvat tähän ryhmään. Kriteereinä näille ovat betonin ilmastovaikutuksen vähentäminen, kosteudenhallinta, päivänvalovaatimukset, haitallisille aineille altistuminen minimoitu, kemikaalien ympäristö- ja terveysominaisuudet huomioitu rakennusmateriaaleissa ja kemiallisissa rakennustuotteissa, vähähiilisyden ja alhaisen energiankulutuksen huomioiminen, rakennusmateriaalien materiaaliloki, rakennusprosessin valvonta ja luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen ja parantaminen rakennuspaikalla. (Joutsenmerkki 2020.)

Korjausrakentamiselle on omat joutsenmerkki kriteerit, niitä ovat muun muassa rakennuksen haitallisten aineiden kartoitus ja käsittely, rakennusmateriaalien ja kemiallisten rakennustuotteiden kemikaalien terveys- ja ympäristöominaisuudet otettu huomioon, olemassa olevien materiaalien ja rakenneosien uudelleen käytön kartoitus, materiaaliloki, purku- ja rakennusjätteen lajittelu, rakennusprosessin valvonta, sekä energian tarpeen vähentäminen verrattuna ennen korjausta, poissulkien suojellut rakennukset. (Joutsenmerkki 2020.)

#### **5.4 EU-ympäristömerkki**

EU-ympäristömerkki on virallinen, kansainvälinen ja laajasti tunnettu ympäristömerkki. Se on luotu vuonna 1992 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksella. Tuotteita on lähes 100 000, yli 20 tuoteryhmässä. Merkki on käytössä EU-maissa ja lisäksi Islannissa, Norjassa ja Liechtensteinissa. Jokainen maa, joissa merkki on käytössä, valvoo merkin käyttöä. Suomessa hallinnoi merkkiä Ympäristömerkintä Oy, joka on sama kuin Joutsenmerkissäkin. Merkki on vapaaehtoinen. (EU-ympäristömerkki s.a.)

EU-ympäristömerkki pyrkii vähentämään kulutuksen ja tuotannon negatiivisia vaikutuksia ympäristöön, terveyteen, ilmastoon ja luonnonvaroihin. Tuotteille, jotka täyttävät tiukat ympäristö-, turvallisuus- ja laatuvaatimukset voidaan myöntää EU-ympäristömerkki. Vaatimustaso on korkea ja tavoitteena on, että

vain 10–20 % markkinoilla olevista tuotteista voisi saada merkin. (EU-ympäristömerkki s.a.)

## 6 HUONEILMAN KOSTEUS

Asumisterveysasetuksessa ei ole määritelty tarkkoja rajoja sisäilman suhteelliselle kosteudelle RH (Asumisterveysasetus. 5 §). Hyvänä sisäilman suhteellisena ilmankosteutena pidetään 25–45 %. (Motiva 2023). Huoneilman suhteellinen kosteus vaihtelee vuodenaikojen, sään ja ihmisten tuottaman kosteuslisän vuoksi (suihkussa käynti, pyykin kuivatus, ruuan laitto ym.). Kesällä huoneilman suhteellinen kosteus vaihtelee yleensä 50–70 % ja talvella 20–40 % välillä. (Motiva 2023.)

Liian kuiva sisäilma aiheuttaa silmien, limakalvojen ja ihon kuivumista, sekä lisää tulehdusriskiä. (Motiva). Tulehdusriski nousee, koska hengitysteiden värekarvojen liike voi hidastua ja liman poistuminen hengitysteistä heikkenee kuivasta huoneilmasta. (Asumisterveysasetus, 5 §).

Sisäilma ei saisi pitkäkestoisesti olla liian kosteaa, se lisää mikrobikasvun riskiä ja voi vaurioittaa rakenteita ja pintoja, joista syntyy kosteusvaurio. Kosteuden lisäksi mikrobikasvuston syntyyn vaikuttavat lämpötila ja ravinnon määrä. (Asumisterveysasetus, 5 §.) Kosteusvaurion seurauksena rakennusmateriaaleista voi irrota haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisäilmaan. (Asumisterveysohje 2003, 21).

Ilmanvaihdon ja lämmityksen avulla, sekä käyttämällä hygroskooppisia materiaaleja voidaan pitää huoneilman laatu optimaalisella alueella. Materiaalit, jotka ovat hygroskooppisia luovuttavat ja sitovat itseensä kosteutta pyrkien tasapainokosteuteen ympäristön kanssa. Kosteuspuskuroinnin vuoksi materiaalit pitävät huoneilman kosteuden tasaisempina. Suunniteltaessa sisäilmajärjestelmiä voidaan hyödyntää kosteuspuskurointia laskelmissa. Tästä syystä voidaan koneellista ilmanvaihtoa pienentää ja säästyy energiaa tai vaihtoehtoisesti suunnitella painovoimainen ilmanvaihto. Puuinfo 2020a.)

## **7 PUU**

### **7.1 Diffuusioavoin rakenne**

Kansankielellä puhutaan ”hengittävästä rakenteesta” eli diffuusioavoin rakenne. Diffuusioavoin rakenne ei kuitenkaan tarkoita sitä, että rakenteen läpi olisi vapaata ilmavirtausta. Se on rakennusvirhe. Diffuusioavoin rakenne pitäisi aina olla ilmatiivis. Diffuusioavoin rakenne tarkoittaa ulkovaipan rakennetta, joka sallii sisäilman kaasujen osapaineen tasoittumisen diffuusiona lävitseen. Sitä ei tule myöskään sekoittaa materiaalien hygroskooppisuuteen ja kosteuspuskurointiin. (Puuinfo 2020b.)

Puun käytön sisäilma- ja terveysvaikutukset perustuvat ”hengittävässä rakenteessa” ilmanvaihdon lisäksi siihen, että rakenteen läpi pääsee sisäilman hiilidioksidi poistumaan ulos ja ulkoilman happi sisälle (Puuinfo 2020b.)

Suomen ilmastossa rakenteiden haasteena on vesihöyry. Vesihöyry on yksi ilmassa oleva kaasuseos, joka kulkeutuu diffuusion avulla rakenteen läpi pyrkien tasamaan ulko- ja sisäilman kosteuseroja. Vesihöyry liikkuu lämpimämmästä kylmempään ilmaan, suhteellisen kosteuden mukaan. Lämmittämättömissä rakennuksissa ilmavirtaus voi olla eri vuoden aikoina ulkoa sisälle päin tai vastaavasti sisältä ulos päin. Vesihöyry voi tiivistyä monikerroksisten rakenteiden rajapinnoille. Kerroksellisissa rakenteissa vesihöyryn kondensoituminen pitää estää höyrynsululla. Käytettäessä kerroksellista rakennetta ulkopuolinen tuulensuojan höyrynvastuksen tulisi olla viisi kertaa suurempi, mitä sisäpinnan höyrynvastuksen. Yksiaineisissa rakenteissa ei ole rajapintoja, joihin vesihöyry voisi tiivistyä. Esimerkiksi hirsi on yksiaineinen materiaali. (Puuinfo 2020b.)

### **7.2 Puun kosteusominaisuudet hygroskooppinen**

Puu on hygroskooppinen materiaali, joka pyrkii tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Eli puu luovuttaa ja sitoo itseensä kosteutta. Tätä voidaan kutsua kosteuspuskuroinniksi, näin puu tasaa sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluja ja huoneilman kosteus pysyy tasaisena. Huoneilman

kosteuden tasaisuus parantaa sisäilmanlaatua, lämpömukavuutta ja ilmanvaihdon tarpeen pienenemistä. (Puuinfo 2020a.)

Kosteuspuskurointiin vaikuttaa puulaji, syysuunta, kevät- ja kesäpuun määrä, uuteaineet, kasvunopeus, huokoskoko ja pintakäsittely. Tiheän puun puskurointikyky on huonompi mitä huokoisen puun. Puuinfo 2020a.)

Käsittelemättömällä puunpinnalla on parempi puskurointikyky kuin käsitellyllä pinnalla. Käsittelemättömän massiivipuu- ja hirsiseinän huoneilman kosteus saadaan hyvin pysymään suositusalueella 30 % - 60 % RH. (Siikainen 2016, 353.)

### **7.3 Puun uuteaineet**

Puussa on erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteitä), joita vapautuu sisäilmaan. Haihtuvien yhdisteiden määrään ja laatuun vaikuttavat puulaji, -osa, -materiaalin käsittely, varastointiaika ja -lämpötila. (Muilu-Mäkelä ym. 2014, 7.) Puun sisältämät haihtuvia uuteaineita ovat esimerkiksi terpeenit ja alkaanit. Ne ovat kokonaan tai osittain haihtuvia yhdisteitä. Puussa uuteaineina on hartsihappoja ja stilbeenejä, joista Stilbeenit toimivat lahonsuoja-aineina. Havupuiden terpeenejä ovat muun muassa monoterpeenit, joita esiintyy pihkatiehyissä. Havupuun tuoksu on monoterpeeneistä. Uuteaineidenpitoisuus on yleensä alle 5 % puun kuivapainosta, se vaihtelee puuyksilön, -lajin ja -osien välillä. Sydänpuussa, kuoressa, sisäoksissa, pihkatiehyissä ja ydinsäteiden varastosoluissa on suurimmat uuteaine pitoisuudet. Uuteaineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, fenolisiin-, alifaattiset- ja muut yhdisteet (taulukko 7). (Harju ym. 2021, 8.)

Taulukko 7. Puun orgaanisten uuteaineiden luokittelu (Harju ym. 2021, 8.)

FENOLISET YHDISTEET	ALIFAATTISET YHDISTEET	MUUT YHDISTEET
Yksinkertaiset fenolit	Terpeenit ja terpenoidit (sisältäen hartsihapot ja steroidit)	Sokerit
Stilpeenit	Rasvahappojen esterit (rasvat ja vahat)	Syklitolit
Lignaaniit	Rasvahapot	Tropolonit
Isoflavonit	Alkaanit	Aminohapot
Flavonoidit		Alkaloidit
Kondensoituneet tanniinit		Kumariinit
Hydrolysoituva tanniinit		Kinonit

Havupuiden terpeenit ovat suurin haihtuvien yhdisteiden ryhmä. Taulukossa 8 on lueteltu tarkemmin havu- ja lehtipuiden suurimmat haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Ilmakuivatussa männnyssä yleisimmät VOC-yhdisteet ovat  $\alpha$ -pineeni,  $\Delta^3$ -kareeni ja heksanaali, (Harju ym. 2021, 24.) josta  $\alpha$ -pineeniä on 40–47 % haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärästä (Muilu–Mäkelä ym. 2014, 7). Ilmakuivatussa kuudessa yleisimmät VOC-yhdisteet ovat d-limoneeni,  $\alpha$ -pineeni ja  $\beta$ -pineeni (Harju ym. 2021, 8–9, 24).

Taulukko 8. havu- ja lehtipuiden suurimmat haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Harju ym. 2021, 8, 23–24; Muilu–Mäkelä ym. 2014, 7.)

Havupuiden haihtuvat yhdisteet	Lehtipuiden haihtuvat yhdisteet
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terpeenit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ monoterpeenit: <math>\alpha</math>- ja <math>\beta</math>-pineeni, myrceeni, <math>\Delta^3</math>-kareenia ja limoneeni</li> <li>○ seskviterpeenit: isolongifoleeni, <math>\alpha</math>- qurjuneeni, <math>\alpha</math>- longipineeni, <math>\alpha</math>- copaeeni ja longifoleeni</li> <li>○ Korkeamman kiehumispisteen diterpeenit</li> </ul> </li> <li>• aldehydit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ formaldehydi,</li> <li>asetaldehydi,</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• karbonyyliyhdisteitä <ul style="list-style-type: none"> <li>○ aldehydit</li> <li>○ heksanaali</li> <li>○ pentanaali</li> </ul> </li> <li>• alkoholit</li> <li>• etikkahappo</li> </ul>

pentanaali ja heksanaali	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• sykliset aldehydit             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ furfuraali, ja bentsaldehydi</li> </ul> </li>   <li>• orgaaniset hapot             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ etikkahappo ja heksaanihappo</li> </ul> </li>   <li>• ketonit</li> <li>• alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt</li> <li>• esterit</li> <li>• eetterit</li> </ul>	

Männyn pintapuussa on pienemmät VOC- päästöt kuin sydänpuussa ja kuusen pintapuun VOC- päästöt ovat suuremmat kuin sydänpuussa. Männyn kokonaispäästöt ovat paljon korkeammat mitä kuusen. Havupuiden päästöt voivat olla yli satakertaa suurempia, mitä lehtipuiden päästöt. (Harju ym. 2021, 8–9, 24.)

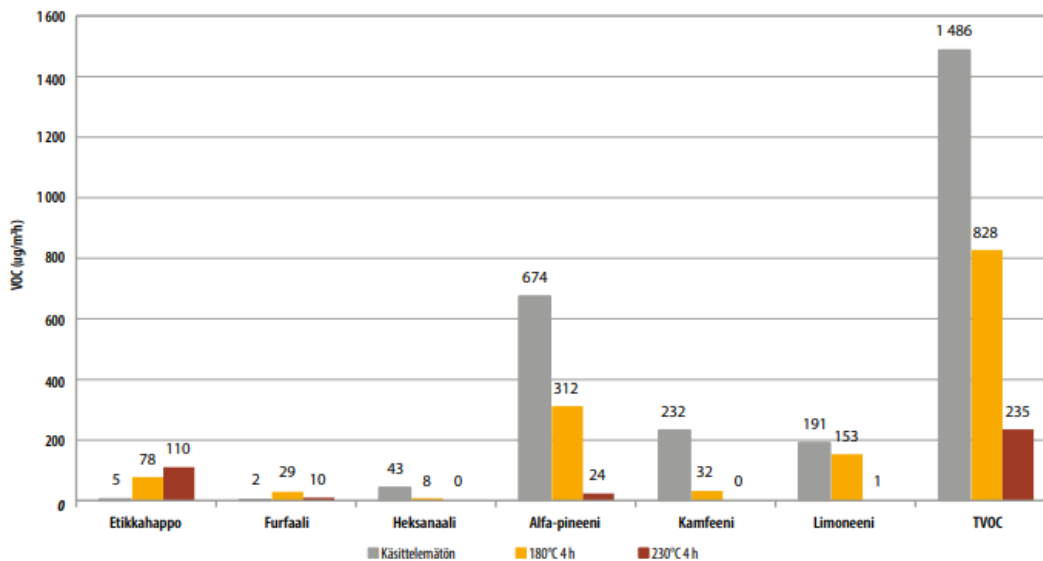
Puusta tehtyjen rakennusmateriaaleista ja kalusteista vapautuu erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteitä). Käsittelemättömän puun VOC-päästöt siirtyvät diffuusion avulla sisäilmaan materiaalin sisältä pinnalle, siirtyen suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen. Vaurioitumattomien materiaalien primääripäästöt voivat olla korkeita uutena, mutta pitoisuudet laskevat nopeasti. Tutkimuksessa, joka kesti 28 vuorokautta on huomattu, että sinä aikana pitoisuudet laskivat huomattavasti. Ympäröivät olosuhteet voivat vaurioittaa puun rakenneosia kemiallisesti ja fysiikallisesti, joista vapautuu hajoamistuotteita ilmaan eli sekundääripäästöjä. Myös materiaalin kuluminen, UV-säteily, otsoni, kosteus ja lämpö edistävät materiaalin hajoamista. Sekundääripäästöt ovat yleensä alhaisempia, tasaisempia, mutta pitkäaikaisempia, jopa monia vuosia. Päästöihin vaikuttavat muut yhdisteet sisäilmassa ja ilmanvaihto. (Harju ym. 2021, 23–24.)

Eri puumateriaaleja ja -tuotteita on tutkittu erilaisilla menetelmillä ja aineistoilla tuotteiden päästöjen määrästä ja koostumuksesta, näin ollen tutkimukset ja

tulokset eivät ole yksiselitteisiä tai helposti tulkittavia. Tutkittavien aineiston alkuperästä ei aina ole tietoa, minkä ikäisestä tuotteesta näyte on otettu, onko se suoraan metsästä, sahalta vai vaikka parkettitehtaalta. Myös näytteiden alkuperän merkitys vaikuttaa tulokseen, onko höylätystä-, jauhetusta-, lastuista vai sahatavarasta kerätty näyte, sekä näytteen sijainti rungossa. Vielä vaikeampaa on rakennuskohteissa olevien puumateriaalien päästöjen tutkiminen ympäröivän tilan muiden päästölähteiden vuoksi. Vielä ei ole sellaista määrittämis- tai mittausmenetelmää, joka pystyisi tunnistamaan kaikkia yhdisteitä tai joidenkin yhdisteiden pitoisuuksia määrittelemään luotettavasti. Puun ollessa hygroskooppinen materiaali sen päästöjen määrästä ja koostumuksesta ei ole mahdollista saada tarkkoja tutkimuksen tuloksia. Ympäristöolosuhteiden ilmankosteudella ja lämpötilalla, sekä varastointiajalla on merkitystä puun päästöjen pitoisuuksiin ja koostumuksiin. Lisäksi puun päästöihin vaikuttavat monet eri asiat kuten puuyksilöt, kasvupaikka ja eri puulajit. (Harju ym. 2021, 8–9, 23–25.)

#### **7.4 Puun lämpökäsittely/modifiointi**

Puu voidaan lämpökäsitellä, jolloin lämpökäsittely vähentää puun haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ja muuttaa niiden koostumusta. Varsinkin havupuiden monoterpeenien määrä vähenee merkittävästi, mutta lisää etikkahapon ja furfuraalin määrää. Nämä on hyvä huomioida käytettäessä puumateriaaleja herkistyneille tai allergisoiville ihmisille, koska puun VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa erilaisia ärsytysoireita. Kuvassa 8. on teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n tekemästä tutkimuksesta, jossa mitattiin emissioita lämpömodifioidusta ja käsittelemättömästä mäntylaudasta. Mittaukset on tehty mäntylaudasta, jotka ovat kaksi kuukautta vanhoja. Näytteet lämpömodifioitiin 4 tuntia 180°C ja 230°C lämpötiloissa. Lämpömodifioidun männyn haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaisemmat mitä käsittelemättömän männyn. TVOC pitoisuuksissa käsittelemättömän männyn pitoisuus oli suurin 1486 µg/m<sup>2</sup> h ja pienin 235 µg/m<sup>2</sup> h, 230°C lämpötilassa (Lahtela 2023, 29). Käsittelemättömän puun haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet laskevat ja koostumus muuttuu pitkällä aikavälillä, jolloin pitoisuudet tasoittuvat lämpömodifioidun puun kanssa (Harju ym. 2021, 30).



Kuva 8. Kaksi kuukautta vanhojen mäntynäytteiden haihtuvat orgaaniset yhdisteet. (Lahtela 2023, 29)

ThermoWood®- menetelmässä puu lämpökäsitellään eli lämpömodifioidaan käyttäen vesihöyryä ja korkeaa lämpötilaa 185°C - 212°C. Prosessissa ei lisätä puuhun mitään kemikaaleja. Kemikaalittomuus mahdollistaa puun kierrättämisen ja hävittämisen samoin kuin käsittämättömän puun, eikä siitä haihtu lisättyjä yhdisteitä. Lämpökäsitellyn puun kosteuseläminen pienenee, pihka poistuu puusta, puun lahon- ja säänkesto sekä lämmöneristysominaisuudet paranevat. Tuotteiden elinkari on pitkä. Lämpökäsittelyssä puun väri muuttuu tummemmaksi koko puukappaleen läpi. (Lahtela 2023, 29; Puuinfo c.)

Lämpökäsitelty puu ei ime kosteutta itseensä samalla tavalla kuin käsittämätön puu. Sen tasapainokosteus on jopa puolet alhaisempi, kuin lämpömodifioimattoman. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 90 % lämpömodifioimattoman puun tasapainokosteus on noin 23 %, lämpömodifioidun puun tasapainokosteuden ollessa noin 12 % tai alle. Puun tasapainokosteuden ylittäessä 20 % lahottajasienet aktivoituvat. Tällä on merkitystä pitkäikäisyyteen ja materiaalin terveellisyyteen, jolloin lahottajasienten haitalliset aineet eivät ole haitaksi. Jos puumateriaalilta halutaan sisäilman kosteuden tasausta, lämpömodifioitu puu ei ole siihen paras mahdollinen. Lämpökäsitellyn puun lämmönjohtavuus on alhaisempi kuin lämpökäsittelemättömän puun. Siksi se on hyvä materiaali esim. oviin, ikkunoihin, ulkoverhouksiin, saunan rakenteisiin ja -kalusteisiin. Lisäksi

lämpökäsitellyn puun käyttökohteet ovat sisätiloissa esimerkiksi lattiamateriaalit, listat, keittiökaapit ja huonekalut. Ulkotiloissa ulkoverhoukset, säleiköt, terassit, aidat ja puusepänteollisuuden tuotteet (kylpytynnyrit, tynnyrisaunat, kalusteet). ThermoWood® lämpökäsiteltäviä puulajeja ovat mänty, kuusi, koivu, haapa ja saarni. (Lahtela 2023, 25–29.)

## 7.5 Puun pintakäsittely

Puupinnan käsittelyn tarkoituksena on puupinnan ulkonäköön vaikuttaminen ja suojata puuta kosteudelta, kulutukselta, lialta ja auringon UV-säteilyltä. (Harju ym. 2021, 11.) Valitessa puun pintakäsittelyaineita tulee ottaa huomioon pintakäsittelyaineen ominaisuudet, jotka voivat muuttaa puun käyttäytymistä ja sen päästöjä. (Puuinfo 2020a.)

Pintakäsittelyaineet alentavat materiaalin kosteuden puskurointiominaisuuksia. Valittaessa pintakäsittelyainetta pitää kiinnittää huomiota sen höyrynläpäisevyyteen. Höyrynläpäisyvaste tulisi olla alhainen, jotta puskurointikyky säilyisi hyvänä. Pintakäsittelyaineen höyrynläpäisevyys tulee selvittää pintakäsittelyaineen valmistajalla, sitä ei yleensä ilmoiteta tuoteselosteessa. Lakalla tai lateksimaalauksella käsitellyn puun kosteuden puskurointikyky voi alentua jopa 50 %. Vesiohenteisella akrylaattimaalilla ei ole yhtä suuri vaikutus. (Puuinfo 2020a.)

Puun pintakäsittely vähentää tai estää puusta haihtuvat päästöt, mutta pintakäsittelyaine voi tuottaa enemmän päästöjä mitä puu itsessään. Käytettäessä sisätilojen puupinnassa lakkaa, maalia, öljyä tai vahaa, puupinnalle muodostuu kalvo, joka hidastaa kosteuden ja kaasujen siirtymistä ympäröivän ilman ja puun välillä, joka hidastaa myös puusta lähteviä päästöjä. Sisälakan haihtuvia yhdisteitä (tolueeni, etyylibentseeni, m,p-ksyleeni, o-ksyleeni) tutkimuksissa on huomattu, että pinnoitusalustalla on merkitystä lakasta irtoaviin VOC-päästöihin. Läpäisemättömästä alumiinilevystä haihtui 65 % enemmän VOC-päästöjä, mitä vanerilevystä ensimmäisen kymmenen tunnin aikana. Diffuusioprosessi vaikutti vanerin haihduntaan, hidastaen VOC-päästöjen haihtumisen. (Harju ym. 2021, 12, 26.)

Puun pintakäsittelyyn on erilaisia vaihtoehtoja, joihin vaikuttavat halutaanko ekologinen, luonnollinen, perinteinen vai teollinen pintakäsittelyaine.

**Ekologisen** tuotteen määritelmä on hyvin laaja. Siinä on otettava huomioon tuotteen koko elinkaari, mistä ja miten tuote valmistetaan/raaka-aine saadaan, valmistetaanko ulkomailla pitkien matkojen takana, vai lähellä, miten tuote tai aineosat kuljetetaan, säilyvyys, purkin kierrätys, tuotteen hävitys, käyttäjäturvallisuus, miten turvallinen aine on, irtoaako/liukeneeko tuotteesta kemikaaleja luontoon, huoltoväli ja uudelleen pinnoitus. Näitä kaikkia osaluokkia pitää miettiä tuotteen ekologisuutta ajatellen. (PuuProffa s.a.)

**Luonnollisesta** vaihtoehdosta puhuttaessa tuotteen raaka-aineet on saatu luonnosta, esimerkiksi pellavaöljymaali. Mutta kuitenkin useissa kaupallisissa luonnon tuotteissa on voitu lisänä käyttää synteettisiä yhdisteitä. (PuuProffa s.a.)

**Perinteinen** tuote tarkoittaa, että ainetta ja/tai tekniikkaa on käytetty vuosisatoja esimerkiksi punamultamaalaus, jolla on hyvin pitkät perinteet jo 1600-luvulta lähtien. (PuuProffa s.a.)

Teollinen tuote on valmiita jalostettuja tuotteita, joita ovat esimerkiksi öljymaalinkaltaisia, alkydi-, dispersio- eli lateksi-, reaktiomaaleja. Näissä raaka-aineet ovat synteettisiä eli keinotekoisia (PuuProffa s.a.)

Itsevalmistettavia maaleja ovat:

**Keittomaali** on perinteinen, luonnonmukainen ja ekologinen maalityyppi. Sen valmistusaineita ovat pellavaöljy, vehnä- tai ruisjauho, vesi ja pigmenttijauhe. Maalauskohteita ovat asuin- ja piharakennuksien sahapinnat, hirsirakenteet, kuluneet puupinnat ja huonekalut. Huonekalujen pinnalle suositellaan vahausmaalin kuivumisen jälkeen. (PuuProffa s.a.)

**Kaseiinimaalin** valmistukseen käytetään vettä, kaseiinijauhetta, soodaa tai booraksia, pellava- tai soijaöljyä. Kaseiinia saadaan maidon herasta tai kananmunasta. Voidaan maalata puu- rappaus- ja tasoitepintoja, kuitulevyjä, tapettia ynnä muille sisäpinnoille. (PuuProffa s.a.)

**Munatemperamaali** on yksi vanhimmista maalityypeistä, jolla voidaan maalata huonekaluja, sekä lasia. Valmistusaineena käytetään kananmunan keltuaista, pellava-, soija-, tai standöljyä (paksua pellavaöljyä), vettä, tarvittaessa liivatelehteä. (PuuProffa s.a.)

**Liimamaalit** valmistetaan vedestä, liitujauhosta, nahkaliimasta (jäniksen nahat, luut ja rustot). Maalia käytetään sisäkatoissa, huonekaluissa, sekä entisöinti- ja restaurointitöissä. (PuuProffa s.a.)

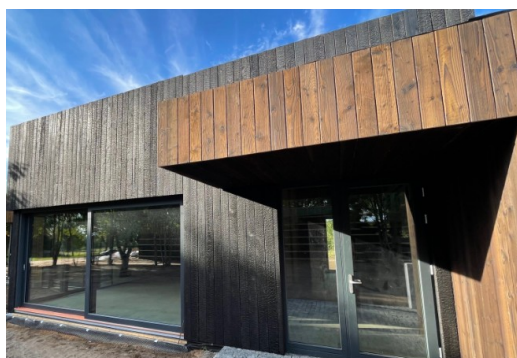
**Kahvilla ja teellä** voidaan myös puu pintakäsitellä, jolloin uudesta puupinnasta tulee vanhan näköinen. (Hiltunen, K-M 2017)

**Terva** valmistetaan mäntypuutärpätistä, tervasta, ja pellavaöljyvernissasta tai hamppu- tai kiinanpuuöljystä. voidaan käyttää puun tai aikaisemmin tervatun puun suojaamiseen ja kyllästämiseen ulkona. Kuten hirsirakennukset, laiturit, ulkokalusteet, veneet ja joissain tapauksissa sisätiloissa. (PuuProffa s.a.)

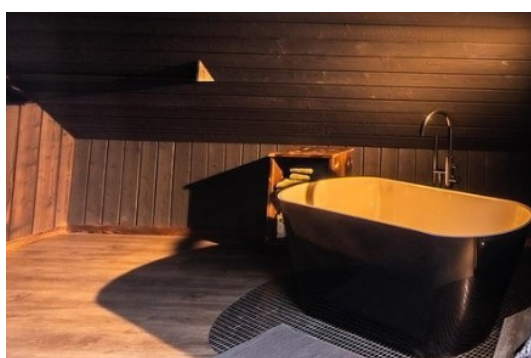
**Suopakäsittely** käytetään rasvaista pellavaöljysuopaa ja vettä. puulattiat ja -huonekalut joissa on tasainen pinta. (Rakennuskulttuuritalo Toivo s.a.)

**Maitokäsittelyä** voidaan käyttää maalaamattomassa puulattiassa, johon levitetään rasvatonta maitoa tai piimää. (Rakennuskulttuuritalo Toivo s.a.)

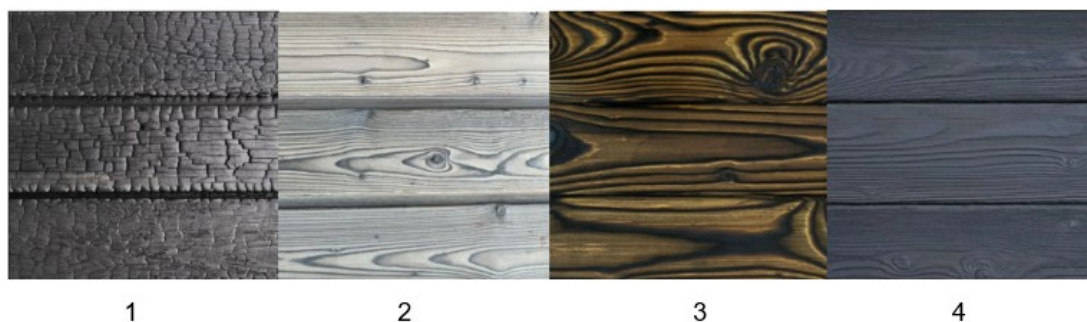
Puupintaa polttamalla saadaan pinta, joka kestää aikaa ja kulutusta. Se suojaa säältä, hyönteisiltä ja lahottajilta. Sopii huonekalujen, lattioihin ja seinäpaneeleihin niin ulkona kuin sisällä. Lisäksi käyttökohteita voivat olla esimerkiksi keittiön kalusteet tai pintamateriaali saarekkeessa tai ruokapöydässä, saunan lauteissa tai- seinissä. Poltettu pinta voidaan viimeistellä vesipohjaisella puuöljyllä. Kuvassa 9. on käytetty kahta erilaista ulkoverhouspaneelia ja kuvassa 10. on käytetty sisäverhouspaneelia ja lattiakylpyhuoneessa, joka on polttamalla käsitelty. Kuvassa 11. on hiilletty ulkoverhouspaneeli kuusesta ja lehtikuusesta, sekä aitalauta kusesta ja lehtikuusesta. (Malimet Oy 2024.)



Kuva 9. ulkoverhous (Malimet Oy 2024)



kuva 10. sisäverhous (Malimet Oy 2024)

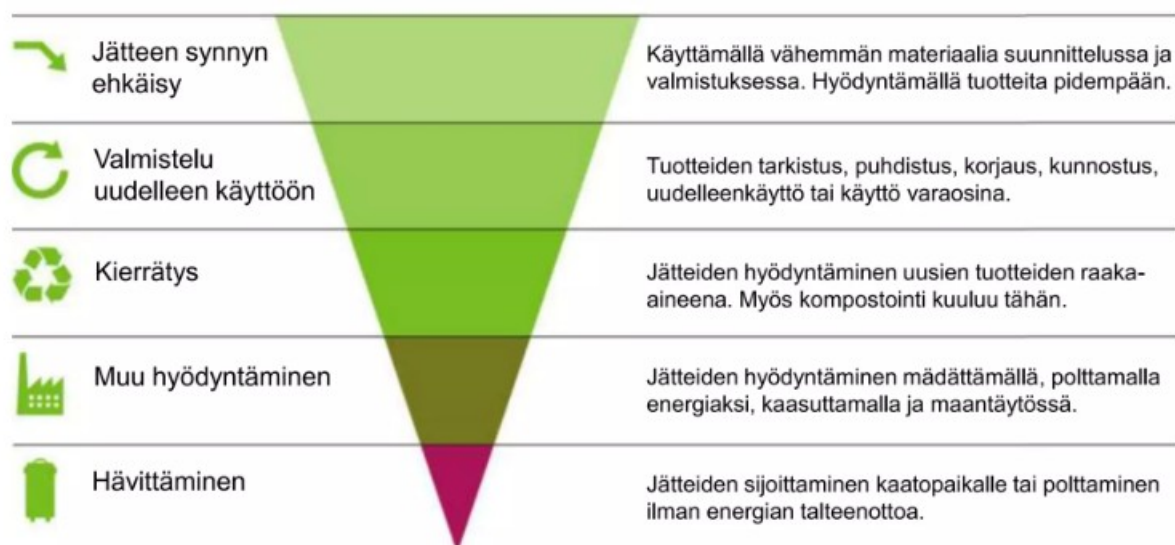


Kuva 11. ulkoverhouspaneeli 1. kuusi ja 2. lehtikuusi, sekä aitalauta 3. kuusi ja 4. lehtikuusi (Malimet Oy 2024)

Kaikkia tuotteita voidaan käyttää myös sisätiloissa niiden myrkyttömyyden takia. (Malimet Oy 2024.)

## 7.6 Kierrätyspuun käyttö rakennusmateriaalina

Kiertotalous on tulevaisuutta, se hillitsee ilmastokriisiä, luontokatoa, luonnonvarojen ylikulutusta. Kiertotalouden tarkoitus on, että tuotteet ja materiaalit ovat käytössä pitkään ja turvallisesti. Se ei ole vain kierrättämistä, vaan lisäksi korjaamista, jakamista ja vuokrapalveluja. Vuoteen 2035 mennessä tavoitteena on hiilineutraali kiertotalousyhteiskunta. (Ympäristöministeriö 2021, 2–3.) Jätehierarkian tavoitteena on, että vähennetään jätteen määrää, haitallisuutta, vaarallisten aineiden pitoisuutta, edistää tuotteiden korjausta ja uudelleenkäyttöä heikentämättä laatua ja turvallisuutta, tukea kestäviä tuotanto- ja kulutusmalleja, jotta jätettä tulisi mahdollisimman vähän. Kuva 12. kuvaus jätehierarkiasta.



Kuva 12. Jätehierarkian kuvaus (Lassila & Tikanoja 2015)

Euroopan unionin Direktiivi 2008/98/EY mukaan jätehierarkian kuvaus.

1. Ehkäistään toimenpiteillä, että aineista, materiaaleista ja tuotteista ei tulisi jätettä pidentämällä käyttöikä, vähentämällä jätteiden haittavaikutuksia ympäristölle ja ihmisille, sekä vähentämällä vaarallisten aineiden pitoisuuksia materiaaleissa ja tuotteissa.
2. uudelleenkäytön valmistelu, joko samaan tai muuhun tarkoitukseen puhdistamalla, tarkistamalla tai korjaamalla tuotteet tai niiden osat, joista on tullut jätettä.
3. Kierrätys, jossa jätemateriaali käsitellään tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi.
4. jätteen hyödyntäminen esimerkiksi energiaksi tai jokin muu toimenpide, jolla voidaan korvata muita materiaaleja jätteellä.
5. Loppukäsittely esimerkiksi kaatopaikalle.

Vaarallisille jätteille, öljyille ja biojätteelle ovat omat erityiset vaatimukset.

Rakennus- ja purkujätteelle on asetettu tavoite, jossa 70 % olisi kierrätettyä tai hyödynnettyä jätettä vuoteen 2020 mennessä. (Euroopan unionin jätehuoltolaki, Direktiivi 2008/98/EY.)

Rakennusmateriaalien valmistuksen hiilijalanjälkeen ja kierrätykseen kiinnitetään nykypäivänä enemmän huomiota. Yksiaineisena materiaalina hirsi on hiiltä sitova koko elinkaarensa ajan. Hirsi ja rankarakenteisten runkojen pitkäikäisyys, valmistukseen käytetty vähäinen energia ja hiiltä sitova ominaisuus tekevät niistä kiertotalouden supertuotteen. (Puuinfo 2022e.)

Hirsitalojen kierrätystä on ollut vuosisatojen ajan, niitä on purettu, siirretty ja uudelleen pystytetty, joko sellaisenaan tai alkuperäisestä poikkeavana kehikkona. Hirsirakennuksen osia voidaan kierrättää monipuolisesti, tehokkaasti ja jopa moneen kertaan. Tulevaisuudessa myös CLT- runkoiset rakennukset voidaan kierrättää. Puuikkunat ja -ovet, voidaan käyttää uudelleen, mutta nykyiset energiatehokkuusmääräykset tuovat omat haasteensa vanhojen hirsien ja ikkunoiden kierrätykselle, sillä ne eivät yleensä täytä nykypäivän määräyksiä. Lisäksi voidaan kierrättää lattialaudat, kattorakenteet, väliseinätolpat, rakennuslevyt (lastulevyt ja vanerit) sekä kiintokalusteet (keittiö ja muut kaapit) Kierrätettyä puutavaraa voidaan käyttää lattioissa ja sisäverhouksissa. Kantavissa rakenteissa ei voida käyttää

kierrätyspuuta, koska kierrätyspuulle ei ole lujuusluokituksia, joita vaaditaan kantaviin rakenteisiin. (Puuinfo 2022e; Harju ym. 2021, 13.)

Puun käydessä useita kosteusvaihteluiden syklejä sen koostumus muuttuu ja VOC-päästöt pienenevät. Vanha tai kierrätetty puu on vähäpäästöisempää ja yhdisteiden koostumus on eri mitä tuoreen puun päästöt. Tutkimuksessa, jossa mäntyinen kierrätyspuu on ollut noin 15 vuotta sisätiloissa ja altistunut kosteusvaihtelusykleille on neitsellistä mäntypuutavara vähäpäästöisempää. (Harju ym. 2021, 13.)

Kierrätyspuun käyttöä rajoittavat kemikaalit ja epäpuhtaudet, jotka voivat vaikuttaa kierrätyspuun koostumukseen ja laatuun haitallisesti esimerkiksi siihen käytetyt kyllästys-, kosteuden-, palonsuoja-aineet ja pinnoitteet. Rakennuksiin käytetyistä kierrätystuotteista voi irrota VOC-päästöjä, joita voi tulla puusta itsestään ja siihen käytetyistä puunsuoja-aineista ja niiden jäämistä, sideaineista ja pinnoitteista, ne voivat aiheuttaa terveysriskin asukkaille. (Harju ym. 2021, 13.)

## **7.7 Puun terveyshaitat ja vaikutukset terveyteen**

Puusta eri haihtuvien yhdisteiden haittavaikutuksia ei ole kattavasti tutkittu, joista voisi varmuudella todeta niiden haitta- ja terveysvaikutuksia. Yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa on pieni, ettei puunkäytölle ole esteitä, kuin erityisryhmillä, joita voivat olla astmaatikon, allergiset. Puuvalinnoilla ja puunkäsittelyillä voidaan vaikuttaa päästöihin. (Harju ym. 2021, 23.)

Tutkimuksissa on todettu monoterpeeneillä olevan ärsytysvaikutuksia iholla ja limakalvoilla, jolloin se saattaa aiheuttaa kontakti-ihottumaa. Monoterpeenien kuuluvan d-limoneeni on hajusteallergeeni, sekä sen hapettumistuotteet voivat aiheuttaa kontaktiallergiaa. Sitä käytetään hajusteena ilmanraikastimissa ja siivousaineissa, se reagoi otsonin kanssa synnyttäen ultrapieniä hiukkasia.  $\beta$ -myrseeni voi aiheuttaa astmaa tai allergista nuhaa. Männyn VOC-päästöistä ei ole todettu terveillä koehenkilöillä ihoärsytystä, keuhkojen toiminnan häiriöitä tai yleisoireita, kun taas toisessa, eri henkilöillä tehdyissä tutkimuksissa on havaittu koehenkilöiden saaneen ärsytystä limakalvoilla. Männyn ja kuusen hahtuvien terpeenien pitoisuus sisäilmassa on kuitenkin

suhteellisen pieni, jolloin sen hengitys ei ole vaarallista. Puutuotteiden terpeenien hapettumisreaktioketjusta syntyvä aldehydeihin kuuluva formaldehydi aiheuttaa voimakasta ärsytystä. IARC kansainvälinen syöpien tutkimussäätiö on todennut formaldehydin syöpää aiheuttavaksi yhdisteeksi koe-eläin tutkimuksissa. (Harju ym. 2021, 27–29.) Saksassa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että OSB- ja puupaneeleissa terpeni- ja aldehydipitoisuudet eivät aiheuta keuhkosolujen elävyydessä tai DNA:n hajoamisessa muutoksia (Muilu-Mäkelä 2014, 7). Asiantuntijat eivät osaa antaa puun VOC-päästöille ohjearvoja, niiden asettamiseksi tarvitaan sisäilman koostumuksesta laaja-alaista tietoa, kemiallisista reaktioista, yhdisteiden myrkyllisyydestä ja niiden haittavaikutuksista, sekä mittausten ja tulosten käsittelyyn hyvät tilastolliset ja analyttiset menetelmät. Myös poliittiset yksimielisyydet vaikuttavat säädöksille. (Harju ym. 2021,28.)

Monoterpeeneihin kuuluvilla  $\alpha$ -pineenin ja d-limoneenin on todettu alentavan sydämen lyöntitiheyttä, sekä sillä olevan rentouttava vaikutus. Lisäksi on todettu niiden ehkäisevän kasvainten kasvua, sekä ehkäisevän tai laimentavan tulehduksia ja mikrobien kasvua. Erityisesti Escherichia coli-bakteerin ja Streptococcus pneumoniaen kasvua pystyttiin estämään käyttämällä männyn pinta- ja sydänpuusta tehdyllä puujauholla. Jotta  $\alpha$ -pineeniä ja d-limoneenia voitaisiin käyttää lääkeaineina, se vaatii lisää tutkimuksia. Elintarvikkeissa limoneenia käytetään aromiaineena. (Harju ym. 2021, 28–29.)

Puu mielletään lämpimäksi, mukavaksi ja rauhoittavaksi materiaaliksi. Käytettäessä puuta sisustuksessa sillä on huomattu vaikutuksia, jotka alentavat stressiä, verenpainetta, sydämen sykettä ja ihon sähkönjohtokykyä. Puun on todettu parantavan unen laatua ja fysiologista palautumista. Hyvien akustisten ominaisuuksien vuoksi se estää kaikumista ollen hyvä materiaali julkisiin tiloihin, kuten kouluihin ja päiväkoteihin. Vanhainkodeissa on huomattu, että vanhusten sosiaalisuus on lisääntynyt ja ympäristön huomioimisen kyky parantunut puumateriaalien käyttöönnotolla. Puun ollessa hygroskooppinen materiaali sen lämmön- ja kosteustasojen tasaaminen koetaan miellyttävänä tuntemuksena. (Muilu-Mäkelä 2014, 8–9.)

## 8 VAIHTOEHTOISET TUOTTEET KEMIKAALEJA SISÄLTÄVILLE TUOTTEILLE

Ligniini on kasviperäinen polymeeri, jota on kasvien soluseinämässä. Puun ligniini pitoisuus on 20–30 % prosenttia. Se sitoo toisiinsa selluloosan ja hemiselluloosan ja antaa puulle jäykkyyden ja lahonkeston. (StoraEnso s.a.) Ligniiniä tulee sellu- ja biojalostusteollisuuden sivutuotteena, josta vain 2–5 % hyödynnetään ja loppu poltetaan energiaksi (Kemiamedia 2022) .

Ligniini on uusiutuva, biopohjainen ja fossiiliton raaka-aine. Se on monikäyttöinen materiaali, jota voidaan käyttää rakennus-, pinnoite-, muovi-, auto-, ja lääketeollisuuteen. Sillä voidaan korvata OSB-levyn, LVL-viilupuun, vanerin, paperilaminaatin ja eristemateriaalien käytetyn fossiilipohjaisia fenolihartseja, joita käytetään liimoissa. Ligniiniä voidaan käyttää väriaineiden valmistukseen, sideaineena lasi- ja mineraalivillaeristeissä, bitumin korvaamiseen asfaltissa, kovahiilenä akkuihin ja komposiiteissa (StoraEnso s.a; UPM 2019.), sekä palonsuoja-aineeksi tulenkestävän liiman vuoksi (Kemiamedia 2022). Puunsuojana ligniini on myrkytön, hyvin kulutusta kestävä, hengittävä, erittäin hyvät UV-säteilyltä suojaavat ja antibakteeriset vaikutukset, sekä puun pinnan karheus säilyy. (Puuinfo 2021.)

Vanerituotteiden liimoista on voitu korvata ligniinillä noin 20–30 % fenolista. Aalto-yliopistossa on tehty tutkimuksia ja kehitetty biopohjainen liima, jossa voisi käyttää yli 90 % ligniiniä, nykyisen 20–30 % sijaan. Puhdistettu voimalaitos ligniini on nopea ja tehokas liiman valmistusprosessi, ollen tehokas, nopea ja ympäristöystävällisempi. Sivutuotteena syntyy suolaa ja natriumhydroksidia, joka on lipeää. Aiemmin ligniinin hyödyntäminen liimoissa ja komposiiteissa ilman formaldehydia on vaatinut runsaasti kemikaaleja ja energiaa käytäviä esikäsitteilyjä. (Kemiamedia 2022.)

## 9 LASI

Lasi valmistetaan silikaattimineraaleista, joka on kivimateriaali, lasin pääraaka-aine on kvartsi (piioksidi). Tasolasin raaka-aineita ovat kvartsihiekkä 55–60 %, dolomiitti 13–18 %, kalkki 2–6 %, maasälpä 2–6 %, ja 0–2 % muita aineita, joita voivat olla potaska, rautaoksidi ja hiili. Lasityyppejä on monia

erilaisia käyttöominaisuuksien mukaan. Tässä työssä käyn läpi rakentamisen kannalta keskeisimmät lasityypit läpi. (Siikainen & Siikainen 2023, 272.)

Lankalasi valmistetaan valssaamalla kahden valssin läpi, lasien väliin laitetaan metalliverkko vahvikkeeksi. Lankalasi estää sirpaleiden putoamisen, mikä vähentää lisävahinkoja rikkoutumistilanteissa ja lisää palonkestävyyttä. Sitä käytetään ehkäisemään pirstoutumista, murtoja ja paloja vastaan. Pinta on sileä, kuvioitu tai raakalaspintainen. (Siikainen & Siikainen 2023, 278.)

Lasitiilet valetaan ja puristetaan suorakaiteen, neliön tai pyöreän muotoisiksi, voivat olla kirkkaita tai värillisiä, sekä sileitä tai kuvioituja. Ne voivat olla täyslasisia tai onttoja, ontot ovat lämmöneristävyydeltään parempia, kuin täyslasiset, sekä välitilaan ei kehity kondenssia. Lasitiiliä voi käyttää sisällä ja ulkona, lattioissa, seinissä, laajoina pintoina ja valoa läpäisevinä yksityiskohtina. (Siikainen & Siikainen 2023, 280.)

Eristyslasisissa on kaksi tai useampia laseja, jotka ovat suljettu ilmatiivisti elastisten massojen ja listojen avulla elementiksi. Eristyslasin välitilassa voi olla ilmaa, xenon-, tai kryptonkaasua, jotka parantavat lämmöneristävyyttä. (Siikainen & Siikainen 2023, 281–282.)

Selektiivilasi (Low E- tai LE-lasi) on pinnoitettu matalaemisiviteettisellä pinnoitteella. Sillä on parempi lämmöneristävyys kuin tavallisella lasilla, koska auringon lämpösäteily läpäisee lasin hyvin, mutta sisältä ulospäin pyrkivä lämpösäteily heijastuu takaisin sisälle. Selektiivilasia käytetään eristys-elementeissä, välitilassa käytetään usein jalokaasua lämmöneristävyyttä tehostaen. Kaksilasinen selektiivilasi vastaa kolmilasista eristyslaselementtiä. Sen valonläpäisy on lasien lukumäärän mukaan noin 70–75 % verrattuna tavalliseen kirkkaaseen lasiin. Selektiivinen pinnoite voidaan tehdä on- tai off-line menetelmällä. On-line menetelmä on pinnoite lasille, joka laitetaan lasinvalmistuksen yhteydessä, jolloin saadaan kova ja kestävä metallinen pinnoite. Sillä saadaan lasin pinnalle auringonvalta suojaava heijastavapinnoite tai väriltään neutraali selektiivilasi. Off-line menetelmässä lasi pinnoitetaan erityisessä tyhjiöprosessissa lasin valmistuksen jälkeen. Pinnoite voi koostua monista eri kerroksista, jolloin lasille saadaan useampia eri haluttuja ominaisuuksia, vaikuttaen valon- ja

lämpöenergian läpäisyyn, optisiin ominaisuuksiin ja emissiivisyyteen. Eri tavoin valoa heijastavien ja eriväristen, sekä selektiivisyydeltään erilaisten off-line pinnoitteiden valikoima on hyvin laaja. (Siikainen & Siikainen 2023, 282–283, 287.)

Sähkölämmitteinen ikkunan sisimmäinen lasi on pinnoitettu sähköä johtavalla pinnoitteella, kun siihen johdetaan sähkö, lasi toimii lämmittävänä elementtinä. Lämmitettävä lasi on tehokas kylmäsaiteilyn ja kylmän ilman konvektion poistoon, sekä voi toimia lumensulatukseen lasikatteissa. (Siikainen & Siikainen 2023, 288–289.)

Julkisivulasi on yleisnimitys laseille, joita käytetään rakennusten verhouksessa, lasit ovat laminoituja tai karkaistuja. Lasit voivat olla maalattuja, laminoituja tai auringonsuojalasisia. absorboiva auringonsuojalasi kerää auringon lämpösäteilyn itseensä ja lämpö poistuu tuulen aiheuttaman ilmavirran mukana pois lasipinnalta. (Siikainen & Siikainen 2023, 285.)

BIPV-lasit (building-integrated photovoltaics) ovat lasisia aurinkokeräimiä, joita voi olla rakennusten muun muassa julkisivuissa, ikkunoissa ja kattoikkunoissa, joissa on läpinäkyviä laseja (Pilkington s.a.).

Lasi on pitkäikäinen tuote, kesto rakennuksissa on yli 40 vuotta ja huolto on vähäistä. Lasi on melkein kokonaan kierrätettävissä, poissulkien kuumuutta kestävä borosilikaattilasi. Lasivillan valmistukseen käytetystä raaka-aineesta noin 80 % on kierrätyslasia. Kierrätyslasin käyttö lasinvalmistuksessa kuluttaa noin 30 % vähemmän energiaa kuin neitseellisistä raaka-aineista valmistettu lasi. Lasista ei haihdu ympäristöön haitallisia päästöjä ja näin ollen se on turvallinen ja hyvä valinta jos materiaalilta vaaditaan vähäpäästöisyyttä. Käytettäessä hyvää ja modernia lasiteknologiaa voidaan parantaa lämpöolosuhteita sisätiloissa ja säästää energiankulutusta. Energiatehokkaita lasitusratkaisuja ovat eristyslasit, joissa U-arvo on alle 0,7, sähkölämmitteiset lasit, monitoimi- ja auringonsuojalasisit, on-off-lasit, sähkökromaattiset lasit, BIPV, kaksoisjulkisivu ja parvekelasitukset. (Siikainen & Siikainen 2023, 293.)

## 10 SAVI

Savi on yksi vanhimmista rakennusaineista, mutta Suomessa sitä ei hyödynnetä juuri laisinkaan rakennusaineena ammattirakentamisessa. Mutta nykyään saven käyttöä on alettu hyödyntämään enemmän rakentamisessa. Savimateriaalia löytyy luonnosta ilmaiseksi, savi on turvallinen, sillä se ei sisällä, eikä siitä irtoa haitallisia yhdisteitä, ei pala ja on paloturvallinen ja eristää ääntä hyvin. Sopii hyvin puun kanssa käytettäväksi, saven ollessa hapan se suojaa puuta lahottajasieniltä. Se on hygroskooppinen materiaali, joka luovuttaa ja sitoo itseensä kosteutta. Savi täyttää nykyaikaiset lujuus-, energia- ja terveellisyyskriteerit. (Rinne 2018, 57–61.)

Savi sisältää savea, hiekkaa ja kuitua. Ennen vanhaan kuidut olivat niistä raaka-aineista, joita sattui olemaan tarjolla esimerkiksi pellavanvarsien pienet pätkät, olki, eläinten karvat, lanta, ruohosilppu, sanomalehti ja sahanpuru. Nykyään kuituja voi olla sahanpuru, olki, hiekka, sekä kuituja, joita on aina käytetty. Savirappauksen pohjalle yleensä laitetaan ruokolevy. (Westermarc ym. 1998, 32–35; Rinne 2018, 57–61.)

Erilaisia savi runkomateriaaleja ja työstettyjä tapoja voivat olla: massiivisavirakentaminen, jossa savi juntataan muottien välissä seinäksi. Kevytsavirakentaminen, jossa saveen lisätään olkea, sekä olkipaalit kootaan rungoksi ja ne rapataan savella. Pölkky-savi, jossa puupölkkyjä muurataan savilaastilla. Savirappaus voidaan tehdä väli-, sisä- ja ulkoseiniin, lattiaan, kattoon sekä ala- ja välipohjiin. (Rinne 2018, 58–61.)

ECOSAFE-hankkeissa, jossa tutkittiin perinteisen ja savetettua kutterilastun eri ominaisuuksia. Siinä tutkittiin palo- ja akustiikka ominaisuuksien, hiilijalanjäljen, mikrobiologisen toiminnan ja rakennusfysikaalisia mittauksia, erityisesti mikrobien toimintaa rakenteissa, joissa on käytetty savetettua kutterilastua. Tutkimuksen mukaan savetettu kutterilastu hillitsi homeenkasvua sekä yleisten Aox-homeiden kasvua, jotka ovat resistenttejä homeenestoaineille. Muun muassa aox-homeet emittoivat ihmisille haitallisia TVOC-yhdisteitä. Mikrobien toiminta kosteissa materiaaleissa voi aiheuttaa ihmisille haitallisia aineenvaihduntatuotteita kuten haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteitä), rikkivety- ja syanidikaasuja. Tutkimuksen

mittaukset tehtiin suljetuissa mittauskammioissa, joissa näytteet kostutettiin ja vertailtiin kutteri ja savetettukutteri näytteitä keskenään. Savetetulla kutterilla havaittiin olevan alhaisemmat TVOC- pitoisuudet mitä perinteisen kutterin. Joten savituotteilla voidaan toteuttaa nykyistä turvallisempia rakenteita mikrobiologisesti. (Rakennusfysiikka 2023, 273–274.)

## 11 PÄÄTELMÄT

Koska ”sisäilmasairaus” on tieteellisesti vaikeasti tunnistettavissa, oirekuvat ovat hyvin moninaisia ja yksilöllisiä, sen todentaminen on erittäin haastavaa. Ongelman ratkaisemiseksi tarvitaan lisää monipuolisia ja -tahoisia asiantuntijoita, tutkimuksia ja toimenpiteitä, jotta voidaan kehittää tehokkaita ratkaisuja ja toimenpiteitä. On tärkeää, että olisi yhteistyötoimintaa tutkijoiden, lääkäreiden, insinöörien ja ympäristöasiantuntijoiden kanssa.

Rakennus materiaalien valinta on erittäin haastavaa ja aika vievää. Koska jokainen ihminen on yksilö ja jokaisella on oma herkkyytensä, ei voida päätellä tai todentaa, että jokin tietty materiaali sopisi kaikille. Käytettäessä mahdollisimman yksinkertaisia ratkaisuja ja materiaalien ja eri raaka-aineiden määrää säätelemällä voidaan mahdollisia altistavia materiaaleja tai aineita minimoida. Materiaalien valinnassa voi hyödyntää ympäristö ja terveystietoa, joilla on tarkat kriteerit erilaisille aineille, kemikaaleille, kestävyydelle ja ympäristövaikutuksille. Eri materiaaleja kokeilemalla voi todentaa itselle sopivat materiaalit. Materiaalit olisi hyvä ottaa yksitellen kokeiluun sellaiseen tilaan, jossa ei koe haittavaikutuksia.

Eri-asteisten kemikaalien yhteisvaikutukset, vanhenemisprosessi ja vaurioitumisen seurauksena syntyvät emissiot olisi hyvä huomioida materiaaleja ja tarvikkeita valitessa. Käytettäessä niin sanottua samaa tuoteperhettä ja yhteensopivia materiaaleja, voidaan materiaalien yhteensopivuus todentaa ja näin vähentää materiaalien vaurioitumista. Yhteensopivat materiaalit toimivat yhdessä paremmin, mikä vähentää kulumisen ja vahingoittumisen riskiä.

Myös materiaalien toimivuus fyysisesti samalla tavalla, esimerkiksi hirsiksi yksiaineisena materiaalina, jolla on hyvä vikaistietoisuus. Sen luonnolliset

ominaisuudet, kuten hygroskooppisuus, jossa se luovuttaa ja imee itseensä kosteutta ympäröivään ilmaan, tasaen sisäilman kosteuden vaihteluita. Kosteuspuskuroinnin on todettu myös lieventävän puun VOC-pitoisuuksia. Puun käyttö on turvallista sisätiloissa suurimmalle osalle ihmisistä, lukuun ottamatta allergisia tai herkistyneitä henkilöitä. Puun päästöt laskevat nopeasti asennuksen jälkeen, ja haihtuvien yhdisteidenpitoisuudet ovat vähäisiä. Luotettavia päästöpitoisuuksia ei ole saatu puun hygroskooppisuuden, kasvuolosuhteiden, ja näytteenottoaikan (onko näyte otettu pinta-, sydän- tai muusta osasta puuta).

Saven käytöllä on todettu mikrobien kasvua hillitseviä ominaisuuksia, mutta luotettavia tuloksia siitä ei ole vielä saatu ja se vaatisi enemmän tutkimuksia.

## LÄHTEET

Allergia-, iho-, ja astmaliitto ry. 2024. Rakennus- ja sisustusmateriaalit. Helsinki. WWW-dokumentti. Päivitetty 26.2.2024. Saatavissa: <https://www.allergia.fi/allergia/kemikaalit-ja-ymparisto/kodin-kemikaalit/rakennus-ja-sisustusmateriaalit/> [viitattu 10.11.2024].

Allergiatunnus. 2019. Allergia-, iho-, ja astmaliitto ry. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.2.2021. Saatavissa: <https://www.allergia.fi/allergiatunnus/> [viitattu 10.11.2024].

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016. Osa I. 1–10 §. Valvira. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Helsinki Saatavissa: <https://valvira.fi/documents/152634019/163413488/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-1.pdf/8f095063-fb99-ee73-aade-06efd618fa20/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-1.pdf?t=1692347713569> [viitattu 3.12.2024].

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016. Osa III. 14–19 §. Päivitetty 3.5.2024. Saatavissa: <https://valvira.fi/documents/152634019/163413488/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-3.pdf/dfb9ad3e-63d7-dafd-008e-7c34e674acf6/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-3.pdf?t=1714729761507> [viitattu 21.10.2024].

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/71398/Opp200301.pdf> [viitattu 3.12.2024].

Asumisterveysopas. 2009. 3. painos Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Pori. Ympäristö ja Terveys-lehti.

ECHA s.a. POP-yhdisteet tutuiksi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://echa.europa.eu/fi/understanding-pops> [viitattu 1.10.2024].

Euroopan unionin jätehuoltolaki direktiivi 2008/98/EY. Päivitetty: 18.2.2024 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISUM%3Aev0010> poista tämä netti osoite

EU-ympäristömerkki. 2022. Ympäristömerkintä Suomi Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://eu-ymparistomerkki.fi> [viitattu 12.11.2024].

Formaldehydi s.a. TTL Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/kemikaalit-ja-tyo-altistumistietosivusto/formaldehydi> [viitattu 15.11.2024].

Halios, C., Landeq-Cox, C., Lowther, S., Middleton, A., Marczylo, T. & Dimitroulopoulou, S. 2022. Chemicals in European residences – Part 1: A review of emissions, concentrations and health effects of volatile organic compounds

(VOCs). Chilton, Iso-Britannia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722032983#bb0420> [viitattu 12.10.2024].

Harju, A., Möttönen, V., Heräjärvi, H., Hyttinen, M., Lampela, J., Pasanen, P. & Sivula, A. 2021. Massiivipuun päästöt sisäilmaan: Kirjallisuuskatsaus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2021. Helsinki. Luonnonvarakeskus. E-kirja. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-170-7> [viitattu 7.12.2023].

Hiltunen, K-M. 2017 Kahvit kattoon! Puupintojen käsittely kahvilla. Blogi. Saatavissa: <http://www.koikkelastakajahtaa.fi/2017/01/kahvit-kattoon.html> [viitattu 30.11.2024].

Holopainen, O. 2015. Puun kemiallinen koostumus ja sen uuteaineiden analysointi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemiantekniikka. Kandidaatintyö. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/105197/Kandidaatinty%C3%B6\\_Holopainen\\_Olli.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/105197/Kandidaatinty%C3%B6_Holopainen_Olli.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [viitattu 22.12.2023].

Human metabolome database HMDB 2009. Decanal. WWW-dokumentti. Päivitetty: 21.2.2023 Saatavissa: <https://hmdb.ca/metabolites/HMDB0011623#enzymes> [viitattu 6.12.2024].

Joutsenmerkki. 2020. Tietoa joutsenmerkistä. Ympäristömerkintä Suomi Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://joutsenmerkki.fi/> [viitattu 12.11.2024].

Juntunen, M., Salmela, A., Jalkanen, K., Hovi, H., Wallenius, K., & Hyvärinen, A. 2022. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa. Helsinki. Terveystieteiden tutkimuskeskus THL. E-kirja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-809-5> [viitattu 23.10.2024].

Kansainväliset kemikaalikortit (ICSCs). WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=fi&p\\_card\\_id=0667&p\\_version=2](https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fi&p_card_id=0667&p_version=2) [viitattu 10.11.2024].

Kemiamedia 2022 <https://www.kemiamedia.fi/uusi-bioliima-voi-korvata-terveydelle-haitalliset-liimat-puurakentamisessa/>

Lahtela, T. 2023. ThermoWood® käsikirja. Lämpöpuuyhdistys ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.palvelee.fi/tiedostot/Thermowood-kasikirja\\_FIN\\_web.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.palvelee.fi/tiedostot/Thermowood-kasikirja_FIN_web.pdf) [viitattu 6.3.2024].

Malinet Oy. 2024. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://malimet.fi/> [viitattu 25.11.2024].

Motiva Oy. 2023. Sisäilmasto. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.1.2023. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot\\_-\\_yhdedessa\\_energiatehokkaasti/sisailmasto](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot_-_yhdedessa_energiatehokkaasti/sisailmasto) [viitattu 22.12.2023].

Muilu-Mäkelä R., Haavisto M., & Uusitalo J. 2014. Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä. Kirjallisuuskatsaus. Vantaa:

Metsäntutkimuslaitos. E-kirja. Saatavissa:

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536222/mwp320.pdf?sequence=1> [viitattu 23.11.2024].

Palomäki, V. 2022. Puun tutkittuja vaikutuksia ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin: Kirjallisuuskatsaus. Tampereen yliopisto. E-kirja (verkkopublication). Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2456-8> [viitattu 7.12.2023].

Pilkington s.a. Pilkington Sunplus™ BIPV. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.pilkington.com/en/global/products/product-categories/solar-energy/pilkington-sunplus-bipv#overview> [viitattu 7.12.2024].

PubChem 2004a. National Library of Medicine (NIH) WWW-dokumentti. Päivitetty 30.11.2024. Saatavissa: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8175> [viitattu 7.12.2024].

PubChem 2004b. National Library of Medicine (NIH) WWW-dokumentti. Päivitetty 30.11.2024. Saatavissa: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7720>

PubChem 2005a. National Library of Medicine (NIH) WWW-dokumentti. Päivitetty 30.11.2024. Saatavissa: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6184> [viitattu 7.12.2024].

PubChem 2005c. National Library of Medicine (NIH) WWW-dokumentti. Päivitetty 30.11.2024. Saatavissa: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/nonanal> [viitattu 7.12.2024].

Puuinfo. 2020 a. Puutieto, Puun käytön sisäilma- ja terveysvaikutukset/puun sisäilman kosteuden tasaajana. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Puu sisäilman kosteuden tasaajana - Puuinfo](#) [viitattu 19.12.2023].

Puuinfo. 2020 b. Puutieto, Puun käytön sisäilma- ja terveysvaikutukset/hengittävä rakenne. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Hengittävä rakenne - Puuinfo](#) [viitattu 19.12.2023].

Puuinfo. 2020 c. Puutieto, Lämpökäsitelty puutavara. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Lämpökäsitelty puutavara - Puuinfo](#) [viitattu 19.1.2024].

Puuinfo. 2021 d. Tulevaisuuden pintakäsittelyt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2021/11/19/tulevaisuuden-pintakasittelyt/> [viitattu 25.11.2024].

Puuinfo 2022 e. Hirsirakentaminen - kiertotaloutta vuosisatojen takaa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/05/24/hirsirakentaminen-kiertotaloutta-vuosisatojen-takaa/> [viitattu 2.12.2024].

Puuinfo 2021 Rakennustieto. Rakennusmateriaalien päästöluokitus. WWW-dokumentti. saatavissa: <https://ymparisto.rakennustieto.fi/rakennusmateriaalien-paastoluokitus#paastoluokituksen-intro> [viitattu 11.11.2024].

PuuProffa s.a. Puutieto/Pintakäsittely. WWW-dokumentti. saatavissa: <https://puuproffa.fi/puutieto/> [viitattu 25.11.2024].

Rakennusfysiikka 2023, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Tampere: Tampereen yliopisto. E-kirja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3118-4> [viitattu 8.12.2024].

Rakennusfysiikka 2021, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Tampere: Tampereen yliopisto. E-kirja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2145-1> [viitattu 8.12.2024].

Rakennuskulttuuritalo Toivo. WWW-dokumentti. saatavissa: <https://toivo.pori.fi/korjausneuvonta/neuvoja-ja-ohjeita-vanhan-talon-kunnostajille/lattiat/puulattiat/> [viitattu 25.11.2024].

Rinne, H.2018. Materiaalioppi. Helsinki: Werner Söderström Oy

RT-kortti 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. 2018

Rund A-R, Backlund P & Paakkola K. 2005. Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. Työterveyslääkäri. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p\\_artikkeli=ttl00208](https://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=ttl00208) [viitattu 11.11.2024].

Siikainen L. & Siikainen u. 2023. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto Oy

Siikainen, U. 2016. Puurakentaminen. 2. uudistettu painos. Helsinki: Rakennustieto Oy

Sisäilmayhdistys 2022 Epäpuhtaudet ja niiden torjunta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://sisailmayhdistys.fi/sisailmatietoa/>[viitattu 6.12.2024].

StoraEnso s.a. Ligniini. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin> [viitattu 26.11.2024].

Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2023. Pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP). WWW-dokumentti. Päivitetty 17.6.2024. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/saasteettomuus-ja-ymparistoriskit/kemikaalien-ymparistoriskit/pysyvat-orgaaniset-yhdisteet-pop> [viitattu 19.1.2024].

THL. 2023 Palonestoaineet. Terveiden ja hyvinvoinninlaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://thl.fi/aiheet/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/palonestoaineet> [viitattu 5.11.2024].

THL. 2020 "Sisäilmasairaus" termin käytölle ei ole lääketieteellisiä perusteita-  
oireilevia tulee auttaa tukeutuen parhaaseen lääketieteelliseen tietoon.  
Terveiden ja hyvinvoinninlaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/141104/Kannanotto%20Sis%c3%a4ilmasairaus%20termin%20k%c3%a4yt%c3%b6lle%20ei%20ole%20%c3%a4%c3%a4ketieteellisi%c3%a4%20perusteita.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 13.12.2024].

TTL. 2024. Uusia sitovia raja-arvoja syöpävaarallisille ja lisääntymiselle vaarallisille altisteille. Työterveyslaitos. Piia Taxell. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ajankohtaista/uutinen/uusia-sitovia-raja-arvoja-syopavaarallisille-ja-lisaantymiselle-vaarallisille-altisteille> [viitattu 5.11.2024].

TTL s.a. Styreeni. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/kemikaalit-ja-tyo-altistumistietosivusto/styreeni> [viitattu 7.12.2024].

TTL. Ova-ohjeet / Bentseeni. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Päivitetty 22.4.2024 Saatavissa: <https://ova.ttl.fi/bentseeni> [viitattu 15.11.2024].

TTL. Ova-ohjeet /1-Butanoli. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.8.2022 Saatavissa: <https://ova.ttl.fi/1-butanoli> [viitattu 7.12.2024].

TTL. Ova-ohjeet / Ksyleeni. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.8.2022 Saatavissa: <https://ova.ttl.fi/styreeni> [viitattu 6.12.2024].

TTL. Ova-ohjeet / Tolueeni. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.8.2022. Saatavissa: <https://ova.ttl.fi/tolueeni> [viitattu 15.11.2024].

TTL 2022. Ksyleeni. Perustelumuistio ksyleenin biologisen altistumisindikaattorin metyylihippuurihapon ohjeraja-arvolle. Työterveyslaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/sites/default/files/2022-01/Ksyleeni.pdf> [viitattu 15.11.2024].

TTL 2022. Tolueeni. Perustelumuistio tolueenin biologisen altistumisindikaattorin toimenpideraja-arvolle. Työterveyslaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/sites/default/files/2022-01/Tolueeni.pdf> [viitattu 15.11.2024].

Tuomi, T., Lappalainen, L., Laaja, T., Hovi, H., & Svinhufvud, J. 2012. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Työterveyslaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/tyoympariston-tavoitetasot> [viitattu 29.9.2024].

Työsuojelu.fi 2007 http-arvojen perustelumuistiot, Bentsaldehydi. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tyosuojelu.fi/tyoolot/kemialliset-tekijat/raja-arvot/perustelumuistiot> [viitattu 1.12.2024].

UPM 2019. Ligniinin läpimurto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/2019/11/ligniinin-lapimurto/> [viitattu 25.11.2024].

Wallenius, K., Hovi, H., Mahiout, S., Remes, J., Rautiala, S., Jokela, P., Leino, K., Liukkonen, T. 2021. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyöympäristöissä. Helsinki: Työterveyslaitos. E-kirja. Saatavissa: [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/140940/TTL\\_978-952-261-957-0.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/140940/TTL_978-952-261-957-0.pdf?sequence=1&isAllowed=) [viitattu 1.10.2024].

Wallenius, K., Korkalainen, M., Porras, S., Hovi, H., Holma, S., Ahtinen, S., Koponen, J., Huttunen, K., & Rantakokko, P., 2023. Sisäympäristöissä esiintyvät puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet (SVOC). Helsinki. Työterveyslaitos. E-kirja. Saatavissa: <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/146697/TTL-978-952-391-114-7.pdf?sequence=8&isAllowed=y> [viitattu 1.10.2024].

Westermarc, M., Heuru, E-R. & Lundsten, B. 1998. Luonnonmukaiset rakennusaineet. Helsinki: Rakennustieto Oy

WHO. 2010. WHO Guidelines for indoor Air Quality: Selected Pollutants. Geneva. World Health Organization. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/260127/9789289002134-eng.pdf?sequence=1> [viitattu 1.10.2024].

WHO. 1995. Sick building syndrome. Kööpenhamina. World Health Organization. Saatavissa: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/sick\\_building\\_factsheet.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf) [viitattu 15.12.2024].

Ympäristöministeriö 2021. Valtioneuvoston periaatepäätös kiertotalouden strategisesta ohjelmasta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/kiertotalousohjelma> [viitattu 30.11.2024].

Zhou, X., Zhou, X., Wang, & Zhou, H. 2023. Environmental and human health impacts of volatile organic compounds: A perspective review. China. WWW-dokumentti. saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522039820> [viitattu 13.10.2024].