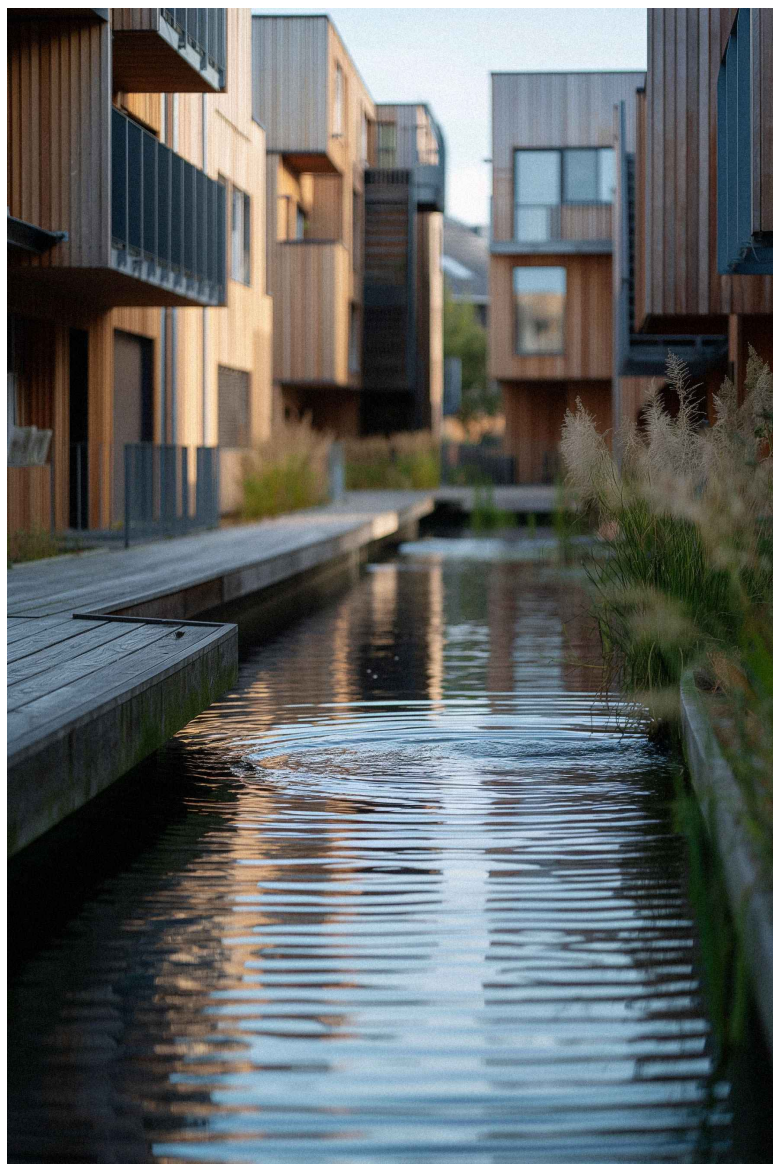


Huolta aiheuttavien aineiden esiintyminen Itämeren alueen rakennuksissa, rakennusmateriaaleissa ja rakennustyömailla



Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union



SUSTAINABLE WATERS

NonHazCity 3



NonHazCity

NHC3 GoA2.1. Tuotos D.2.1

Kesäkuu 2024

Kirjoittajat:

GoA 2.1 -työryhmä "Analyytikumppanit": Riikka Vainio (Turun ammattikorkeakoulu), Heli Nömmäsalu (BEF EE), Katre Jõgeva (Tallinnan kaupunki), Elisa Keto (Helsingin kaupunki), Christina Larsson (Västeråsin kaupunki), Alessio Rinaldi (Västeråsin kaupunki), Lisa Öborn (Tukholman kaupunki), Amanda Öhman (Tukholman kaupunki / Good point AB) ja Jenny Fäldt (GoA2.1-työryhmän johtaja, Tukholman kaupunki)

GoA 2.1 -työryhmä "Lähteiden kartoitus": Marianne Balck (Byggvarubedömningen AB), Riikka Vainio (Turun ammattikorkeakoulu), Mecki Naschke (World Future Council), Gražvydas Jegelevičius (BEF LT), Andrzej Tonderski (Pominno) ja Christina Larsson (Västeråsin kaupunki)

GoA 2.1 -työryhmä "Projektinhallinta": Siobhan Protic (BEF DE) ja Jenny Fäldt (GoA2.1-työryhmän johtaja, Tukholman kaupunki)

Tarkastajat ja muokkaajat: Andreas Ahrens (Ökopol), Arne Jamtrot (Tukholman kaupunki), Frida Hök (Tukholman kaupunki / Good point AB), Marija Katrīna Dambe ja Florian Betat (NOMAD architects), Gražvydas Jegelevičius (BEF LT)

Prompt engineer (Midjourney 6.0): NOMAD architects: Florian Betat ja Marija Katrīna Dambe

Aineisto on laadittu osana NonHazCity 3 -hanketta (nro C014) Euroopan unionin Interreg Baltic Sea Region -ohjelman tuella. Sisältö edustaa yksinomaan kirjoittajien, ei Euroopan komission mielipidettä.

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
Tiivistelmä	4
Kansantajuinen yhteenveto	5
Lyhenteet	8
Johdanto	10
Lähteiden kartoitus	13
Ftalaatit	15
PFAS-yhdisteet	18
Bisfenolit	22
Organofosfaatit (OPE)	26
Bromatut palonestoaineet	29
Biosidit	33
Klooratut parafiinit	38
VOC-yhdisteet	40
Sinkki ja kupari	43
Tutkimusmenetelmä – näytteenotto	46
Tulokset ja pohdinta	49
Rakennusmateriaaleissa esiintyvät haitalliset aineet	50
Kokonaiskuva	52
Pölyssä olevien haitta-aineiden seos	53
Puun käsittelyssä käytetyt biosidit ja niiden vuotaminen ympäristöön	58
PFAS-yhdisteet eli ikuisuuskemikaalit	62
TCPP – mahdollisesti hitaasti hajoava, kulkeutuva ja myrkyllinen aine (a potential PMT)	68
Metallit	73
Muut tulokset	75
Klooratut parafiinit	75
Suora vuoto viemäriin valuviin vesiin	77
Lattian kunnostaminen alentaa pitoisuutta pölyssä	77
Jäteveden haitta-ainetrendit	77
Haitallisten aineiden välttäminen rakentamisessa ja rakennustyömailla	78
Kunnallisen yksikön rakennusmateriaalien ja rakennustyömaiden vaarallisia aineita koskevien menettelyjen hallinnointiratkaisut	78
Yhteenveto ja johtopäätökset	84

Loppuhuomautukset	85
Viitteet	86
Liitteet.....	92

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli parantaa ymmärrystä haitallisista aineista kaupunkiympäristöissä, sekä tunnistaa niiden lähteitä keskittyen rakennusmateriaalien mahdolliseen vaikutukseen ulko- ja sisätiloissa havaittaviin haitta-aineisiin. Hankkeessa tehtiin kohdennettu haitta-aineseulonta viidessä eri matriisissa (rakennusmateriaalit, hulevesi, sisätilojen pöly ja sisäilma sekä kotitalouksien jätevedet) viidessä eri Itämeren alueen kaupungissa eli Tallinnassa, Helsingissä, Turussa, Västeråsissa ja Tukholmassa.

Vaikka kaikkia matriiseja ei sisällytetty seulontaan jokaisessa kaupungissa, esiin nousi keskeisiä havaintoja:

- Sisätilojen pölynäytteet sisälsivät merkittäviä määriä orgaanisia haitta-aineita, kuten muovinpehmentimiä, PFAS-yhdisteitä ja kloorattuja parafiineja. Joidenkin haitta-aineiden osuus oli 0,1 painoprosenttia.
- Hulevesi toimii haitta-aineiden leviämiskanavana rakennettujen ja luonnonympäristöjen välillä, ja siitä otetut näytteet sisältävät erilaisia haitta-aineita, kuten biosidejä, organofosfaattipalonestoaineita, metalleja ja PFAS-yhdisteitä. Eri kaupunkien ja rakennustyyppien välillä havaittiin vaihtelua haitta-aineiden pitoisuuksissa.
- Tutkimuksessa havaittiin myös, että alueilla, joissa on uusia puuverhouksia, hulevedessä esiintyy biosidejä, kuten diuronia, propikonatsolia ja mekopropia, mikä korostaa rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia.
- PFAS-yhdisteitä havaittiin eri näytetyypeissä, ja niiden pitoisuuksissa oli merkittäviä vaihteluita kaupunkien välillä.
- Myös palonestoaine TCPP:tä havaittiin laajalti valumavesissä, jätevesissä ja sisätilojen pölyssä.
- Lisäksi tutkimuksessa pantiin merkille rakennusmateriaalien vanhempien haitta-aineiden korvautuminen uusilla huolta aiheuttavilla aineilla, mikä korostaa tutkimuksen jatkamisen tärkeyttä niiden vaikutusten ymmärtämiseksi.

Hankkeen näytteenotto- ja analyysitulokset ovat luonteeltaan suuntaa antavia, koska kussakin luokassa analysoituja näytteitä oli vain vähän. Tulokset paljastavat alueita ja näytetyyppejä joista tarvitaan enemmän tietoa. Tuloksia ei pidä käyttää riskinarvioinneissa, vaan ne voivat toimia tulevien tutkimusten perustana. Tuloksia tulee pikemminkin pitää indikaattorina siitä, missä kohdin tarvitaan enemmän tietoa pitkän aikavälin vaikutusten ymmärtämiseksi ja sellaisten strategioiden kehittämiseksi, joilla voidaan vähentää näiden haitta-aineiden määriä ja niistä aiheutuvia terveysriskejä.

Kansantajuinen yhteenveto

Tässä raportissa esitetään yhteenveto NonHazCity 3-hankkeen suorittaman haitta-aineseulonnan tuloksista. Seulontatoimien tavoitteena oli dokumentoida haitallisten aineiden ja niiden lähteiden esiintyminen NonHazCity 3-kumppanikunnissa. Tutkimuksen tarkoituksena oli tunnistaa, mistä haitallisia aineita löytyy kaupunkialueilta ja mistä ne ovat peräisin. Tutkimme, vaikuttavatko rakennusmateriaalit saastumiseen kaupunkien ulko- ja sisäympäristöissä. Haitta-aineita etsittiin rakennusmateriaaleista, hulevedestä, sisätilojen pölystä ja sisäilmasta sekä kotitalouksien jätevesistä. Seulonta toteutettiin viidessä Itämeren alueen kaupungissa/alueella: Tallinnassa (Viro), Helsingissä ja Turun seudulla sekä Västeråsin ja Tukholman kaupungeissa (Ruotsi).

Selvityksessä keskityttiin seuraaviin rakennusmateriaaleissa yleisesti esiintyviin aineryhmiin:

- **Ftalaatit:** Ftalaatteja käytetään tekemään muoveista joustavampia, ja niitä on esimerkiksi PVC-lattiapäällysteissä, kaapeleissa, kattuhuovissa ja metallikattojen muovikalvoissa. Kemikaaleja voi vapautua ympäristöön, jossa ne häiritsevät eliöiden hormonitoimintaa.
- **Per- ja polyfluoratut alkylyyhdisteet (PFAS-yhdisteet):** Käytetään monissa eri käyttökohteissa, koska ne kestävät hyvin lämpöä, vettä ja öljyä. Erittäin pysyviä ympäristössä ja aiheuttavat merkittäviä pitkän aikavälin terveysriskejä.
- **Bisfenolit:** Käytetään muovien ja muiden tuotteiden valmistuksessa. Bisfenoli A (BPA) ja sitä korvaavat aineet (kuten bisfenolit F ja S, BPF ja BPS) ovat hormonitoimintaa häiritseviä aineita.
- **Organofosfaatit (OPE):** Käytetään palonestoaineina ja muovinpehmentiminä. Liitetään haitallisiin terveysvaikutuksiin, sillä tuotteista vapautuu organofosfaatteja ja ne voivat vaikuttaa merkittävästi sisäilman laatuun.
- **Bromatut palonestoaineet (BFR):** Käytetään tekemään elektroniikan ja tekstiilien kaltaisia tuotteita vähemmän helposti syttyviksi. Monet bromatut palonestoaineet ovat ympäristössä pysyviä ja voivat aiheuttaa neurologisia ja hormonaalisia ongelmia.
- **Biosidit:** Käytetään säilytysaineina tuotteiden varastoinnissa sekä estämään home- ja sienikasvustoja mm. puumateriaaleissa ja julkisivupäällysteissä. Biosidit ovat ympäristö- ja terveysriski ja edistävät biosidiresistenssiä.
- **Klooratut parafiinit (CP):** Käytetään palonestoaineina ja muovinpehmentiminä. Ympäristössä pysyviä, biokertyviä ja voivat mm. aiheuttaa syöpää.
- **Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet):** Käytetään maaleissa, liuottimissa ja liimoissa. Voivat aiheuttaa terveysongelmia, jotka vaihtelevat ärsytyksestä maksa- ja munuaisvaurioihin.
- **Metallit:** Lyijyllä, kadmiumilla, elohopealla, sinkillä ja kuparilla voi olla haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen ja/tai ympäristöön jopa pieninä määrinä. Näitä metalleja esiintyy yleisesti rakennusmateriaaleissa.

Tutkimuksen keskeiset havainnot

- **Sisätilojen pöly:** Pölyyn kerääntyy monia sisäympäristöissä esiintyviä kemikaaleja, joten se kuvastaa hyvin materiaaleista irtoavia aineita. Vaikka joidenkin haitta-aineiden pitoisuudet ovat pienentyneet ajan mittaan, koska niiden käyttöä on alettu säännellä (rajoittaa ja/tai tehdä luvanvaraiseksi), pöly sisältää edelleen merkittäviä haitta-aineita, kuten muovinpehmentimiä, PFAS-yhdisteitä, bisfenoleja, kloorattuja parafiineja ja organofosfaatteja. Suurempia haitallisten aineiden pitoisuuksia havaittiin rakennuksissa, joissa on PVC-lattiapäällyste ja käsiteltyjä pintoja.
- **Hulevesi:** Sisältää erilaisia haitta-aineita, kuten biosidejä, palonestoaineita ja metalleja. Biosidipitoisuudet olivat korkeampia alueilla, joissa on uusia puurakennuksia. Biosidit voivat vaikuttaa haitallisesti vesiympäristöön.
- **PFAS-yhdisteet:** Havaittiin eri näytetyypeissä, kuten hule- ja jätevedessä, sisätilojen pölyssä ja rakennusmateriaaleissa. PFAS-yhdisteitä voi vapautua monenlaisiin käyttötarkoituksiin käytettävistä materiaaleista, mutta niiden tarkkojen lähteiden löytäminen rakennetusta ympäristöstä on vaikeaa.
- **Muovinpehmentimet:** Suurimmat muovinpehmentinpitoisuudet havaittiin huonetiloissa, joissa oli PVC-lattiapäällyste, mikä osoittaa, että kyseinen lattiapäällystetyyppi vaikuttaa merkittävästi pölyn kemikaalipitoisuuteen.
- **Rakennusmateriaalit** ovat selvästi sisätilojen ja ympäristön haitallisten kemikaalien lähde.

Turvallisemman ympäristön saavuttaminen EU:ssa edellyttää tiukempaa sääntelyä, parempia materiaalivalintoja, parempia seurantajärjestelmiä ja turvallisempien vaihtoehtojen käytön edistämistä.

Tutkimuksen perusteella lainsäätäjille, viranomaisille ja rakentajille on annettu alla mainitut suositukset.

Suosituksukset säänteleville viranomaisille

- Tiukennetaan haitallisia aineita koskevia säännöksiä rakennusmateriaaleissa
- Kannustetaan ja edistetään turvallisempien vaihtoehtojen kehittämistä ja käyttöä

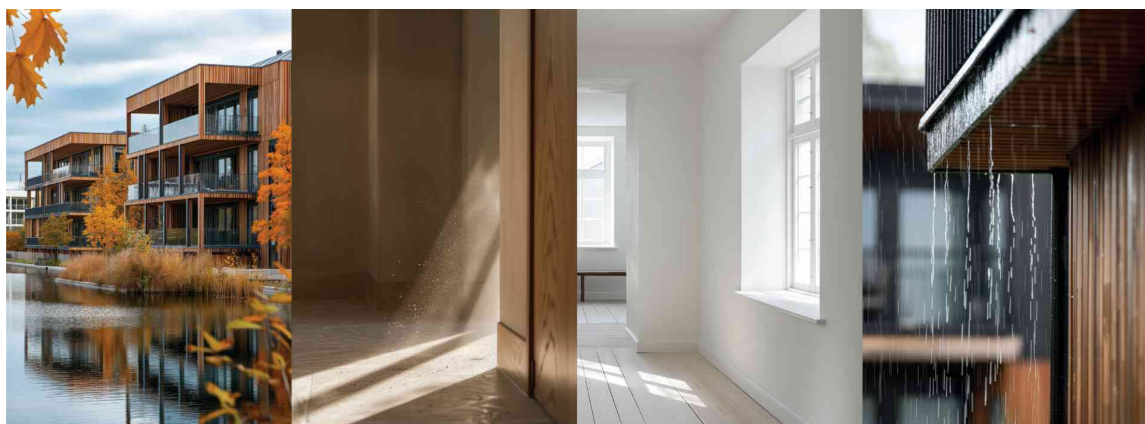
Suosituksukset viranomaisille

- Keskitytään olemassa olevien säännösten noudattamiseen
- Parannetaan seurantajärjestelmiä uusien materiaaleissa olevien haitallisten aineiden havaitsemiseksi
- Lisätään rakennusteollisuuden toimijoiden ja suuren yleisön tietoisuutta rakennusmateriaaleissa olevien haitallisten aineiden riskeistä
- Kannustetaan ja edistetään turvallisempien vaihtoehtojen kehittämistä ja käyttöä
- Parannetaan jätehuoltoa, jotta voidaan varmistaa, että kierrätetyissä rakennusmateriaaleissa ei ole haitallisia aineita
- Ehkäistään haitallisten aineiden käyttöä kunnissa: tehdään yhteistyötä kaupungin/alueellisten kehittämisosastojen kanssa haitallisten aineiden käytön ehkäisemiseksi rakentamisessa hankintatoiminnan avulla

Suosituksukset rakentajille

- Vältetään haitallisilla kemikaaleilla käsiteltyjä materiaaleja
- Vaaditaan tavarantoimittajia ilmoittamaan kaikkien huolta aiheuttavien aineiden pitoisuudet
- Vaaditaan tavarantoimittajia arvioimaan mahdollisia vaihtoehtoja ja korvaamaan kaikkein haitallisimmat kemikaalit, jos mahdollista
- Parannetaan seurantaohjelmia ja -järjestelmiä uusien materiaaleissa olevien aineiden havaitsemiseksi
- Kannustetaan ja edistetään turvallisempien vaihtoehtojen kehittämistä ja käyttöä
- Parannetaan jätehuoltoa, jotta voidaan varmistaa, että kierrätetyissä rakennusmateriaaleissa ei ole haitallisia aineita

Kaupunkien ja maiden välinen yhteistyö on olennaisen tärkeää tiedon ja parhaiden käytäntöjen jakamiseksi. Yhteisiä aloitteita tulee tukea rakennusmateriaalien aiheuttaman saastumisen torjumiseksi sekä ympäristön ja kansanterveyden parantamiseksi. Jos näitä suosituksia noudatetaan, Itämeren alueen ympäristöä voidaan suojella ja kaupungeista voi tulla turvallisempia.



Lyhenteet

Kaikkien raportissa käytettyjen tai mainittujen lyhenteiden, kuten erilaisten kemiallisten aineiden, määritelmät.

- BBzP: Butyl benzyl phthalate
- BFR: Brominated flame retardants
- BIT: 1,2-benzisothiazol-3(2H)-one
- BPA Bisphenol A
- BPF Bisphenol F
- BPS Bisphenol S
- BPR: Biocidal product regulation
- CP: Chlorinated paraffins
- CSO: Combined sewer overflows
- DCOIT: 4,5-dichloro-2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one
- DEHA: Di(2-ethylhexyl) adipate
- DEHP: diethylhexyl phthalate
- DEHT: Di(2-ethylhexyl) terephthalate
- DiBP: diisobutyl phthalate
- DIDP: Diisodecyl phthalate
- DINCH: 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester
- DINP: Diisononyl phthalate
- DMP: dimethyl phthalate
- DnBP: Di-n-butyl phthalate
- ED: Endocrine disruptor
- EHDPP: 2-Ethylhexyl diphenyl phosphate
- F-gases: Fluorinated gases
- FTS: Fluorotelomer sulfonate
- HBCDD: Hexabromocyclododecane
- IPBC: Iodopropynyl butylcarbamate
- LOD: Limit of detection
- LOQ: Limit of quantification
- MCCP: Medium Chain Chlorinated Paraffin
- MIT: 2-methyl-4-isothiazolin-3-one
- MW: Molecular weight
- ND: Not detected
- OIT: Octhilinone

- OPE: Organophosphate ester
- PBT: Persistent, bioaccumulative, and toxic
- PFAS: per- and polyfluoroalkyl substances
- PFBS: perfluorobutanesulfonic acid
- PFBA: perfluorobutanoic acid
- PFCA: perfluorocarboxylic acid
- PFHpA: perfluoroheptanoic acid
- PFHxS: perfluorohexanesulfonic acid
- PFHxA: perfluorohexanoic acid
- PFNA: perfluorononanoic acid
- PFOS: perfluorooctanesulfonic acid
- PFOA: perfluorooctanoic acid
- PFPeA: perfluoropentanoic acid
- PFSA: perfluorosulfonic acid
- PMT: Persistent, mobile and toxic
- PNEC: Predicted no effect concentration
- POPs: Persistent Organic Pollutants
- PUR: Polyurethane
- PVC: Polyvinyl chloride
- SCCP: Short Chain Chlorinated Paraffin
- TBBPA: Tetrabromobisphenol-A
- TBEP: Tris (2-butoxyethyl) phosphate
- TBP: Tri-n-butyl phosphate
- TCEP: Tris(2-chloroethyl) phosphate
- TCIP: Tris(2-chlorisopropyl)phosphate
- TCPP: tris(2-chloro-1-methylethyl) phosphate
- TDCPP: Tris(1,3-dichloro- 2-propyl) phosphate
- TEP: Triethylphosphate
- TEHP: Tris (2-ethylhexyl)-phosphate
- TMCP: Tris-m-kresylphosphate
- TMPP: Trimethylolpropane phosphate
- TNBP: Tri-n-butyl phosphate
- TP: Transformation product
- VOC: Volatile Organic Compounds
- VPvB: Very persistent and very bioaccumulative
- WWTP: Wastewater treatment plant

Johdanto

NonHazCity 3 -hankkeen laatima hakemisto rakennusmateriaaleista kemikaaliviisaaseen rakentamiseen (Building Material Catalogue for tox free construction, NHC3 2023) sekä tieteellisiin tietoihin perustuva kuluttajaverkkosovellus CheckED (www.nhc.check-ed.eu) osoittavat jo, että rakennusmateriaalit ovat merkittävä lähde haitallisille aineille altistumiseen sisä- ja ulkoympäristössä. Vaikka myrkytön ympäristö on EU:ssa merkittävä tavoite, kaikkia tavoitteen saavuttamiseksi tarvittavia tietoja ja työkaluja ei ole vielä saatavilla. Itämeren alueen ekologisen herkkyyden vuoksi haitallisten aineiden esiintymisen ja lähteiden ymmärtäminen on kuitenkin ratkaisevan tärkeää. Tämä vaatii sekä perusteellista kirjallisuuskatsausta että empiiristä tiedonkeruuta.

Siksi tämän NonHazCity 3 -hankkeen kuusi hankekumppania ja yksi liitännäiskumppani ovat yhdessä jäljittäneet tiettyjä haitallisia aineita, joita esiintyy rakennusmateriaaleissa ja niiden kanssa kosketuksiin joutuviissa aineissa (vesi, pöly, ilma). Kunnat, yliopistot ja kansalaisjärjestöt viidestä kaupungista muodostivat tutkimusryhmän, joka teki yhteistyötä aineiden jäljittämässä ja tulosten kokoamisessa.

Tässä raportissa esitetään tiivistelmä analyttisistä seulontatutkimuksista, ja sen tarkoituksena on parantaa ymmärrystä rakennusmateriaalien koostumuksen ja sisätilojen pölyssä, kaupunkien hulevesissä ja yhdyskuntajätevesissä esiintyvien haitallisten aineiden välisestä suhteesta Itämeren alueella. Tutkimuksessa keskityttiin tiettyihin rakennusmateriaaleissa esiintyviin merkityksellisiin aineryhmiin, jotka valittiin niiden käyttötarkoitusten perusteella. Kaikki aineryhmät on kuvattu tarkemmin Lähteiden kartoitus -luvussa, jossa kirjallisuutta tarkastellaan järjestelmällisesti. Tiedot alla olevista eri kemiallisten aineiden ryhmistä sekä niiden käyttötarkoituksista ja vaikutuksista löytyvät kemikaaliviraston verkkosivustolta. Viitteet, joiden kautta on saatavilla lisätietoa, ovat raportin lopussa.

Ftalaatit ja niiden vaihtoehdot (muovinpehmentimet) ovat kemikaaliryhmä, jota käytetään lisäämään muovien joustavuutta erilaisissa kulutustavaroissa, kuten lattia- ja seinäpäällysteissä sekä kapeleissa. Niiden taipumus kulkeutua ympäristöön ja vaikuttaa ihmisten terveyteen tekee niistä huolestuttavia. Ftalaatit ovat todistetusti levinneet laajalle sisäympäristöissä. Useat ryhmään kuuluvat aineet ovat lisääntymiselle vaarallisia ja niillä on hormonitoimintaa häiritseviä vaikutuksia.

Per- ja polyfluorattuja alkylyyhdisteitä (PFAS-yhdisteitä) käytetään useissa käyttökohteissa, koska ne kestävät hyvin lämpöä, vettä ja öljyä. PFAS-yhdisteiden pysyvyys ja esiintyvyys kaikkialla ympäristössä, sekä niiden kyky pysyä vedessä ja maaperässä pitkään muuttumattomina herättävät merkittävää huolta niiden pitkän aikavälin ympäristövaikutuksista.

Bisfenolit ovat kemikaaliryhmä, jota käytetään pääasiassa erilaisten muovien ja kemiallisten tuotteiden synteeseissä ja toiminnallisina lisäaineina. Bisfenoli A (BPA) on tunnetuin bisfenoli, jota käytetään pääasiassa polykarbonaattimuovin ja epoksihartsin valmistuksessa. Muita merkittäviä yhdisteitä ovat bisfenolit F, S ja AF, joita käytetään usein bisfenoli A:n korvaajina. Bisfenoli A on todistetusti hormonitoimintaa häiritsevä aine. Bisfenoleilla AF, B, F ja S on osoitettu olevan bisfenoli A:n kaltaisia tai vielä haitallisempia mies- ja/tai naishormonien toimintaa häiritseviä vaikutuksia.

Organofosfaatteja (OPE) käytetään pääasiassa palonestoaineina ja muovinpehmentiminä erilaisissa kulutustavaroissa, kuten rakennusmateriaaleissa. Ne on yhdistetty haitallisiin terveysvaikutuksiin erityisesti suljetuissa ympäristöissä. Organofosfaatti TCEP on Euroopan kemikaaliviraston erityistä

huolta aiheuttavien aineiden ehdokasluettelossa ominaisuuksiensa vuoksi, ja sitä korvataan muilla organofosfaateilla, kuten TCPP:llä ja TDCP:llä.

Bromattuja palonestoaineita (BFR) käytetään yleisesti vähentämään elektroniikan, tekstiilien, rakennusmateriaalien ja huonekalujen kaltaisten materiaalien syttyvyyttä. Niiden huolestuttavuus ympäristön kannalta johtuu niiden pysyvyydestä ja biokertyvyydestä, jotka voivat aiheuttaa neurologisia ja hormonaalisia häiriöitä. Ympäristössä enemmän bromia sisältävät bromiyhdisteet voivat hajota auringonvalon vaikutuksesta vähemmän bromia sisältäviksi yhdisteiksi, mikä selittää pienemmän bromautumisasteen yhdisteiden vallitsevuuden ympäristössä.

Diuroni, triatsiinit ja isotiatsolinonit (puutuotteissa ja julkisivuissa käytettävät biosidit). Biosidit ovat aineita, joita käytetään kemiallisissa tuotteissa/rakennusmateriaaleissa homeen ja sienien kaltaisten biologisten kasvustojen estämiseen. Ne ovat tehokkaita, mutta voivat aiheuttaa riskejä ympäristölle ja ihmisten terveydelle aiheuttamalla allergioita ja edistämällä mikrobipopulaatioiden biosidiresistenssiä.

Klooratut parafiinit (CP) ovat monimutkaisia seoksia, joita käytetään palonestoaineina ja muovinpehmentiminä monissa teollisuuden käyttökohteissa, myös rakennusalalla. Ne luokitellaan hiiliketjun pituuden ja kloorausasteen mukaan. Huolta aiheuttavat niiden pysyvyys, biokertyvyys ja mahdolliset karsinogeeniset vaikutukset. Niitä saattaa huuhtoutua rakennusmateriaaleista niiden elinkaaren aikana, mikä saastuttaa ympäristöä.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) ovat suuri ryhmä kemikaaleja, jotka haihtuvat helposti huoneenlämmössä. Rakentamisessa niiden yleisiä lähteitä ovat maalit, liuottimet ja liimat. Terveysvaikutukset vaihtelevat silmien, nenän ja kurkun ärsytyksestä vakavampiin vaikutuksiin, kuten maksa- ja munuaisvaurioihin.

Lyijyn, kadmiumin ja elohopean kaltaisilla metalleilla voi olla haitallisia vaikutuksia, vaikka niitä esiintyisi vain pieniä määriä. Myös välttämättömät metallit, kuten sinkki ja kupari, ovat myrkyllisiä suurina pitoisuuksina. Metallien yleisiä terveysvaikutuksia ovat esimerkiksi keuhkojen, maksan, munuaisten ja muiden sisäelinten vaurioituminen, karsinogeenisyys, lisääntymisongelmat, kalojen kidusten vaurioituminen ja välitön myrkyllisyys. Rakennusten ja rakennusmateriaalien sisältämiin raskasmetalleihin liittyvät suurimmat huolenaiheet ovat huuhtoutuminen ympäristöön ja myrkyllisyys (erityisesti vesieliöille). Kadmiumin käyttöä on rajoitettu, mutta leviämisen ja vuotojen riski on olemassa, koska sitä voi edelleen esiintyä rakennuksissa. Lisäksi sinkki sisältää aina vaihtelevia pitoisuuksia kadmiumia, mikä tarkoittaa sitä, että aina kun sinkkiä vapautuu, sen mukana vapautuu myös kadmiumia. Kupari ja sinkki ovat yleisiä katteina ja julkisivuissa käytettävissä rakennusmateriaaleissa, ja niitä lisätään materiaaleihin myös biosideinä, koska niiden kationeilla on biologisia kasvustoja estäviä ominaisuuksia.

Seuraavissa osioissa on:

1. yleiskatsaus edellä lueteltujen aineryhmien lähteistä, reiteistä ja mahdollisista vaikutuksista (lähdekartoitus)
2. yhteenveto kuuden hankekumppanin analysointimenetelmistä ja näytetyypeistä
3. viiden Itämeren alueen kaupungin/alueen analyttisten seulontatutkimusten merkittävimmät tulokset.

Hankekumppanien viisi näytteenottoraporttia, jotka sisältävät yksityiskohtaisempia ja paikallisempia tietoja, ovat tämän raportin liitteenä.

Turun seutu: hulevesi (liite 1)

Helsinki: hulevesi ja rakennusmateriaalit (rakennustyömaalta; liite 2)

Tallinna: rakennusmateriaalit (rautakaupasta; liite 3)

Västerås: hulevesi, esikoulujen sisäilma ja pöly, rakennusmateriaalit (esikoulujen lattiamateriaalit; liite 4)

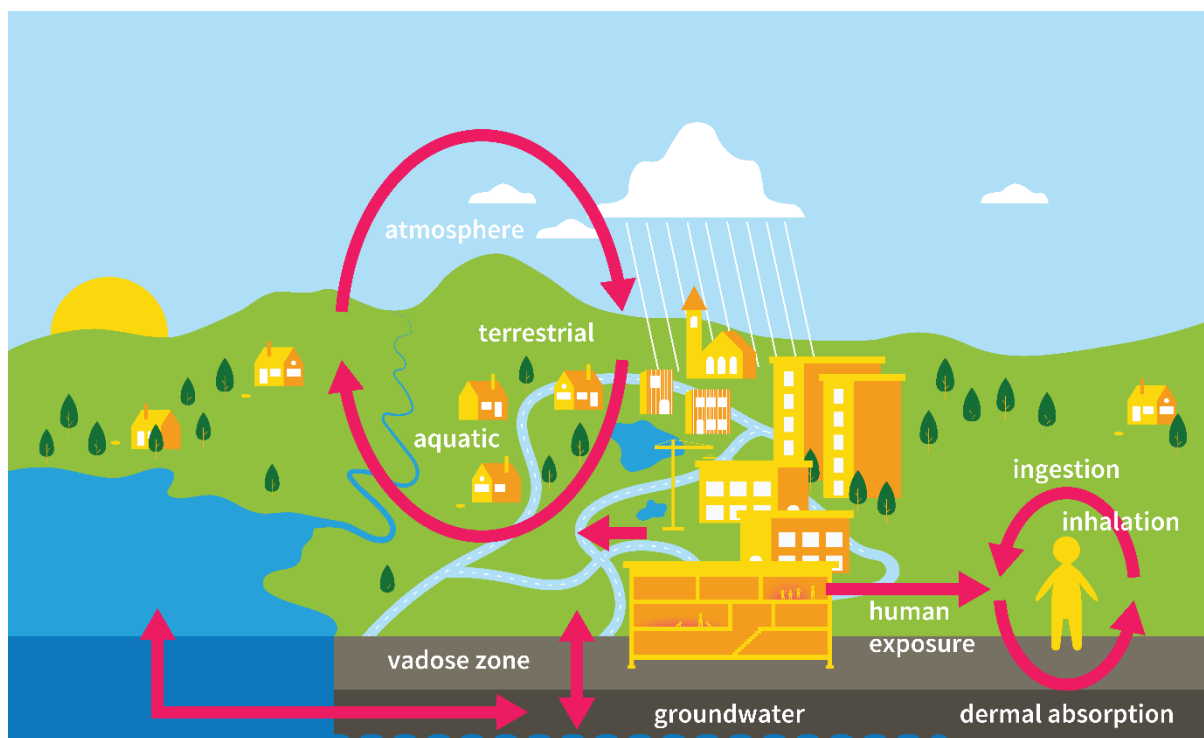
Tukholma: esikoulujen pöly (liite 5A), hulevesi (liite 5B), jätevesi (liite 5C), rakennusmateriaalit (ulkokäyttöön tarkoitettu maali ja kattomateriaali rautakaupasta; liite 5D), levyateriaali rakennustyömaalta (liite 5E) sekä koulujen ja esikoulujen lattiamateriaalit (liite 5F)

Lähteiden kartoitus

Ainevirta-analyysi (substance flow analysis, SFA) määrittää tietyn järjestelmän, kuten maantieteellisen alueen tai teknisen järjestelmän, kemikaalivarannot ja -virrat tietyllä ajanjaksolla, yleensä yhden vuoden aikana. Ainevirta-analyysi kattaa sisäänvirtauksen (esim. tuonti ja valmistus), järjestelmän sisäiset virrat (jalostus ja loppukäyttö), päästöt ympäristöön ja ulosvirtauksen ulkopuolisille vastaanottajille (esim. vienti tai kaatopaikalle vieminen). Toisinaan ainevirta-analyysi ottaa huomioon myös aineiden jakauman ympäristössä.

Tässä hankkeessa ainevirta-analyysi rajattiin koskemaan tuotteita ja materiaaleja, joista vapautuu haitallisia aineita, sekä niiden ensisijaisten leviämisreittejä valituissa näytetyypeissä tutkimuksen aikana. Kunkin aineryhmän kirjallisuushaku auttoi määrittämään analysoitavat näytetyypit, joiden tärkeimmät lähteet on lueteltu jäljempänä olevissa taulukoissa. Varsinaisessa ainevirta-analyysissä näitä havaintoja seuraisi kunkin materiaalin tai tuotetyypin varantojen ja päästöjen määrittäminen.

Aineet voivat päästä sekä sisä- että ulkoympäristöön eri reittejä pitkin. Hankkeessa valittiin analysoitavaksi useita aineita eri ryhmistä useissa näytetyypeissä tarkoituksena havainnollistaa NonHazCity 3 -hankkeen kohteena olevien sisä- ja ulkoympäristöjen ensisijaiset leviämisreitit. VOC-yhdisteiden kohdalla rakennustuotteiden päästöihin liittyvät ongelmat näkyvät pääasiassa sisäympäristöissä. Kuvassa 1 esitetään niiden reitit, myös ihmisten altistumisreitit.



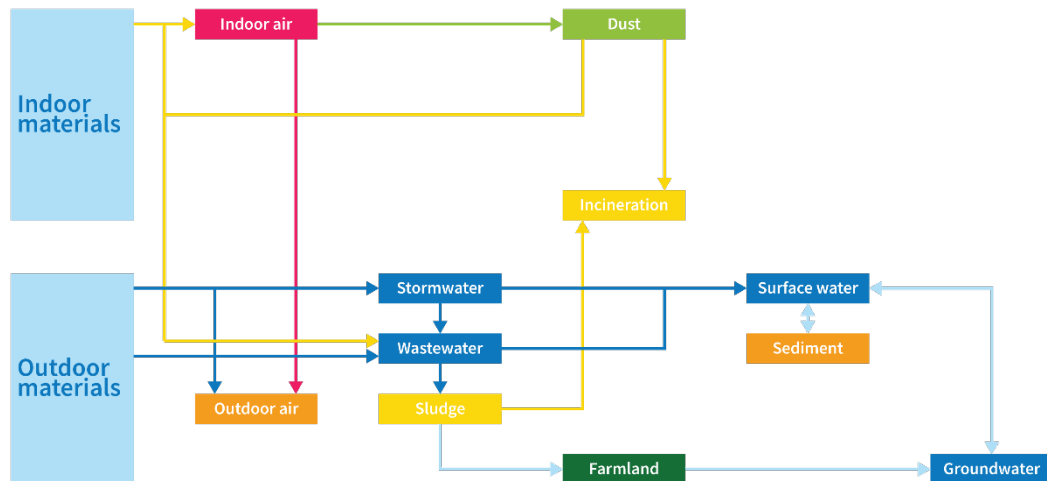
Kuva 1. Haitta-aineiden etenemistavat ja lopulliset sijaintipaikat sekä ympäristössä että ihmisten altistumisessa.

Tässä luvussa annetaan tietoa otokseen valituista aineryhmistä, yksilöidään näitä aineita mahdollisesti sisältävät rakennustuotteet ja hahmotellaan niiden kulkua sisä- ja ulkoympäristöihin.

Rakennustuotteiden sisältämien haitta-aineiden yleisiä kulkuväyliä sisäympäristöissä ovat päästöt sisäilmaan ja pölyyn. Pöly saatetaan poltettaa jätteiden mukana tai päästää jäteveeten. Jätevedestä aineet pääsevät pintavesiin ja lietteeseen. Jos lietettä käytetään maanviljelyssä, se voi saastuttaa

pohjavettä. Huleveden ja ulkoilman saastuminen voivat aiheuttaa pintavesien ja sedimenttien saastumista. Ihmiset voivat altistua aineille sisä- ja ulkoilman, pölyn ja joskus myös juomaveden kautta. Aineet päätyvät ympäristöön pääasiassa hule- ja jätevesien mukana. Katso alla oleva kuva 2.

Source map of general pathways



Kuva 2. Aineiden yleiset kulkureitit sisä- ja ulkoympäristössä.

Seuraavissa luvuissa kuvataan aineryhmiä käytön, vaikutusten, altistumisen ja lainsäädännön näkökulmasta. Kukin luku sisältää kirjallisuustutkimuksen, josta käy ilmi, mistä aineita löytyy eri näytetyypeistä, sekä taulukon, jossa luetellaan asiaankuuluvat tutkimukset tai raportit. Näiden tietojen sekä NonHazCity 3 -hankkeen materiaalikatalogin aiempien tutkimusten ja löydösten pohjalta luotiin lähdekartat. Kussakin luvussa on kulkureittejä kuvaavan lähdekartan jälkeen lyhyt yhteenveto tutkimuksen tuloksista. Lisätietoja tuloksista on tuloksia koskevassa luvussa.

Materiaalien kierrättäminen aiheuttaa haasteita: haitallisia aineita sisältävien tuotteiden uudelleenkäyttö tai kierrätys on vaikeaa, ja vanhojen tuotteiden sisältöä voi olla vaikea määrittää.

Ftalaatit

Käyttö

Ftalaatit ovat ryhmä kemikaaleja, joilla on sama kemiallinen rakenne ja samanlaiset ominaisuudet. Niitä tuotetaan suuria määriä. Useimmiten ftalaaatteja lisätään muoviin, koska ne tekevät siitä pehmeämpää, taipuisampaa ja kestävämpää. Ftalaaatteja käytetään pääasiassa PVC-muovin pehmentiminä, ja PVC-muovi saattaakin sisältää jopa 50 prosenttia ftalaattia. PVC-muovia pidetään vähän huoltoa vaativana materiaalina, jolla on hyvät ominaisuudet, mutta sen valmistuksessa käytetään usein ftalaattien kaltaisia vaarallisia lisäaineita. Koska ftalaatit eivät sitoudu materiaaleihin, joihin ne lisätään, niitä siirtyy materiaalista veteen ja pölyyn, mikä aiheuttaa haitallisia vaikutuksia sekä ihmisille että ympäristölle. Vaikka ftalaattittomia muovinpehmentimiä on nykyään saatavilla, ftalaaatteja käytetään edelleen monissa tuotteissa. Ftalaaatteja on kosmetiikassa, henkilökohtaisissa hygieniatuotteissa ja kotitaloustuotteissa, elintarvikkeiden pakkausmateriaaleissa, leluissa, elektroniikkatuotteissa, rakennusmateriaaleissa ja lääkinnällisissä laitteissa.

Tässä NonHazCity 3 -hankkeessa keskitytään rakentamiseen ja rakennusmateriaaleihin. Ftalaaatteja voi olla lattiapäällyste- ja katemateriaaleissa, vesiputkissa, julkisivupaneeleissa, kaapeleissa, matoissa, ikkunankarmeissa, räystäskouruissa, pinnoitteissa, tiivisteaineissa ja monissa muissa tuotteissa.

Haittavaikutukset

Altistuminen ftalaaatteille voi aiheuttaa haitallisia terveysvaikutuksia: useat ryhmän aineet ovat lisääntymiselle vaarallisia ja hormonitoimintaa häiritseviä kemikaalilainsäädännön (CLP-asetus 2024) mukaan. Ryhmään kuuluvien aineiden kemiallinen rakenne on samankaltainen kuin naissukupuolihormoni estrogeenin, mikä saattaa vaikuttaa muun muassa miesten lisääntymisterveyden kehitykseen sekä vähentää siittiöiden määrää ja laatua (Kemikalinspektionen 2015).

Lainsäädäntö

Monilla ftalaaateilla on EU:n CLP-asetuksen mukainen yhdenmukaistettu luokitus, ja noin 20 ainetta on ehdokasluettelossa, mikä tarkoittaa, että ne ovat EU:n REACH-asetuksen mukaan erityistä huolta aiheuttavia aineita. Useat ftalaatit sisältyvät myös REACH-asetuksen liitteeseen XVII aineina, joiden käyttöä leluissa ja lastenhoitotarvikkeissa on rajoitettu.

Dietyyliheksyyliftalaatti (DEHP) oli pitkään eniten tuotettu ftalaatti, mutta sen käyttöä on sittemmin rajoitettu. Se on osittain korvattu di-isononyyliftalaatilla (DINP) ja di-isodekyyliftalaatilla (DIDP), joita käytetään nykyään yleisesti.

Altistus

Kuten rakennusmateriaalien hakemistossa todetaan, ihmiset altistuvat ftalaaatteille ihon kautta koskettaessaan ftalaaatteja sisältäviä tuotteita. Toinen altistumisreitti on pöly: ftalaatit adsorboituvat pölyhiukkasiin, joita ihmiset saattavat hengittää. Ftalaaatteja voi myös joutua ulkoympäristössä huleveteen rakennusten pintakerroksista. Niitä voi lisäksi päästä ilmaan ja päätyä sitten huleveteen.

Ftalaaatteja on havaittu myös jätevesissä. Taulukossa 1 on esimerkkejä tutkimuksista, joissa ftalaaatteja on havaittu eri näytetyypeistä. Tukholman puhdistamolietteen DEHP-seurannan mukaan DEHP:n

esiintyminen puhdistamolietteessä on vähentynyt huomattavasti vuodesta 2002 vuoteen 2022 (Tukholman kaupunki 2024).

Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

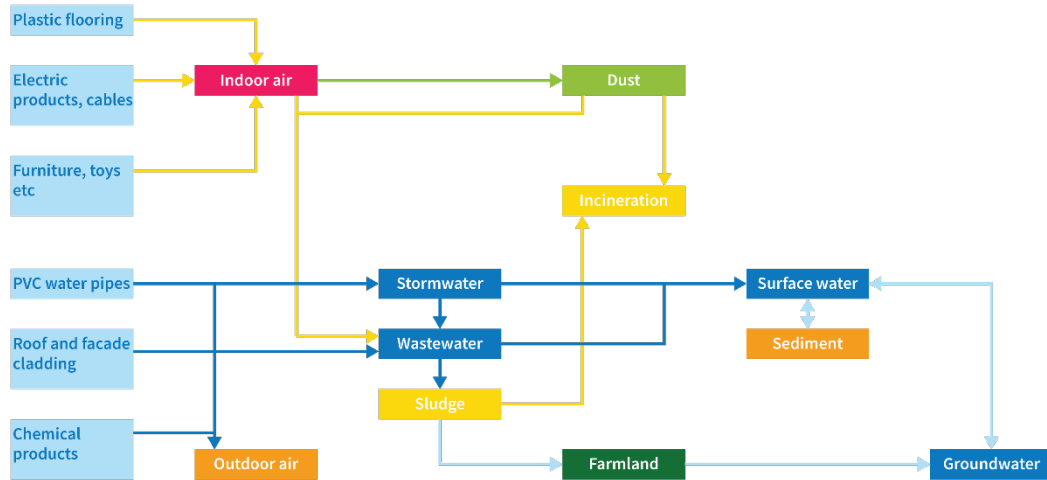
Tieteellisten julkaisujen mukaan ftalaatteja on löydetty pääasiassa sisäympäristöstä eli pölystä ja ilmasta. Niitä on kuitenkin löydetty myös hulevedestä ja puhdistamolietteestä. Taulukossa 1 on lueteltu useita julkaisuja, joissa mainitaan tällaisia löydöksiä.

Materiaaleissa esiintyvien ftalaattien määrän ja pölyssä ja sisäilmassa havaittujen pitoisuuksien välillä havaittiin vastaavuussuhde ruotsalaisessa raportissa, jossa mitattiin materiaalien ja pölyn/ilman sisältämiä aineita kolmessa esikoulussa Ruotsissa (Langer ym. 2020). Esikoulujen materiaalien ja pölyn ftalaattipitoisuuksien vertailussa ennen pintakerrosten peruskorjausta ja sen jälkeen havaittiin selkeä vastaavuussuhde. Sama vastaavuussuhde havaittiin materiaalien sisältämien ftalaattien ja sisäilman osalta näissä esikouluissa. Tulokset osoittavat, että kun materiaalien (lattiapäällyste jne.) ftalaattipitoisuudet pienenevät voimakkaasti, myös pitoisuudet pölyssä ja ilmassa pienenevät.

Taulukko 1. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu ftalaatteja hulevedessä, sisäilmassa, pölyssä, jätevedessä ja puhdistamolietteessä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Dust in preschools	DEHP, BBzP, DnBP, DiBP, DEP, DMP, DiNP, DPHP and DiDP	Larsson et al. 2017	Highest levels: DEHP and DiNP	Sweden
Dust in preschools	DEHP, DiBP, DnBP, DiNP, DiDP	Langer et al. 2021	Highest levels: DiNP	Sweden
Dust in preschools	DMP, DEP, DNBP, DiBP, BBzP, DEHP, DPP, DiNP, DiDP	Christia et al. 2019	Highest levels: DiNP, DHPP	Sweden
Dust in preschools	DiBP, DnBP, BBzP, DEHP, DMP, DEP, DiNP, DiDP, DPHP	Langer et al. 2020	Highest levels: DiNP, DEHP and DiDP	Sweden
Dust in offices	DMP, DEP, DNBP, DiBP, BBzP, DEHP, DPP, DiNP, DiDP	Christia et al. 2019	Highest levels: DiNP, DEHP	Sweden, Netherlands
Dust in homes	DMP, DEP, DNBP, DiBP, BBzP, DEHP, DPP, DiNP, DiDP	Christia et al. 2019	Highest levels: DiNP, DEHP	Netherlands, Ireland, Belgian
Indoor air in preschools	DEHP, DiBP, DnBP, DiNP, DiDP	Langer et al. 2021	Highest levels: DiBP and DnBP	Sweden
Indoor air in preschools	DiBP, DnBP, BBzP, DEHP, DMP, DEP, DiNP, DiDP, DPHP	Langer et al. 2020	Highest levels: DiBP, DnBP, DEHP	Sweden
Indoor air in homes	DMP, DEP, DiBP, DnBP	Sakhi et al. 2019	Highest levels: DEP and DiBP	Norway
Storm water	DEHP, DiNP, DiDP	Müller et al. 2019	Highest levels: DiNP	Sweden
Storm water	DEHP, DiNP, DiDP	Müller et al. 2022	Highest levels: DiNP	Sweden
Storm water	DEHP	Nickel et al. 2021		Germany
Wastewater sludge	DEHP	Stockholm City Environmental barometer	DEHP levels have decreased from ~90 to ~15 µg/g from 2005 to 2022.	Sweden

Ftalaattien lähdekartta



Kuva 3. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien ftalaattien lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 3 lähdekartassa havainnollistetaan, miten ftalaatit leviävät rakennustuotteista ympäristöön. Harmaat laatikot esittävät yleisiä ftalaattien lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Aineita on havaittu sisäympäristössä pääasiassa sisäilmassa ja pölyssä sekä ulkoympäristössä hulevedessä. Yleensä pöly imuroidaan tai siivotaan muutoin, jolloin se päättyy jäteveeseen tai poltetaan. Jätevedestä ftalaatit voivat päätyä pintavesiin tai lietteeseen, ja joissakin maissa lietettä levitetään pelloille. Pohjavedessä olevat ftalaatit voivat päätyä pintavesiin ja pintavedessä olevat ftalaatit esimerkiksi sedimenttiin.

Näytteenoton tulokset

Tutkimuksessa havaittiin ftalaatteja pöly-, hulevesi- ja materiaalinäytteissä.

Ftalaatteja (ja niitä korvaavia muovinpehmentimiä) analysoitiin Tukholmassa ja Västeråsissa sijaitsevista esikouluista kerätyistä pölynäytteistä (yhteensä 26 näytettä). Erilaisia muovinpehmentimiä havaittiin laajalti. Tukholmassa havaittiin yleensä suurimmat DINP-pitoisuudet (1 035 µg/g) ja DINCH-pitoisuudet (1 034 µg/g), ja DEHT-pitoisuudet olivat suurimmat Västeråsissa (1 015 µg/g). Muutamassa esikoulussa DEHP-pitoisuus oli suuri, Tukholmassa 282 µg/g ja Västeråsissa 784 µg/g.

Tukholmasta, Västeråsista, Turusta ja Helsingistä kerätyille hulevesinäytteille tehtiin ftalaattianalyysi. Suurin pitoisuus havaittiin Helsingissä (DINP 1,7 µg/l) ja pienin Tukholmassa, jossa ftalaatteja ei havaittu.

Rakennusmateriaaleja kerättiin neljästä kaupungista: Tukholmasta, Västeråsista, Tallinnasta ja Helsingistä. PVC-muovissa oli erilaisia pehmentimiä (13–20 % DINP:tä, DINCH:iä, DEHT:iä ja DIDP:tä).

PFAS-yhdisteet

Käyttö

Per- ja polyfluoratut alkyyliryhdyhdisteet (PFAS-yhdisteet) ovat polymeerisiä ja ei-polymeerisiä kemikaaleja, jotka koostuvat yli 10 000:sta eri yhdisteestä. Ryhmä voidaan jakaa seuraaviin alaryhmiin:

- perfluorioktaanihapon (PFOA) ja perfluorioktaanisulfonihapon (PFOS) kaltaiset ”klassiset” PFAS-yhdisteet ja niiden esiasteet
- fluoripolymeerit: fluoratuista monomeereistä valmistetut polymeerit (muovit)
- F-kaasut: fluoratut kasviuonekaasut, joilla on suuri kokonaislämmityspotentiaali.

PFAS-yhdisteillä on useita hyödyllisiä ominaisuuksia, joten niitä käytetään laajalti erilaisissa teollisissa ja teknisissä käyttökohteissa sekä kulutustavaroiden valmistuksessa. PFAS-yhdisteet kestävät hyvin lämpöä, säteilyä ja sään vaihteluita, ja ne ovat kemiallisesti reagoimattomia ja hylkivät tahroja. Näiden ominaisuuksien ansiosta niitä käytetään yleisesti pintakäsittelyissä, teollisissa prosesseissa ja lukuisissa muissa käyttökohteissa.

Rakennusmateriaaleissa PFAS-yhdisteitä käytetään tekstiileissä, kuten matoissa ja verhoiluissa, puulevyissä, OSB- ja lastulevyissä, eristysmateriaaleissa, sähkölaitteissa, lattiapäällysteissä, kuten kestävässä linoleumissa ja laminoiduissa muovisissa lattiapäällysteissä, muoviputkissa, asennusvaahdoissa, sisä- ja ulkomaaleissa, laasteissa, pinnoitteissa, tiivisteaineissa ja rakennuskalvoissa.

Haitalliset vaikutukset

Erittäin vahvan hiili-fluorisiteensä ansiosta PFAS-yhdisteet ovat äärimmäisen vastustuskykyisiä hajoaamiselle, mistä syystä niitä kutsutaankin ”ikuisuuskemikaaleiksi”. Monet PFAS-yhdisteet ovat lisäksi ympäristössä leviäviä, ja niitä esiintyy pinta- ja pohjavesissä, maaperässä, sedimentissä sekä eliöstössä. Jotkin PFAS-yhdisteet ovat biologisesti kertyviä eli niiden pitoisuudet kasvavat eliöissä ajan myötä. Tämän vuoksi ne saastuttavat ravintoketjuja. PFAS-yhdisteiden tunnettuja haittavaikutuksia ovat hormonitoimintaa häiritsevät vaikutukset, vaarallisuus lisääntymiselle, karsinogeenisuus, maksavauriot ja immuunivasteen heikentyminen. Monien PFAS-yhdisteiden toksikologista profiilia ei ole tutkittu, mutta useilla niistä epäillään olevan samanlaisia haittavaikutuksia kuin tutkituilla yhdisteillä.

Lainsäädäntö

Tällä hetkellä PFOS-, PFOA- ja PFHxS-yhdisteiden sekä niiden suolojen ja niihin liittyvien yhdisteiden käyttöä säännellään maailmanlaajuisesti pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan Tukholman yleissopimuksen nojalla. Pitkäketjuisia PFCA-yhdisteitä (hiiliketjun pituus C9–21) on ehdotettu lisättäväksi yleissopimukseen maailmanlaajuisesti käytöstä poistettaviksi aineiksi. EU:ssa PFCA-yhdisteiden (C9–14), niiden suolojen ja esiasteiden käyttöä on rajoitettu. Lisäksi REACH-asetuksen erityistä huolta aiheuttavien aineiden ehdokasluettelossa on useita PFAS-yhdisteitä, kuten PFBS, PFHxS ja PFHpA. Ehdotus PFAS-yhdisteiden, myös fluoripolymeerien, ryhmäperusteisesta käyttökiellosta on parhaillaan käsiteltävänä EU:ssa.

Altistus

Ihmisten pääasiallinen altistumisreitti PFAS-yhdisteille on elintarvikkeiden ja juomaveden kautta, joihin PFAS-yhdisteitä päätyy teollisuus- ja talousjätevesien, hulevesien, ilmansaastelaskeuman ja suorien päästöjen kautta (esimerkiksi palontorjunnassa käytettävistä AFFF-kalvovahtonesteistä). Altistus voi tapahtua myös pölyä tai ilmassa olevaa haihtuvaa PFAS-yhdistettä hengittämällä tai ihon läpi imeytymisen tuloksena.

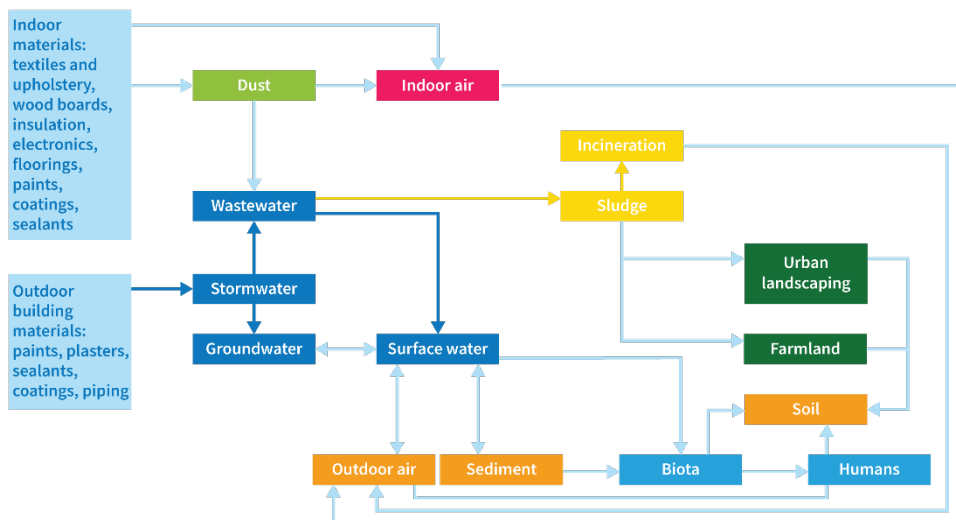
Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

PFAS-yhdisteitä käytetään erilaisissa ulko- ja sisärakennusmateriaaleissa. Sisällä käytettävistä materiaaleista PFAS-yhdisteitä (haihtuvia yhdisteitä) voi päätyä pölyyn tai sisäilmaan. Ulkotiloissa PFAS-yhdisteitä voi päästä maaperään tai pinta- ja pohjavesiin valumavesien kautta tai vapautua suoraan ilmaan. Rakennusmateriaalien lisäksi PFAS-yhdisteitä käytetään muissa kulutustavaroissa ja teollisissa prosesseissa, joista niitä voi vapautua ympäristöön.

Taulukko 2. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu PFAS-yhdisteitä sisäilmassa, pölyssä, hulevedessä, jätevedessä ja eliöstössä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Dust in homes	PFSAs, PFCAs, PFPAs, PAPs, FOSAs, FOSEs, FTOHs, PFOSAs	Poonthong et al, 2020. de la Torre et al. 2019	Highest exposure to and prevalence of perfluoro carboxylic acids	Norway, Belgium, Italy, Spain
Indoor air in homes	Precursors of PFAAs	Poonthong et al, 2020	Highest exposure to precursors of PFOA and PFOS through air	Norway
Dust in preschools	PFSAs, PFCAS, PAPs, FOSAs	Giovanoulis et al. 2019	Highest concentrations of diPAPs	Sweden
Stormwater	PFSAs, PFCAs	Vahtera et al. 2022. Nickel et al. 2021		Finland, Germany
Wastewater sludge	Ultrashort PFAS, PFCAs, FTSAs, FTCAs, PAPs, PFSAs, FOSAs, PFPAs, PFPIAs, EOF	Fredriksson et al. 2022, Kärman et al. 2019	Predomination of precursor and intermediate PFAS, temporal decline in C8 PFAS	Sweden, Faroe islands, Norway, Denmark, Finland
Wastewater effluent	Ultrashort PFAS, PFPIAs, PFPAs, PFSA and PFCA precursors, PFCAs, PFSAs, EOF	Kärman et al. 2019, Nickel et al. 2021	PFCAs, PFSAs and ultrashort PFAS dominating	Greenland, Iceland, Faroe islands, Norway, Denmark, Sweden, Finland, Germany
Surface water	Ultrashort PFAS, PFPIAs, PFPAs, PFSA and PFCA precursors, PFCAs, PFSAs, EOF	Kärman et al. 2019	Highest concentrations for PFCAs and PFSAs over other groups of PFAS	Greenland, Island, Faroe islands, Norway, Denmark, Sweden, Finland
Soil	PFCAs, PFSAs, FTSA, FOSA, FOSAA, diPAPs, doSAmPAP, FOSEs, TOP assay	Reinikainen et al. 2024, Wellnitz et al. 2023, Söregård et al. 2022		Sweden, Germany, Finland
Bird eggs	Ultrashort PFAS, PFPIAs, PFPAs, PFSA and PFCA precursors, PFCAs, PFSAs, EOF	Kärman et al. 2019	Highest concentrations for PFCAs and PFSAs over other groups of PFAS	Greenland, Iceland, Faroe Islands, Sweden
Marine mammals	Ultrashort PFAS, PFPIAs, PFPAs, PFSA and PFCA precursors, PFCAs, PFSAs, EOF	Kärman et al. 2019	Highest concentrations for PFCAs and PFSAs over other groups of PFAS	Greenland, Faroe islands, Denmark
Terrestrial mammals	Ultrashort PFAS, PFPIAs, PFPAs, PFSA and PFCA precursors, PFCAs, PFSAs, EOF	Kärman et al. 2019	Highest concentrations for PFCAs and PFSAs over other groups of PFAS	Greenland, Iceland, Sweden, Finland
Fish	Ultrashort PFAS, PFPIAs, PFPAs, PFSA and PFCA precursors, PFCAs, PFSAs, EOF	Kärman et al. 2019	Highest concentrations for PFCAs and PFSAs over other groups of PFAS	Greenland, Denmark, Norway, Sweden, Iceland, Faroe islands, Norway, Denmark, Sweden, Finland

Source map of PFAS



Kuva 4. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien PFAS-yhdisteiden lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 4 lähdekartassa havainnollistetaan, miten PFAS-yhdisteet leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä PFAS-yhdisteiden lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. PFAS-yhdisteitä esiintyy erilaisissa näytetyypeissä, kuten sisätilojen pölyssä, sisäilmassa, pintavesissä, jätevesissä, sedimenteissä ja eliöstössä.

Näytteenoton tulokset

Tutkimuksessa analysoitiin PFAS-yhdisteitä, ja niitä havaittiin useissa näytetyypeissä. Hulevesien PFAS-yhdistenäytteitä otettiin Tukholmasta, Västeråsista, Helsingistä ja Turun seudulta. Suurimmat pitoisuudet havaittiin Tukholmassa yhtä Helsingissä sijaitsevaa näytteenottopaikkaa lukuun ottamatta. Västeråsissa pitoisuudet olivat pieniä.

Vain Tukholmassa otettiin näytteitä jätevedestä, joista analysoitiin 11 PFAS-yhdistettä. Niitä todettiin esiintyvän yleisesti määritysrajasta 30 ng/l:ään ulottuvalla alueella.

Pölystä PFAS-yhdisteitä analysoitiin Tukholmassa ja Västeråsissa sijaitsevilla esikouluissa, joista otettiin 26 näytettä. Erilaisia PFAS-yhdisteitä havaittiin laajalti.

Bisfenolit

Käyttö

Bisfenolit ovat laajalti tuotettava kemikaaliryhmä, jota käytetään monenlaisissa käyttökohteissa, pääasiassa erilaisten muovien ja kemiallisten tuotteiden synteeseissä ja toiminnallisina lisäaineina. Bisfenoli A on tämän luokan tunnetuin kemikaali. Sen tärkeimpiä käyttötarkoituksia ovat polykarbonaattimuovin ja epoksihartsien valmistus (yli 95 prosenttia kaikesta bisfenoli A:sta). Muita merkittäviä yhdisteitä ovat bisfenolit F, S ja AF sekä TBBPA.

Bisfenoli A:n käyttöä on viime aikoina alettu rajoittaa, mikä on johtanut siihen, että bisfenoli S:n, bisfenoli F:n, bisfenoli AF:n ja TBBPA:n kaltaisista vaihtoehdoista on tullut tärkeimpiä sitä korvaavia aineita, vaikka niiden hormonitoimintaa häiritsevien vaikutusten epäillään olevan samankaltaisia kuin bisfenoli A:n.

Rakennusalaalla bisfenolien lähteitä ovat polykarbonaattimuovimateriaalit, kuten polykarbonaattikatteet (kuistien ja kasvihuoneiden katteet ja kasvihuoneiden seinät), epoksihartsit (komposiittilattiapäällysteet, nestemäisenä levitettävät lattiapäällysteet, metallipinnoitteet, muut komposiittimateriaalit, teräsbetoni, korkean suorituskyvyn pinnoitteet), PVC-muovi (ja siitä valmistetut tuotteet, kuten PVC-lattiapäällysteet, -katteet, -seinäverhoukset ja -putkistot; Lamprea ym. 2018), muovituotteiden kerrokset, tiivistyskalvot, sähkö- ja elektroniikkalaitteet, kierrätetty muovi ja muut muovituotteet.

Haittavaikutukset

Kuten Rakennusmateriaalien hakemistossa (NHC3 2023) todetaan, bisfenoli A on todistetusti hormonitoimintaa häiritsevä aine. Se on lisääntymiselle vaarallista ja sillä on haitallisia vaikutuksia ihmisten kehitykselle ja neurologisille toiminnoille. Bisfenoli A on lisäksi myrkyllistä vesieliöille. Bisfenoli A hajoaa helposti ympäristössä, mutta koska sitä käytetään ja pääsee ympäristöön niin suuria määriä, sitä esiintyy monissa biologisissa matriiseissa. Monien bisfenolien aiheuttamat terveysongelmat ovat samankaltaisia. Monilla bisfenoli A:n vastineilla on ollut laboratoriotutkimuksissa hormonitoimintaa häiritseviä, sytotoksisia, genotoksisia ja neurotoksisia sekä lisääntymiselle myrkyllisiä ja dioksiinien kaltaisia vaikutuksia. Ympäristössä bisfenoleilla on hormonitoimintaa häiritseviä vaikutuksia, ja ne ovat pysyviä, biokertyviä ja myrkyllisiä tai erittäin hitaasti hajoavia ja erittäin hyvin biokertyviä aineita. Bisfenoleilla AF, B, F ja S on osoitettu olevan bisfenoli A:n kaltaisia tai vielä haitallisempia mies- ja/tai naishormonien toimintaa häiritseviä vaikutuksia (Chen ym. 2016).

Lainsäädäntö

Vuonna 2021 Euroopan kemikaalivirasto tunnisti 148 bisfenolista ja bisfenolijohdannaisesta koostuvan kemikaaliyhdisteiden ryhmän. Todettiin, että 34 bisfenolin käytön rajoittaminen EU:n kemikaalilainsäädännön eli REACH-asetuksen avulla saattaa olla tarpeen, koska ne voivat häiritä hormonijärjestelmien toimintaa ja vaikuttaa lisääntymiseen. Tällä hetkellä bisfenoli A:n käyttörajoitukset rajoittuvat lämpöpaperiin, lasten juomapulloihin ja elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuviin materiaaleihin.

Vuodesta 2024 lähtien erityistä huolta aiheuttavien aineiden luettelossa on ollut useita bisfenoleja, kuten bisfenoli A (CAS-nro 80-05-7), bisfenoli S (CAS-nro 80-09-1), bisfenoli B (CAS-nro 77-40-7) ja TBBPA (CAS-nro 79-94-7).

Altistus

Vaikka elintarvikkeita pidetään pääasiallisena bisfenoli A:n altistusreittinä, sitä voi myös imeytyä ihon läpi, kun henkilö on kosketuksissa polykarbonaattituotteiden kanssa, tai altistus voi tapahtua bisfenoli A:ta sisältävää sisäilmaa tai pölyä hengittämällä sisäympäristössä. Bisfenoli A:lla on taipumus sitoutua pölyyn/hiukkasiin, ja sitä on havaittu sisäympäristössä (Hahladakis ym. 2022). Sisäilman laatu on huolenaihe, koska bisfenoli A on yhteydessä pölyhiukkasiin. Pölyn nieleminen ja hengittäminen ovat tärkeitä altistumisreittejä erityisesti pikkulapsilla. Työperäinen altistuminen bisfenoli A:lle hengitysteitse on suuri riski. Työntekijöitä tehtailla, joissa käsitellään bisfenoli A:ta, voidaan pitää koko väestön suurimpana riskiryhmänä (Vasiljevic ym. 2021).

Merkittäviä pitoisuuksia muita bisfenoleja, kuten TBBPA:ta, bisfenoli F:ää ja bisfenoli S:ää, esiintyy laajalti kotitalouksien pölyssä, mikä viittaa merkittävään altistumiseen näille kemikaaleille. Muun muassa bisfenoleita AP, A ja P havaittiin myös, mutta paljon pienempiä pitoisuuksia (Wang ym. 2015).

Bisfenolien F ja S vaikutukset mies- ja/tai naishormonien toimintaan ovat samakaltaisia kuin bisfenoli A:n (Rochester ym. 2015).

Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

Bisfenoli A on bisfenoleista eniten tutkittu, koska se on niistä käytetyin ja laajimmalle levinnyt. Näin ollen tieteellisissä tutkimuksissa raportoidaan lähinnä bisfenoli A:n vaihteluista ja määristä.

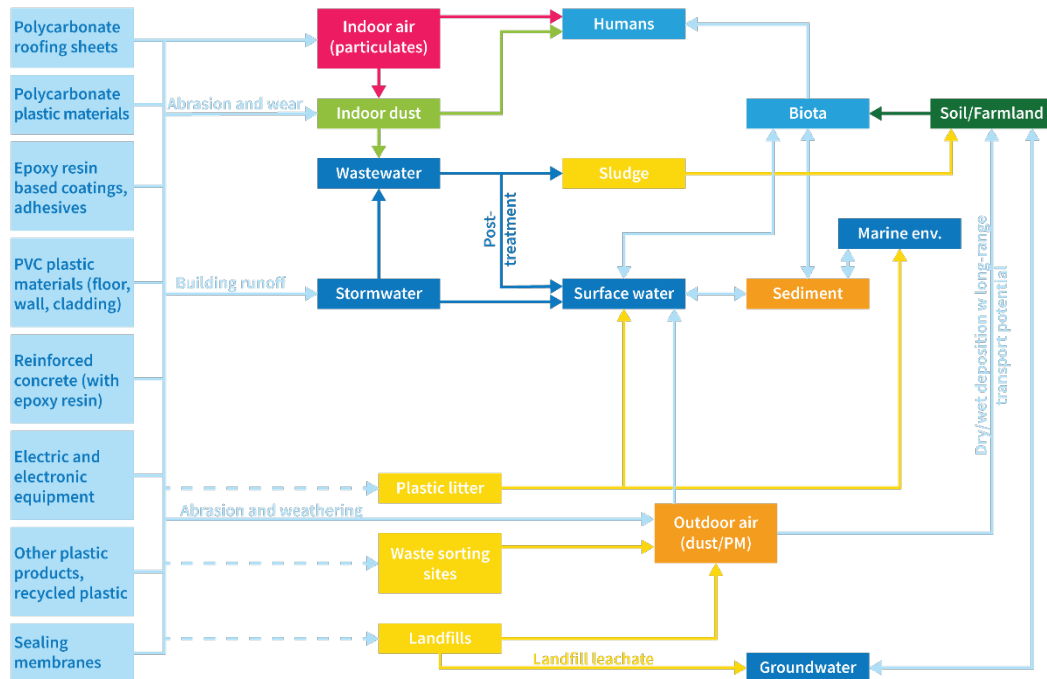
Tieteellisten tutkimusten mukaan bisfenoleja (BPA, BPF, BPAF, BPS, TBBPA ja muut) esiintyy kotitalouksien pölyssä erilaisista muovisista kotitaloustuotteista, sähkö- ja elektroniikkalaitteista sekä rakennusmateriaaleista peräisin olevien päästöjen vuoksi. Rakennusten ulkopintojen osalta bisfenoli A:ta on raportoitu huuhtoutuvan rakennusmateriaaleista sateen vaikutuksesta, mikä vaikuttaa ympäristön saastumiseen. Sitä esiintyy sekä käsittelemättömässä että käsitellyssä jätevedessä. Sitä on havaittu myös puhdistamolietteessä, sillä se sitoutuu lietteeseen. Kotitalousjätteet ovat mahdollinen bisfenolien lähde. Niitä saattaa vapautua jätteiden lajittelu-/käsittelytoimien aikana sekä rapautumisen ja jätteiden hajoamisen kautta. Muovirooska onkin merkittävä bisfenolien lähde meriympäristössä.

Tutkimusten mukaan bisfenoli A:ta voi vapautua ilmaan ja veteen kaatopaikkojen ja jätteenkäsittelylaitosten hajapäästöjen kautta sekä kotitalousjätteen (myös rakennusjätteen) hallitsemattoman polttamisen aikana. Kaatopaikalle sijoittaminen on suurin pohjaveden bisfenoli A:n lähde kaatopaikkojen suotovesien vuoksi. Vaikka bisfenoli A:n puoliintumisaika ilmassa on lyhyt, se sitoutuu hiukkasiin/pölyyn. Näin ollen pölyn kulkeutuminen ilmassa on mahdollinen bisfenoli A:n kaukokulkeutumismekanismi, sillä sitä on havaittu myös syrjäisissä paikoissa.

Taulukko 3. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu bisfenoleja rakennusmateriaaleissa, sisäilmassa, pölyssä, pintavesissä, sedimenteissä, puhdistamolietteessä ja muissa matriiseissa.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Construction materials, stormwater.	BPA	Lamprea, K., et al., 2018.	Found in PVC materials, elastomeric membranes, high performance coatings, polycarbonate materials. Leaching tests with water.	France
Plastic waste emissions into air, dust, groundwater, marine, surface water.	BPA	Hahladakis et al. 2022.	Review study. Plastic waste management – an important pathway of BPA into air and groundwater (from waste management sites, landfills).	Quatar
Indoor air and dust, outdoor air and dust	BPA, BPS, BPZ, BPAF, BPAP, BPP, TBBPA	Vasiljevic et al. 2021.	Review study on bisphenol properties sources and levels in indoor and outdoor air.	Canada
Household dust	BPF, BPA, BPB, BPS, BPZ, BPAP, BPAF, BPP, TBBPA.	Wang et al. 2015.	Measure of different bisphenols in household dust in 12 countries.	US
Landfill leachates	BPA	Urase et al. 2003	BPA detected in landfill leachates.	Japan
Air (aerosols)		Fu et al. 2010.	Bisphenol A in the atmosphere	Japan
Indoor dust, surface water, sediment	BPA, BPS	Qiu et al. 2019	Review study on BPA and BPS occurrence in various matrices, including environmental matrices.	China
Wastewater, sewage sludge	BPA	Mohapatra et al. 2011.	Investigation of occurrence of BPA in influent, effluent wastewater and sludge.	Canada
Surface water, Sediment	BPA	Staples et al. 2018	Long term BPA analysis in surface water and sediment.	Europe, North America.

Source map of bisphenols



Kuva 5. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien bisfenoleiden lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 5 lähdekartassa havainnollistetaan, miten bisfenolit leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä bisfenolien lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Bisfenoleita esiintyy erilaisissa näytetyypeissä, kuten sisätilojen pölyssä, sisäilmassa, pintavesissä ja sedimenteissä.

Näytteenoton tulokset

Tutkimuksen bisfenolianalyysit koskivat pääasiassa pölyä. Tukholman ja Västeråsın esikoulujen pölystä otettiin yhteensä 26 näytettä. Kaikissa näytteissä esiintyi bisfenoleja. Suurimmat bisfenoli A -pitoisuudet havaittiin Tukholmassa ja suurimmat TBBPA-pitoisuudet Västeråsissa.

Organofosfaatit (OPE)

Käyttö

Organofosfaateilla on palonesto-ominaisuuksia, ja niitä käytetään korvaamaan bromattuja palonestoaineita, joiden käyttöä on rajoitettu. Niitä lisätään erilaisiin materiaaleihin, myös rakennusmateriaaleihin, syttyvyyden vähentämiseksi. Niitä voidaan käyttää myös muovinpehmentiminä. Ne eivät muodosta kemiallista sidettä niiden tuotteiden kanssa, joihin ne lisätään, joten ne voivat levitä ympäristöön. Kuten Rakennusmateriaalien hakemistossa (NHC3 2023) todetaan, organofosfaatteja käytetään rakennustuotteissa, esimerkiksi palonestoaineina PVC-muoveissa, polyuretaanimateriaaleissa, -vaahdoissa ja -suihkeissa, huonekaluissa, tekstiileissä ja elektroniikkalaitteissa. Organofosfaatteja sisältäviä palonestoaineita käytetään myös pehmentiminä lattiavahoissa, pinnoitteissa, kestopuoveissa ja epoksihartseissa.

Haittavaikutukset

Eniten keskustelua herättävät klooratut organofosfaatit. Niiden on todettu vaikuttavan haitallisesti neurotoksisuuteen, kehitystoksisuuteen, lisääntymistoimintoihin ja hormonitoimintaa sekä karsinogeenisuuteen. Lisäksi ne ovat biokertyviä ja ympäristössä pysyviä. .

Ilmeneminen ja altistus

Organofosfaatit ovat haitta-aineita, joita esiintyy yleisesti ympäristössä, kuten ilmakehässä, pintavesissä, sisäilmassa, pölyssä, sedimenteissä ja maaperässä. Ihmiset altistuvat organofosfaateille esimerkiksi ihokosketuksen, nielemisen ja hengittämisen kautta. Kolmen klooratun organofosfaatin (TCEP, TCIPP ja TDCIPP) käyttöä lasten leluissa on rajoitettu EU:ssa.

Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

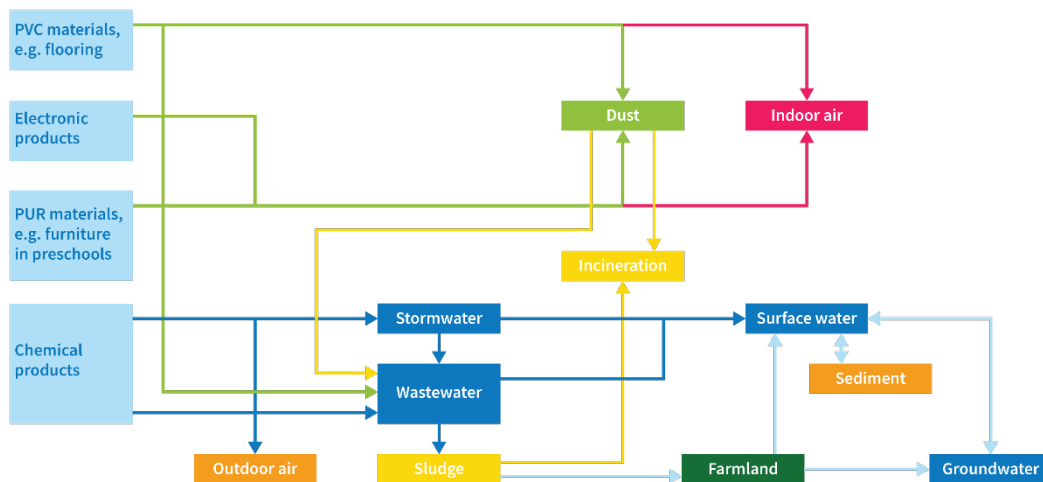
Tieteellisten julkaisujen mukaan organofosfaatteja esiintyy pääasiassa pölyssä ja sisäilmassa. Taulukossa 4 on lueteltu useita julkaisuja, joissa mainitaan tällaisia löydöksiä. Materiaaleissa esiintyvien organofosfaattien määrän ja pölyssä ja sisäilmassa havaittujen pitoisuuksien välillä havaittiin vastaavuussuhde ruotsalaisessa raportissa, jossa mitattiin materiaalien ja pölyn sisältämiä aineita kolmessa esikoulussa Ruotsissa (Langer ym. 2020). Tämä kävi erityisen selväksi, kun organofosfaatteja esikoulujen materiaaleissa ja pölyssä/sisäilmassa analysoitiin ennen ja jälkeen pintakerrosten kunnostamisen. Tulokset osoittavat, että kun materiaalien (lattiapäällyste jne.) organofosfaattipitoisuudet pienenevät voimakkaasti, myös pitoisuudet pölyssä ja ilmassa pienenevät.

Myös muun tyyppisten materiaalien sisältämien organofosfaattien ja sisäilman välillä havaittiin samanlaisia vastaavuussuhteita. Joidenkin uusien bromattujen palonestoaineiden ja organofosfaattien pitoisuudet päiväkotien sisäilmassa ja pölyssä pienenevät merkittävästi, kun palonkestävät torkkumatot korvattiin vaihtoehdoilla, jotka eivät sisällä palonestoaineita (Stubbings ym. 2018). Toisessa tutkimuksessa (Liang ym. 2017) selvitettiin organofosfaattien kulkureittejä eristemateriaaleista sisäympäristöön.

Taulukko 4. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa organofosfaatteja havaittiin pääasiassa sisäilmassa ja pölyssä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Dust in preschools	TCEP, TCPP, TDCPP, TBOEP, TPhP	Langer et al. 2020	Highest levels found of TBOEP, TCEP and TDCPP	Sweden
Dust in preschools	TCEP, TCPP, TDCPP, TBOEP, TPhP	Langer et al. 2021	Highest levels found: TCEP, TDCPP, TBOEP	Sweden
Dust in homes and preschools	TIBP, TNBP, TCEP, TCIPP, TDCIPP, TBOEP, TPHP, EHDPP, TEHP, TMPP	Langer et al. 2016	Highest levels found: TBOEP and TCEP	Denmark
Dust in preschools	TBEP, TCPP, TPhP	Fromme et al. 2014	Highest levels found: TBEP.	Germany
Dust	TBOEP, TCIPP TiBP, TnBP, TE, TCEP, TDCPP, TCPP and more	Zhou et al. 2017a	Highest levels found: TBOEP and TCIPP	Germany
Indoor air		Langer et al. 2021		
Indoor air in preschools	TBEP, TCPP, TPhP	Fromme et al. 2014	Highest levels found: TBEP.	Germany
Indoor air	TiBP, TnBP, TE, TCEP, TDCPP, TCPP and more	Zhou et al. 2017a	Highest levels found: TCPP, TiBP, TnBP.	Germany
Indoor air in homes and preschools	TEP, TIBP, TBP, TCEP, TCPP, TBOEP, TPhP, EHDPP	Langer et al. 2020	Highest levels found of TIBP, TCEP and TCPP	Sweden

Source map of organophosphate esters



Kuva 6. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien organofosfaattien lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 6 lähdekartassa havainnollistetaan, miten organofosfaatit leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä organofosfaattien lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Organofosfaatteja on sisätilojen pölyssä ja sisäilmassa. Yleensä pöly imuroidaan tai siivotaan muutoin, jolloin se päätyy jäteveteen tai poltetaan. Liang ym. esittivät Journal of Hazardous Materials -lehdessä julkaistussa tutkimuksessaan (2017) yksityiskohtaisesti organofosfaattien kulkureittejä eristysmateriaaleista sisäympäristöön, esimerkiksi sisäilmaan.

Näytteenoton tulokset

Tutkimuksessa analysoitiin hulevesien, jätevesien ja materiaalien organofosfaattipitoisuuksia. Hulevesinäytteitä kerättiin Tukholmasta, Västeråsista, Turun seudulta ja Helsingistä. Pieniä pitoisuuksia TCPP:tä havaittiin Tukholmassa (neljässä paikassa), Turun seudulla (kaikissa paikoissa) ja Helsingissä (yhdessä paikassa), mutta sitä ei havaittu ollenkaan Västeråsissa. TCPP tunnetaan rakennustuotteissa, kuten vaahtomateriaaleissa, käytettävänä palonestoaineena. Byggarubedömningenin mukaan TCPP:tä löytyy noin 50 tuotteesta, joissa sen pitoisuus on 3–20 prosenttia. Suurin osa tuotteista on vaahto-/polyuretaanituotteita, kuten vaahtomuovieristeitä, saumavaahtoja ja eristekalvon muodostavia tiivisteitä.

Jätevesinäytteitä otettiin Tukholmasta. TCPP oli havaituista organofosfaateista yleisin.

Tukholmasta, Västeråsista, Tallinnasta ja Helsingistä kerättyistä rakennusmateriaaleista TCPP:tä havaittiin ainoastaan Tallinnasta kerätystä eristämateriaalista (3,7 prosenttia TCPP:tä).

Bromatut palonestoaineet

Käyttö

Bromatut palonestoaineet ovat ryhmä halogenoituja orgaanisia kemiallisia yhdisteitä, joita käytetään lisäaineina erilaisissa kulutustavaroissa ja teollisuustuotteissa, myös rakennusmateriaaleissa, syttyvyyden vähentämiseksi ja palon leviämisen hidastamiseksi. Niiden käyttäminen on joskus tarpeen kansallisten tai kansainvälisten paloturvallisuusvaatimusten täyttämiseksi.

Tämän ryhmän tärkeimpiä kemikaaleja ovat perinteisesti olleet polybromatut difenyylietterit (PBDE), heksabromisyklododekaani (HBCDD) ja tetrabromibisfenoli A (TBBPA). Vaikka suurin osa kielletyistä bromatuista palonestoaineista on nykyään korvattu orgaanisia fosforiyhdisteitä sisältävillä palonestoaineilla (OPFR), markkinoilla on edelleen muita bromattuja palonestoaineita, joiden käyttöä ei ole rajoitettu. Tällä hetkellä käytössä olevia bromattuja palonestoaineita ovat esimerkiksi tetrabromibisfenoli A (TBBPA) ja jotkin uudet bromiyhdisteet. Vanhoja palonestoaineita esiintyy edelleen muovituotteissa, sillä niitä tulee markkinoille vanhojen muovituotteiden kierrätyksen kautta.

Bromattuja palonestoaineita esiintyy polystyreenieristeissä (EPS ja XPS; erityisesti HBCDD:tä), muissa eristysmateriaaleissa, kiinnitys- ja tiivistysvaahdoissa, elastomeerisissä vaahdoissa, polyuretaanivaahdoissa, lattianpäällysteissä, erilaisissa muovituotteissa, elektroniikkalaitteissa, huonekaluissa, kodintekstiileissä ja verhoiluissa sekä materiaaleissa, jotka on valmistettu kierrätysmuovista, polykarbonaatista ja epoksihartseista.

Haittavaikutukset

Kuten Rakennusmateriaalien hakemistossa (NHC3 2023) todetaan, monet polybromatut difenyylietterit ja heksabromisyklododekaani ovat hitaasti hajoavia, leviäviä ja myrkyllisiä kemikaaleja, joilla on biokertyviä ominaisuuksia. Monilla markkinoilla tällä hetkellä olevilla bromatuilla palonestoaineilla tiedetään tai epäillään olevan syöpää aiheuttavia, mutageenisia ja/tai hormonitoimintaa häiritseviä vaikutuksia.

Lainsäädäntö

- Pentabromidifenyylietterin (EC-numero 251-084-2) ja oktabromidifenyylietterin (EC-numero 251-087-9) käyttö kiellettiin EU:ssa vuonna 2003, ja myöhemmin kiellettiin myös dekabromidifenyylietterin (EC-numero 214-604-9) käyttö.
- Vuonna 2010 kiellettiin pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan asetuksen nojalla tetra-, penta-, heksa- ja heptabromidifenyylietterin käyttö, ja myöhemmin myös dekabromidifenyylietterin.
- Heksabromisyklododekaani ja sen tärkeimmät diastereoisomeerit sisällytettiin REACH-asetuksen lupaluetteloon vuonna 2011, ja niiden käyttö kiellettiin myös pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan asetuksen nojalla.
- TBBPA (EC-numero 201-236-9) ja BTBPE (EC-numero 253-692-3) on karsinogeenisyytensä ja hitaan hajoavuutensa ja voimakkaan biokertyvyytensä vuoksi tunnistettu äskettäin erityistä huolta aiheuttaviksi aineiksi.

- Vuonna 2011 RoHS-direktiivillä otettiin käyttöön polybromattujen bifenyyliden (PBB) ja polybromidifenyylieetterien (PBDE) käyttörajoituksia sähkö- ja elektroniikkalaitteissa (Euroopan kemikaalivirasto 2023).

Joitakin uusia bromattuja palonestoaineita käytetään kuitenkin tällä hetkellä ja niitä löytyy sisäympäristöistä (Fromme ym. 2014). Lisäksi vanhoja bromattuja palonestoaineita päätyy raaka-ainekiertoon muovituotteiden kierrätyksen kautta.

Altistus

Tärkeimmät ihmisten altistumisreitit bromatuille palonestoaineille liittyvät elintarvikkeisiin, ja sisätiloissa bromatuille palonestoaineille altistutaan pölyn nielemisen sekä pölyn ja ilman hengittämisen kautta (Fromme ym. 2016). Bromattuja palonestoaineita voi vapautua rakennusmateriaaleista hankauksen tai haihtumisen kautta. Pysyvyytensä ja suurten käyttömääriensä vuoksi niiden pitoisuudet ympäristössä ovat maailmanlaajuisesti korkeita, vaikka niiden valmistusta ja käyttöä on rajoitettu. Polybromatut difenyylieetterit (PBDE) voivat kulkeutua ilmakehässä pitkiä matkoja, ja niitä on havaittu myös arktisella alueella ja muilla syrjäisillä alueilla (Möller ym. 2011).

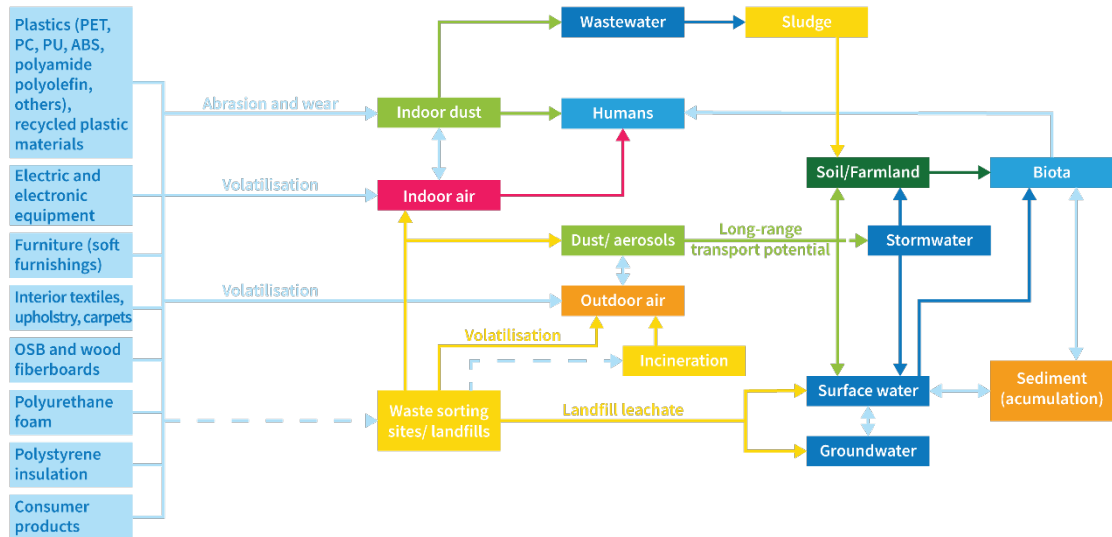
Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

Tieteellisten tutkimusten mukaan kotitalouspölyssä ja sisäilmassa on bromattuja palonestoaineita ja rakennusmateriaalit ovat yksi niiden lähteistä. Rakennusmateriaaleista peräisin oleville bromatuilla palonestoaineille altistutaan pääasiassa pölyn ja sisäilman hengittämisen ja nielemisen kautta. Bromattuja palonestoaineita on myös kaikkialla ympäristössä, jopa syrjäisillä (esim. arktisilla) alueilla. Tutkimusten mukaan tietyt toimet, kuten puhdistustavat ja haitallisia aineita sisältävien kotitalouksineiden poisheittäminen, voivat vaikuttaa merkittävästi pitoisuuksiin sisätilojen pölyssä (Sugeng ym. 2018).

Taulukko 5. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu bromattuja palonestoaineita rakennusmateriaaleissa, sisäilmassa, pölyssä, pintavesissä, sedimenteissä ja puhdistamolietteessä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Household equipment, construction materials.	PBDEs, HBCDDs, novel BFRs (NFRs), such as TBBPA	Vojta et al. 2017	Significant concentration of BFRs found in almost all matrixes analysed. Waste sorting and waste disposal sites are a significant pathway for BFR contamination.	Czech Republic
Freshwater samples, freshwater sediment and freshwater biota.	PBDEs, HBCDDs, novel brominated FRs (NBFRs)	Iqbal et al. 2017	A review study that reviews many previous investigations.	Various (but including Europe)
Atmosphere (air samples), sewage sludge, aquatic and surface sediments, terrestrial and aquatic biota	PBDEs, HBCDDs, novel brominated FRs (NBFRs)	Law et al. 2006	A review study that reviews many previous investigations.	Europe
Indoor dust and indoor air.	PBDEs, bromobenzenes, novel BFRs	Venier et al. 2016	Measurable and even significant concentrations of BFRs are found.	Czech Republic, US, Canada.
Indoor dust and indoor air.	PBDEs, HBCDDs, decabromodiphenyl ethane (DBDPE)	Wemken et al. 2019	Measurable and even significant concentrations of BFRs are found.	Ireland, UK.
Indoor dust and indoor air.	PBDEs, HBCDDs, novel brominated FRs (NBFRs)	Malliari et al. 2017	A review study that reviews many previous investigations.	Worldwide
Air and seawater in the Arctic	PBDEs, NFRs (HBB, DPTE, PBT).	Möller et al. 2011	BFRs detected in air and seawater samples	European Arctic (East Greenland sea)
Sewage sludge	PBDEs, TBBPA	Öberg et al. 2002	Main sources of BFRs in sewage sludge are certain industries.	Sweden

Source map of brominated flame retardants



Kuva 7. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien bromattujen palonestoaineiden lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 7 lähdekartassa havainnollistetaan, miten bromatut palonestoaineet leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä bromattujen palonestoaineiden lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Bromattuja palonestoaineita esiintyy eri matriiseissa, kuten sisätilojen pölyssä, sisäilmassa ja juomavedessä.

Näytteenoton tulokset

Bromattuja palonestoaineita havaittiin esikoulujen pölyssä Tukholmassa ja Västeråsissa. Västeråsissa otettiin kahdeksan näytettä, joissa havaittiin pieniä pitoisuuksia kahta ainetta. Tukholmassa havaittiin TBBPA:ta 15:ssä 19 pölynäytteestä. Keskimääräinen pitoisuus oli 0,19 µg/g.

Biosidit

Käyttö

Biosidejä hyödynnetään laajalti rakennusteollisuudessa rakennusmateriaalien kestävyys- ja toiminnallisuuden parantamiseen. Biosidejä käytetään maaleissa, liimoissa, puutuotteissa ja erilaisissa pinnoitteissa. Biosidien tarkoituksena on estää sienten, bakteerien ja levien kaltaisten mikro-organismien aiheuttamia vaurioita. Biosidit ovat olennaisen tärkeitä materiaalien käyttöön pidentämisessä ja rakenteellisen eheyden varmistamisessa, mutta niiden käyttöön liittyy merkittäviä ympäristö- ja terveysnäkökohtia.

Rakennusmateriaaleissa käytetyt biosidit on suunniteltu suojaamaan näitä materiaaleja mikrobivaurioilta, mutta niiden esiintyminen ympäristössä käytön jälkeen on merkittävä huolenaihe. Tässä osiossa käsitellään sitä, miten nämä aineet pääsevät ympäristöjärjestelmiin ja vaikuttavat niihin, keskittyen päästömekanismiin, ekosysteemityyppeihin, joihin vaikutukset kohdistuvat, sekä laajempiin ekologisiin seurauksiin.

Altistus

Rakennusalaalla biosidejä käytetään useista tärkeistä syistä:

- **Maalit ja pinnoitteet:** biosidit estävät homeen kasvua maalatuilla pinnoilla sekä sisä- että ulkotiloissa, säilyttävät materiaalien esteettiset ominaisuudet ja estävät niiden hajoamista.
- **Puunsuoja-aineet:** puun käsitteleminen biosideilla suojaa kosteudelle ja biologisille organismeille alttiita rakenneosia laho- ja hyönteisvaurioilta.
- **Liimat ja tiivistäaineet:** näissä tuotteissa biosidit estävät mikrobien aiheuttamaa hajoamista, mikä voisi vaarantaa materiaalien eheyden ja suorituskyvyn ajan mittaan.

Pyritionisinkin, kuparipohjaisten yhdisteiden ja isotiatsolinonien kaltaiset biosidit ovat esimerkkejä tällaisissa tarkoituksissa yleisesti käytetyistä biosideista. Niitä käytetään, koska ne tehoavat monenlaisiin mikrobeihin.

Haittavaikutukset

- Rakennusmateriaaleissa olevien biosidien ekologiset ja terveydelliset vaikutukset voivat olla huomattavia ja vaikuttaa moniin ympäristön osa-alueisiin.
- Myrkyllisyys vesieliöille: Monet biosidit ovat erittäin myrkyllisiä vesieliöille. Tutkimukset ovat osoittaneet, että triklosaanin ja kuparipohjaisten yhdisteiden kaltaisia biosidejä sisältävät valumavedet voivat olla erityisen haitallisia kaloille, sammakkoeläimille ja selkärangattomille, sillä ne häiritsevät lisääntymisjärjestelmien toimintaa ja vaikuttavat luonnon monimuotoisuuteen. Esimerkiksi Andrews ym. tutkimus (2022) on osoittanut, että valumavedessä olevat biosidit voivat olla kaloille lähes hengenvaarallisia, sillä ne muuttavat hormonitasoja ja lisääntymiskäyttäytymistä.
- Maaperän saastuminen: Maaperään liukenevat biosidit voivat muuttaa maa-aineksen kemiallista koostumusta ja mikrobistoa. Tämä voi vaikuttaa viljavuuteen ja maaperän ekosysteemeistä riippuvaisten kasvien ja eläinten terveyteen. Biosidien kertyminen maaperään voi lisäksi aiheuttaa riskejä ihmisten terveydelle suoran kosketuksen tai saastuneen pohjaveden ja viljelykasvien kautta.
- Ilmanlaatu ja ihmisten terveys: Biosidien haihtuminen vaikuttaa sisä- ja ulkoilman laatuun. Mahdollisia terveysvaikutuksia ovat esimerkiksi hengitysvaikeudet, ihoärsytys ja muut allergiset reaktiot. Jatkuva altistuminen biosideilla kontaminoituneelle ilmalle sisätiloissa on liitetty astman ja muiden hengitystiesairauksien riskin lisääntymiseen.

Lainsäädäntö

Biosidejä säännellään Euroopan unionissa ensisijaisesti biosidiasetuksella, jolla varmistetaan, että biosidit ovat turvallisia käyttää eivätkä aiheuta ympäristölle kohtuuttomia riskejä. Tiukoista säädöksistä huolimatta biosidien pysyvyys ympäristössä on osoitus siitä, että biosidejä sisältävien materiaalien käyttöä ja hävittämistä koskevia ohjeita on tehostettava ja mahdollisesti tiukennettava.

Biosidien käyttöä rakennusmateriaaleissa säännellään tiukasti erityisesti EU:ssa, jossa biosidiasetuksella (asetus [EU] N:o 528/2012) on ratkaiseva merkitys niiden turvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden varmistamisessa. Se, että ympäristöstä otetuista näytteistä löydetään jatkuvasti biosidejä viittaa kuitenkin alueisiin, joilla sääntelykehyksiä voi olla tarpeen vahvistaa ja joilla voitaisiin toteuttaa uusia vaikutusten lieventämistoimenpiteitä.

Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

Biosidien käyttö rakennusmateriaaleissa herättää hyödyistään huolimatta useita ympäristöä ja terveyttä koskevia huolia. Biosidejä voi joutua ympäristöön useiden ensisijaisten reittien kautta, jotka kaikki liittyvät niiden käyttöön rakentamisessa:

- **Huuhtoutuminen ja valumavesi:** Sateiden aikana biosidejä voi huuhtoutua ulkotilojen rakennusmateriaaleista rakennuksia ympäröivään maaperään ja vesistöihin. Valumaveden mukana voi kulkeutua myös huomattavia määriä biosidejä, mikä voi aiheuttaa vesiekosysteemejä häiritsevää pilaantumista muista kuin pistekuormituslähteistä. Biosidit eivät usein sitoudu pysyvästi materiaaleihin, joissa niitä käytetään, kuten maaleihin ja puunkäsittelyaineisiin. Tällaisista aineista voi huuhtoutua biosidejä ajan mittaan sään vaikutusten, sateiden tai jopa rutiininomaisten puhdistusprosessien vuoksi. Esimerkiksi ulkomaaleissa olevia biosidejä voi huuhtoutua rakennusten pinnoilta sateiden aikana, jolloin ne päätyvät hulevesijärjestelmiin ja lopulta vesiympäristöön.
- **Haihtuminen:** Biosidien sisältämiä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteitä) voi vapautua sisäilmaan, jolloin ne heikentävät ilmanlaatua ja aiheuttavat terveysriskejä rakennuksen käyttäjille. Pitkäaikainen altistuminen VOC-yhdisteille on liitetty hengitysongelmiin, allergisiin reaktioihin ja muihin terveysongelmiin. Joitakin biosidejä, erityisesti sisätiloissa maalien ja tiivistemassojen kaltaisissa tuotteissa käytettäviä, voi haihtua ilmaan asennuksen aikana ja sen jälkeen. Tämä edistää sisäilman pilaantumista, ja kun biosidit pääsevät ilmanvaihdon kautta ulkoilmaan, niistä voi tulla osa kaupunki- ja maaseutualueiden ilmanlaatuun vaikuttavaa ilmansaastekuormitusta.
- **Hävittäminen ja hajoaminen:** Biosideillä käsiteltyjen rakennusmateriaalien hävittäminen jätteenä voi johtaa pahempaan ympäristön saastumiseen. Koska materiaalit hajoavat kaatopaikoilla, biosidejä voi huuhtoutua pohjaveteen, mikä aiheuttaa pitkäaikaisia riskejä ympäristölle ja ihmisten terveydelle. Biosideillä käsiteltyjen rakennusmateriaalien hävittäminen käyttöikänsä lopussa voi lisäksi olla merkittävä ympäristön saastumisen lähde. Kaatopaikoille vietävät materiaalit saattavat hajota, jolloin biosidejä pääsee kaatopaikan suotoveteen, mikä voi myöhemmin saastuttaa pohjavettä tai pintavesiä.

Taulukossa 6 on lueteltu joitakin julkaisuja, joissa mainitaan tällaisia löydöksiä.

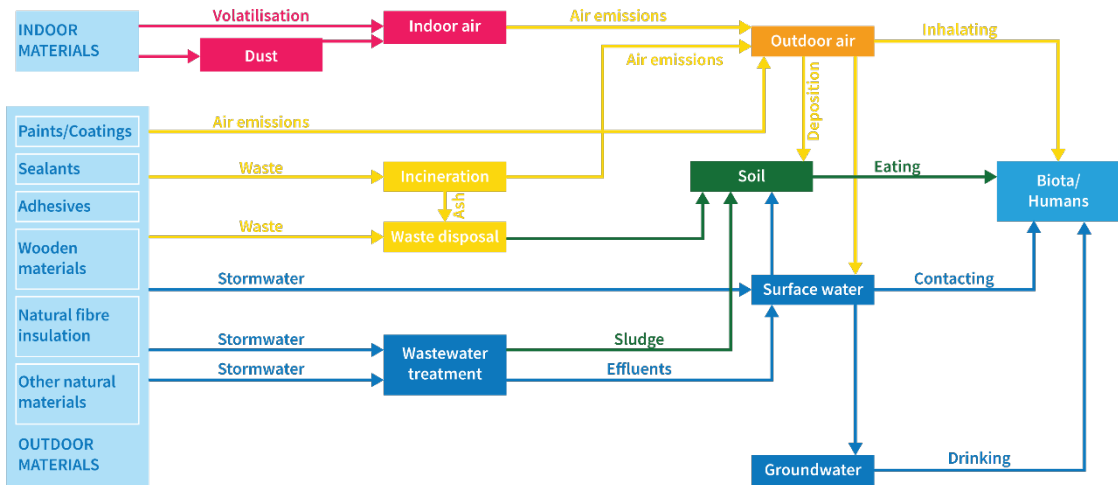
Taulukko 6. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu biosidejä esimerkiksi sisäilmassa, pölyssä, hulevedessä ja pohjavedessä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Country and comment
Surface water	biocides	Andersson et al. 2019	Chronic effects of biocides on aquatic species and ecosystem function
Surface water	biocides	Andrews et al. 2022	Impact of biocides from construction runoff on aquatic ecosystems
Groundwater and soil	biocides	Fisher, & Werschkun 2020	Leaching of biocides from construction materials: Risk to soil and groundwater.
Surface water	biocides	Harclerode et al. 2021	Impact of biocidal wash-off from buildings on urban water quality.
Surface water	biocides	Johnson et al. 2021	Acute and chronic toxicity of construction material biocides in aquatic environments.
Soil	biocides	Lee et al. 2020	Impact of biocides on microbial communities in soil.
Surface water	biocides	Miller et al. 2021	Environmental impacts of biocide leaching from construction materials.
Indoor air	biocides	Zhang & Choi 2019	Indoor air quality issues related to the use of biocides in construction materials.
Indoor air	biocides	Zhang, & Li 2019	Indoor air quality effects from the volatilization of biocide-containing building materials.
surface water	diuron, isoproturon, cybutryne, terbutryn	Durak, et.al. 2021	The current biocide concentration standards in waters were exceeded only in the case of cybutryne samples from the Wisła River, and in the case of the Wisłoka River, they almost exceed the permissible threshold.
soil, wastewater	Methylisothiazolinone (MIT)	Novak et al. 2020	Methylisothiazolinone (MIT) occurs in soil and sewage samples in Poland.
soil, stormwater	Methylisothiazolinone (MIT)	Bollmann et al. 2017	Biocides leach from the facade material leading to highly polluted runoff water (up to several mg L ⁻¹ biocides) being infiltrated into the soil surrounding houses.

surface water	Biocides	Paijens et al. 2021	Annual mass loads discharged in the Seine River were higher for WWTPs than CSOs.	France
surface water	Biocides	Paijens et al. 2020	• Identification of the most used biocides in construction materials • Leaching of biocides from construction materials. • Transport of the biocides and occurrence in the aquatic environment.	France
facade runoff	diuron and carbendazim	Burkhardt et al. 2011	Concentrations of diuron and carbendazim in runoff were 7 and 0.7 mg/L respectively at the beginning of the experiment, under laboratory conditions. After the equivalent of 6 years of rainfall in the Swiss Plateau, concentrations were up to two orders of magnitude lower with 70 µg/L for diuron and 40 µg/L for carbendazim.	Switzerland
facade runoff	diuron	Burkhardt et al. 2012	Under natural weather conditions, concentrations of diuron in façade runoff were reported between 10 and 25 mg/L in the first months and close to 2 mg/L after 1 year of exposure.	Switzerland
facade runoff	Terbutryn M1 TP of terbutryn and cybutryn. The four main TPs of terbutryn (i.e., terbutryn sulfoxide, 2-hydroxy-terbutryn, desethyl-terbutryn and desethyl-2-hydroxy-terbutryn).	Bollmann et al. 2016, Burkhardt et al. 2012	Terbutryn was detected in a similar amount in and studies, from 1 to 5 mg/L in the first months to less than 1 mg/L after 1-year-exposure. The M1 TP of terbutryn and cybutryn was also detected at up to 12 mg/L. The four main TPs of terbutryn (i.e., terbutryn sulfoxide, 2-hydroxy-terbutryn, desethyl-terbutryn and desethyl-2-hydroxy-terbutryn) in façade runoff at concentrations ranging from 0.05 to 1.5 mg/L.	Denmark, Switzerland
facade runoff	OIT	Bollmann et al. 2017	Concentrations of OIT ranged from less than 20 µg/L to 14 mg/L and six out the seven studied TPs were detected in most of the samples, at up to 8.8 mg/L for N-octyl oxamic acid.	Denmark

Roof runoff	Mecoprop	Burkhardt et al. 2011	In roof runoff, concentrations of mecoprop varied from 1–10 µg/L and very high concentrations (400 µg/L) were measured after a long dry period in summer.	Switzerland
Roof runoff	Benzalkoniums	Van de Voorde et al. 2012	For benzalkoniums, concentrations in roof runoff (sum of C12 and C14 benzalkoniums) ranged from 5 to 30 mg/L immediately after treatment.	Netherlands

Source map of biocides



Kuva 8. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien biosidien lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 8 lähdekartassa havainnollistetaan, miten biosidit leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä biosidien lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Biosidejä esiintyy eri matriiseissa, kuten sisätilojen pölyssä, sisäilmassa ja juomavedessä.

Näytteenoton tulokset

Tässä tutkimuksessa havaittiin vaihtelevia pitoisuuksia diuronin, propikonatsolin ja mekopropin kaltaisia biosidejä biosidejä hulevesinäytteissä eri kaupungeista, esimerkiksi Turun seudulta, Helsingistä ja Västeråsista. Biosidit olivat levinneet eri tavalla eri kaupungeissa. Lisätietoja on tuloksia koskevassa kohdassa ja liitteissä.

Klooratut parafiinit

Käyttö

Kuten Rakennusmateriaalien hakemistossa (NHC3, 2023) todetaan, kloorattuja parafiineja käytetään yleensä muovinpehmentiminä, palonestoaineina ja lisäaineina monissa erilaisissa kemiallisissa tuotteissa, kuten maaleissa, tiivisteissä ja liimoissa. Tässä ryhmässä on monia erilaisia aineita, joiden haitalliset ominaisuudet vaihtelevat. Yleisesti ottaen ne ovat erittäin huolestuttavia haitallisten ominaisuuksiensa ja ympäristössä pysyvyytensä vuoksi. Kloorattuja parafiiniyhdisteitä valmistetaan monenlaisina seoksina, mistä syystä niiden analysointi ja tarkkojen vaarallisten ominaisuuksien määrittäminen on hankalaa.

Klooratut parafiinit jaetaan kolmeen ryhmään ketjun pituuden mukaan:

- lyhytketjuiset klooratut parafiinit (SCCP)
- keskipitkäketjuiset klooratut parafiinit (MCCP)
- pitkäketjuiset klooratut parafiinit (LCCP).

Rakennuslalla kloorattuja parafiineja esiintyy erityisesti muoveissa, kumissa ja kemiallisissa tuotteissa. Ne ovat yleisiä PVC-muoveissa, kuten lattiapäällysteissä ja puulevyissä, juoksuradoilla ja leikkikentillä käytettävässä kumissa, sekä kloropreenikumuissa, kuten saumaeristeissä ja katteiden vedenpitävyyttä parantavissa kalvoissa. Kemiallisista tuotteista niitä on esimerkiksi liimoissa, tiivisteaineissa, maaleissa ja polyuretaanivaahdoissa.

Haittavaikutukset

Lyhytketjuiset klooratut parafiinit ovat syöpää aiheuttavia sekä ympäristössä pysyviä, biokertyviä ja myrkyllisiä vesiliöille, ja niiden käyttäminen on ollut kiellettyä Tukholman yleissopimuksen ja pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan asetuksen nojalla vuodesta 2013 lähtien. Tästä syystä niitä ei pitäisi esiintyä nykyisin tuotetuissa rakennusmateriaaleissa. Keskipitkäketjuiset klooratut parafiinit ovat olleet Euroopan kemikaaliviraston ehdokasluettelossa vuodesta 2021 pysyvien, biokertyvien ja myrkyllisten ominaisuuksiensa vuoksi. On kuitenkin syytä huomata, että lyhytketjuisia kloorattuja parafiineja esiintyy ja niiden käyttö on sallittua EU:ssa pieninä pitoisuuksina keskipitkä- ja pitkäketjuisissa klooratuissa parafiineissa.

Keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja käytetään lyhytketjuisten asemesta, ja ne ovat paljon yleisempiä ympäristössä suurten tuotantomäärien vuoksi.

Altistus

Kuten Rakennusmateriaalien hakemistossa (NHC3 2023) todetaan, kloorattuja parafiineja esiintyy yleisesti sisätilojen pölyssä ja sisäilmassa, koska niitä vapautuu erilaisista esineistä ja rakennusmateriaaleista. Pölyn hengittäminen on yksi tärkeimmistä ihmisten altistumisreiteistä.

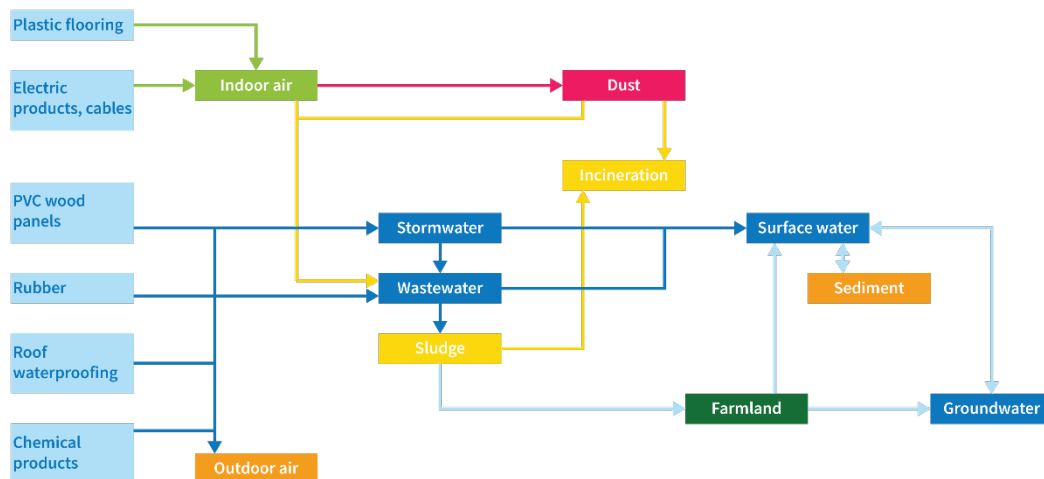
Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

Tieteellisten julkaisujen mukaan kloorattuja parafiineja on löydetty pääasiassa sisäympäristöstä eli pölystä ja ilmasta. Niitä on kuitenkin havaittu myös lumi- ja sedimenttinäytteissä. Taulukossa 7 on lueteltu useita julkaisuja, joissa mainitaan tällaisia löydöksiä. Tutkimuksia, joissa olisi mitattu kloorattujen parafiinien pitoisuuksia hulevedessä, on vaikea löytää.

Taulukko 7. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu kloorattuja parafiineja sisäilmassa, pölyssä, lumessa, sedimenteissä ja puhdistamolietteessä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Dust in preschools	SCCP, MCCP	Langer et al. 2020	Much higher concentrations of MCCP than SCCP.	Sweden
Dust	SCCPs, MCCPs, LCCPs	Yuan et al. 2021	All three found. Highest levels detected was from MCCPs	Norway
Dust	SCCPs, MCCPs	Hilger et al. 2013	Both found. Highest levels detected was from MCCPs	Germany
Indoor air in preschools	SCCP, MCCP	Langer et al. 2020	Higher concentrations of SCCP than MCCP.	Sweden
Indoor air	SCCPs, MCCPs, LCCPs	Yuan et al. 2021	All three found. Highest levels detected was from SCCPs	Norway
Urban snow	No information in the abstract	Björklund et al. 2011	Chlorinated paraffins were detected in some snow samples.	Sweden
Sediment	SCCPs, MCCPs	The Swedish Environmental Protection Agency, 2005.	Low concentrations found in sediment	Sweden
Wastewater sludge	SCCPs, MCCPs	The Swedish Environmental Protection Agency, 2005.	Low concentrations found in wastewater sludge	Sweden

Source map of chlorinated paraffins



Kuva 9. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien kloorattujen parafiinien lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 9 lähdekartassa havainnollistetaan, miten klooratut parafiinit leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä kloorattujen parafiinien lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Kloorattuja parafiineja esiintyy pölyssä ja sisäilmassa, ja niitä voi lisäksi päätyä katetuotteista ja ulkotiloissa käytettävästä kumista hulevesiin. Yleensä pöly imuroidaan tai siivotaan muutoin, jolloin se päätyy jäteveeseen tai poltetaan.

Näytteenoton tulokset

Tässä tutkimuksessa kloorattuja parafiineja analysoitiin Tukholmasta otetuista hulevesi- ja pölynäytteistä. Kolmesta jätevedenpuhdistamosta otetuista näytteistä etsittiin lyhyt- ja keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja, ja molempia havaittiin kaikissa kolmessa näytteessä. Keskipitkäketjuisten kloorattujen parafiinien pitoisuudet olivat suurempia, 0,4–0,7 µg/l. Lyhyt-, keskipitkä- ja pitkäketjuisten kloorattujen parafiinien määrä analysoitiin kaikkiaan kahdeksasta näytteestä. Pitoisuudet vaihtelivat välillä 1,86–108 µg/g.

VOC-yhdisteet

Käyttö

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) on yleistermi kemikaaleille, jotka haihtuvat helposti huoneenlämmössä, mutta kyseessä ei ole läheisesti toisiinsa liittyvien kemikaalien ryhmä. Sisätiloissa VOC-yhdisteiden lähteitä voivat olla maalien, pinnoitteiden, liimojen, tiivistäaineiden, rappausten sekä kivi- ja tiiliseinien pintakäsittelyjen kaltaisista kemiallisista tuotteista peräisin olevat liuotinjäämät sekä tällaisia kemiallisia tuotteita sisältävät valmiit tuotteet.

VOC-yhdisteitä esiintyy luonnostaan puumateriaaleissa, ja niitä voi vapautua puutuotteista, kuten vanerista, lastu-, kuitu-, OSB-, MDF- ja kipsilevyistä sekä katto- ja lattiapäällystemateriaaleista. Muita tuotteita, joista voi vapautua VOC-yhdisteitä, ovat polymeerimateriaalit, eristysmateriaalit, elektroniikkalaitteet ja tekstiilit.

Tässä NonHazCity 3 -hankkeessa keskitytään rakennuksiin ja rakennusmateriaaleihin, joten teollisuudesta ja tieliikenteestä peräisin olevia VOC-yhdisteitä ei käsitellä tarkemmin tässä raportissa. Liikenne ja teollisuus ovat kuitenkin merkittäviä ympäristön VOC-yhdisteiden lähteitä.

Haittavaikutukset

13:sta asuntojen sisäilmassa yleisimmästä VOC-yhdisteestä lähes kaikki vaikuttavat haitallisesti hengityselimiin. Lisäksi VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa syöpää, päänsärkyä, huimausta ja herkistymistä sekä vaikuttaa sydän- ja verenkiertoelimistöön ja hermostoon (WHO 2021).

Lainsäädäntö

VOC-direktiivi 2004/42/EY säätelee VOC-yhdisteiden pitoisuuksia maaleissa ja lakoissa.

EU:n LCI-arvojen eli alhaisten merkitsevimpien pitoisuusarvojen (Lowest Concentration of Interest, 2023) luettelo sisältää sisäkäyttöön tarkoitettujen rakennusmateriaalien terveyteen perustuvia vaarallisten kemikaalien päästöohjeita.

Saksan viranomaisen UBA (Umweltbundesamt) suosittelee sisäilman VOC-kokonaispitoisuudelle (TVOC) vapaaehtoista raja-arvoa $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka on LCI-arvoja pienempi.

Altistus

Sisätiloissa käytettävistä materiaaleista vapautuu vähitellen VOC-yhdisteitä, jotka saastuttavat sisäilmaa jatkuvasti. Ajan mittaan (kuukausista vuosiin ulottuvan ajanjakson aikana) VOC-yhdisteiden lähteet ehtyvät, jolloin VOC-yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa laskee. Uusissa tai peruskunnostetuissa rakennuksissa VOC-yhdisteiden pitoisuudet ovat yleensä suurempia kuin vanhemmissa rakennuksissa, vaikka tehokas ilmanvaihto voikin vähentää pitoisuuksia. Esimerkiksi Langerin ym. (2020) ruotsinkielinen tutkimus on osoittanut, että TVOC-pitoisuudet esikoulussa nousivat viisinkertaisiksi peruskunnostuksen jälkeen. Vuoden kuluttua VOC-yhdisteiden pitoisuus oli laskenut lähes 50 prosentilla.

Ruotsin kansanterveysviranomaisen Folkhälsomyndigheten (2018) viittaa useisiin tutkimuksiin, jotka osoittavat allergisten oireiden ja kodin remonttien välisen vastaavuussuhteen. VOC-yhdisteet ja typen oksidit voivat muodostaa alailmakehän otsonia, mikä on myös haitallista ympäristölle ja terveydelle.

VOC-yhdisteet ja typen oksidit voivat muodostaa alailmakehän otsonia, mikä on myös haitallista ympäristölle ja terveydelle.

Lähdekartoitus ja mitattu esiintyvyys

VOC-yhdisteet voivat olla peräisin maalien, pinnoitteiden, liimojen, tiivisteaineiden, rappauksen sekä kivi- ja tiiliseinien pintakäsittelyjen kaltaisista kemiallisista tuotteista vapautuvista liuotinjäämistä. Esimerkkejä näistä ovat puutuotteet, kuten vaneri, lastu- ja kuitulevyt sekä sisäkatto- ja

lattiapäällystemateriaalit. Muita tuotteita, joista voi vapautua VOC-yhdisteitä, ovat kipsilevyt, polymeerimateriaalit, eristysmateriaalit, elektroniikkalaitteet ja tekstiilit.

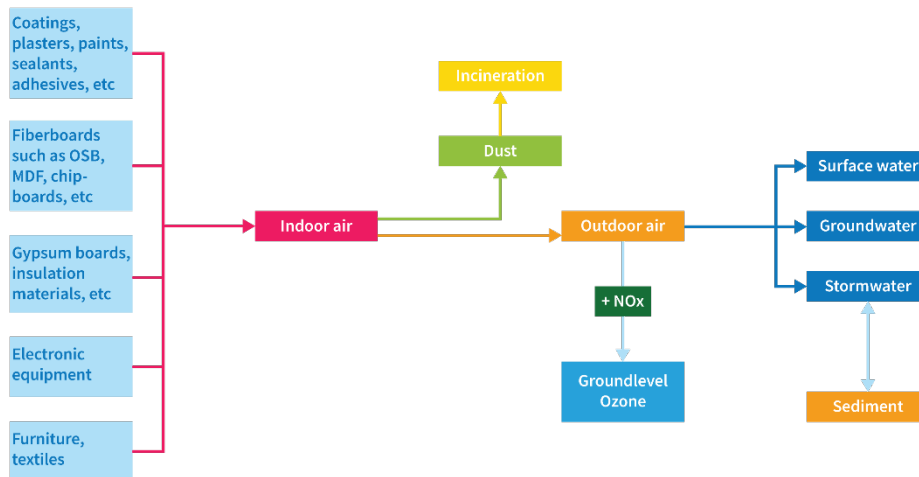
VOC-pitoisuudet ovat yleensä korkeampia sisä- kuin ulkotiloissa. Liikenteestä ja teollisuuden saasteista peräisin olevat VOC-yhdisteet voivat saastuttaa pohjavettä, mutta niitä ei käsitellä tässä raportissa. Tieteellisissä julkaisuissa VOC-yhdisteitä on tutkittu pääasiassa sisäympäristöissä, kuten kodeissa, kouluissa, esikouluissa ja toimistoissa.

VOC-yhdisteiden leviämistä sisäilmasta ulkoympäristöön kuvaavia tutkimuksia on vähän. Uusien tuotteiden ja peruskorjausten sekä sisäilman suurempien VOC-yhdistepitoisuuksien välillä on havaittu vastaavuussuhteita. Langer ym. (2020) kuvaavat, miten VOC-pitoisuudet esikoulussa kasvoivat peruskorjauksen jälkeen ja laskivat vuosi peruskorjauksesta. Taulukossa 8 on lueteltu joitakin esimerkkejä julkaisuista, joissa mainitaan tällaisia löydöksiä. Tutkimuksia, joissa olisi mitattu VOC-yhdisteiden pitoisuuksia hulevedessä, on vaikea löytää.

Taulukko 8. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu VOC-yhdisteitä sisäilmassa.

Matrix	Substances analysed	Reference	Comment	Country
Indoor air in preschools and schools	Alcohols, aldehydes, alkanes, Aromatic hydrocarbons, ester alcohols, esters, glycol ether, halogenated hydrocarbons, ketones, siloxanes terpenes.	WHO 2021	Aldehydes, alkanes, aromatic hydrocarbons most frequent	Europe
Indoor air in schools and homes	Aldehydes, aromatic hydrocarbons (BTEX), terpenes, chlorinated VOCs, 2E1H, Texanol, TXIB, glycol ethers	Folkhälsomyndigheten 2018	Aldehydes, terpenes, BTEX, 2E1H, TXIB most frequent	Sweden
Indoor air in preschools		Langer et al. 2020	Terpenes and glycol ethers highest	Sweden
Indoor air in homes	aromatic hydrocarbons, alkane hydrocarbons, aldehydes, aliphatic hydrocarbons, terpenes, chlorinated hydrocarbons, glycol and glycol ethers and esters	Halios et al. 2022	aromatic hydrocarbons, alkane hydrocarbons, aldehydes most frequent	Europe and UK

Source map of VOC



Kuva 10. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevien VOC-yhdisteiden lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 10 lähdekartassa havainnollistetaan, miten VOC-yhdisteet leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä VOC-yhdisteiden lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. VOC-yhdisteitä havaitaan pääasiassa sisäilmassa.

Näytteenoton tulokset

Tässä tutkimuksessa VOC-yhdistenäytteitä otettiin ainoastaan Västeråsissa neljän esikoulun sisäilmasta. Näytteissä havaittiin useita aineita, ja pitoisuudet olivat noin 20–60 µg/m³.

Sinkki ja kupari

Metallit ovat luonnossa esiintyviä alkuaineita, joita käytetään laajalti erilaisissa rakennusmateriaaleissa, kuten ulko- ja sisäpinnoitteissa ja tukirakenteissa.

Jotkin niistä ovat oleellisia hivenaineita, jotka ovat oikeina pitoisuuksina tärkeitä organismien hyvinvoinnin kannalta. Suuremmat metallimäärät voivat kuitenkin olla välittömästi tai kroonisesti myrkyllisiä.

Kuten Rakennusmateriaalien hakemistossa (NHC3, 2023) todetaan, metallit ovat kestäviä, muokattavia ja kierrätettäviä. Joitakin metallisuoloja tai muita metalliyhdisteitä käytetään lisäaineina pinnoitteiden kaltaisissa kemiallisissa tuotteissa. Rakennusmateriaaleissa käytetyt metallit ovat usein seoksia, kuten teräs ja messinki. Tällaiset seokset voivat sisältää lyijyn (Pb) ja kadmiumin (Cd) kaltaisia metalleja lisäaineina tai epäpuhtauksina.

Metalleja on monenlaisissa rakennustuotteissa, kuten metallikatteissa, räystäskouruissa ja syöksyputkissa, ikkunankarmeissa, rakennuspalkeissa, putkikalvoissa, levyissä ja viimeistelytuotteissa, hanoissa, betonissa ja sementissä sekä pinnoitteissa.

Lyijyn, kadmiumin ja elohopean kaltaisilla ei-välttämättömillä metalleilla voi olla myrkyllisiä vaikutuksia, vaikka niitä esiintyisi vain pieniä määriä. Myös välttämättömät metallit, kuten sinkki ja kupari, ovat myrkyllisiä suurina pitoisuuksina. Metallien yleisiä terveysvaikutuksia ovat esimerkiksi keuhkojen, maksan, munuaisten ja muiden sisäelinten vaurioituminen, karsinogeenisyys, lisääntymisongelmat, kalojen kidusten vaurioituminen ja välitön myrkyllisyys. Rakennusten ja rakennusmateriaalien sisältämiin raskasmetalleihin liittyvät suurimmat huolenaiheet ovat huuhtoutuminen ympäristöön ja myrkyllisyys (erityisesti vesieliöille).

Ihmiset voivat altistua rakennusmateriaalien sisältämille metalleille pääasiassa pölyn ja höyryjen kautta. Työntekijät ovat erityisen alttiita haitalliselle altistumiselle metalleille pölyn hengittämisen ja saastuneen ilman kautta. Lisäksi metalleja, kuten sinkkiä ja kuparia, voi huuhtoutua ympäristöön esimerkiksi metallikatoilta rankkasateiden aikana, ja ne voivat päätyä maaperään ja vesistöihin, kuten jokiin, järviin sekä hulevesiin.

NonHazCity 3 -hankkeessa analysoitiin seuraavia metalleja: kromi (Cr), kupari (Cu), sinkki (Zn), nikkeli (Ni), kadmium (Cd) ja lyijy (Pb). Kadmium- ja lyijy-yhdisteet sisältyvät REACH-asetuksen ehdokasluetteloon erityisten myrkyllisten ominaisuuksiensa vuoksi. Kromiyhdisteet ovat olleet REACH-asetuksen rajoitettujen aineiden luettelossa (liite XVII) vuodesta 2015. Sen mukaan niitä ei saa esiintyä nahkatuotteissa kuin hyvin pieninä pitoisuuksina. Tässä luvussa keskitytään sinkkiin ja kupariin.

Sinkin ja kuparin lähdekartoitus

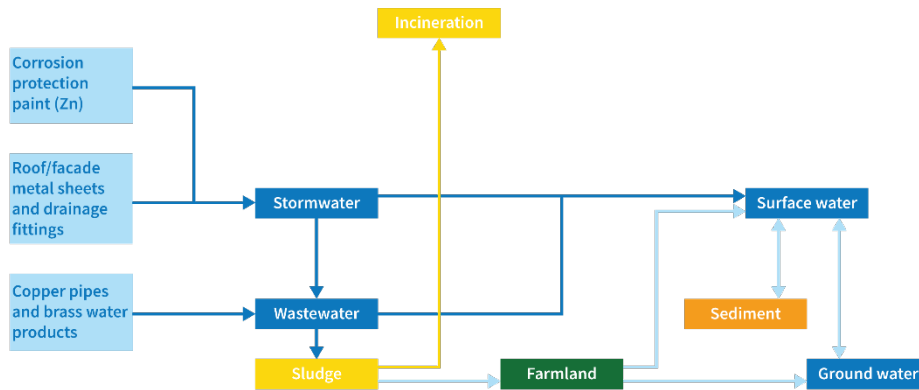
Sinkkiä ja kuparia on pääasiassa katteissa ja julkisivupinnoitteissa käytetyissä metallilevyissä. Sinkkiä löytyy lisäksi korroosionsuojamaaleista ja kuparia vesiputkista. Sinkki- ja kuparipitoisuuksia on tutkittu tieteellisesti pääasiassa metallilevyistä peräisin olevan valumaveden yhteydessä, josta ne leviävät pääasiassa huleveteen ja ulkoympäristöön. Taulukossa 9 on lueteltu joitakin esimerkkejä julkaisuista, joissa mainitaan tällaisia löydöksiä.

Luulajan teknillisen yliopiston tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että sinkkilevyjen ja sinkin huleveteen huuhtoutumisen sekä kuparilevyjen ja kuparin huleveteen huuhtoutumisen välillä on vastaavuussuhde. Sekä materiaalin että huleveden metallipitoisuus mitattiin. Tutkimuksen tulokset esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Esimerkkejä tutkimuksista, joissa on havaittu kuparia ja sinkkiä hulevedessä ja pölyssä.

Matrix	Substances analysed	Reference	Country and comment	
Stormwater	Copper from copper sheet	Müller et al. 2022	In runoff from copper sheets the concentration of copper was much higher than all other metals measured.	Sweden
Stormwater	Zinc from galvanised steel sheet	Müller et al. 2022	In runoff from galvanised steel sheets the concentration of zinc was much higher than all other metals measured.	Sweden
Stormwater	Zinc from titanium zinc sheet	Müller et al. 2022	In runoff from titanium zinc sheets the concentration of zinc was much higher than all other metals measured.	Sweden
Dust	Cr, Ni, Mn, Zn, Ba, Cu, Co, Rb	Barrio-Parra et al. 2018	Household floor dust, the metals found in highest concentrations were zinc, manganese, barium and copper.	South Arabia

Source map of zinc and copper



Kuva 11. Lähdekartta rakennustuotteista peräisin olevan sinkin ja kuparin lähteistä ja kulkureiteistä sisä- ja ulkoympäristön eri osiin.

Kuvan 11 lähdekartassa havainnollistetaan, miten sinkki ja kupari leviävät rakennustuotteista. Harmaat laatikot esittävät yleisiä sinkin ja kuparin lähteitä rakennustuotteissa Euroopassa. Sinkkiä ja kuparia havaittiin pääasiassa hule- ja jätevedessä.

Näytteenoton tulokset

Tässä tutkimuksessa metalleja analysoitiin Tukholmasta, Västeråsista, Turusta ja Helsingistä kerätyistä hulevesinäytteistä. Kaikissa näytteissä havaittiin metalleja.

Tutkimusmenetelmä – näytteenotto

Käytettyjä tutkimusmenetelmiä olivat muun muassa haitta-aineiden kohdennettu seulonta viidestä eri näytetyypistä: rakennusmateriaalit, hulevesi, esikoulujen sisätilojen pöly ja sisäilma sekä asuinalueiden jätevesi. Seulontaa toteutti kuusi hankekumppania viidessä Itämeren alueen kaupungissa, Turussa, Helsingissä, Tallinnassa, Västeråsissa ja Tukholmassa. Näytteitä otettiin yhteensä noin 140. Näytetyypit jakautuivat seuraavasti:

Turun seutu: hulevesi (liite 1)

Helsinki: hulevesi ja rakennusmateriaalit (rakennustyömaalta; liite 2)

Tallinna: rakennusmateriaalit (rautakaupasta; liite 3)

Västerås: hulevesi, esikoulujen sisäilma ja pöly, rakennusmateriaalit (esikoulujen lattiamateriaalit; liite 4)

Tukholma: esikoulujen pöly (liite 5A), hulevesi (liite 5B), jätevesi (liite 5C), rakennusmateriaalit (ulkokäyttöön tarkoitettu maali ja kattomateriaali rautakaupasta; liite 5D), levymateriaali rakennustyömaalta (liite 5E) sekä koulujen ja esikoulujen lattiamateriaalit (liite 5F)

Useimmiten käytettiin vakiintuneita näytteenottomenetelmiä. Esimerkiksi pölyn näytteenottomenettely on kuvattu julkaisuissa Giovanoulis ym. (2019) ja Langer ym. (2021). Hulevedestä otettiin näytteitä manuaalisesti, ja tulokset kuvaavat huleveden laatua näytteenottoajankohtana. Tämä on käytännöllinen ja kustannustehokas huleveden laadunarviointimenetelmä. Vesinäytteitä otettiin suoraan purkuaukoista. Näytteitä analysoimalla saatiin parempi käsitys hulevesien sisältämistä aineista.

Yli 50 rakennusmateriaalista otettiin analysoitavia näytteitä. Seuraavassa taulukossa esitetään yhteenveto analysoitujen rakennusmateriaalien tyypeistä ja määristä. Lisätietoja tutkituista aineista on liitteissä 2, 3, 4 ja 5 olevissa näytteenottoraporteissa.

Taulukko 10. Rakennusmateriaalit sekä näytteiden ja analysoitujen aineiden määrä.

Construction material group	Total no of samples	Substance (samples) analysed
Paints	12	Biocides (12) Metals (12) Phthalates and alternatives (4) PFAS (4) OPEs (3) SCCP (2) MCCP (2)
Roofing materials Ex: roofing felt, shingle	5	Phthalates and alternatives (1) Biocides (2) PFAS (1) Metals (5) OPEs (1)
Flooring materials Ex: PVC	9	Phthalates and alternatives (9) PFAS (4) Metals (2) OPEs (2) SCCP (2) MCCP (2)
PVC tunnel sheet	1	Phthalates and alternatives (1) PFAS (1) OPEs (1)
Masonry material Ex: mortar and bricks	4	PFAS (3) Metals (4)
Wood for terraces or façades	3	Biocides (3) PFAS (3) Metals (3) OPE (3) SCCP (2) MCCP (2)
Boards Ex. Gypsum, plywood, MDF board	9	Isothiazolinones (1) PFAS (4) Metals (3) OPEs (5)
Coatings/surface treatments	4	Phthalates and alternatives (2) PFAS (3) Metals (3) Biocides (3) OPEs (2) SCCP (2) MCCP (2)
Flame retardant coating for wood	2	Phthalates and alternatives (2) PFAS (2) Metals (2) Biocides (2) OPEs (2) SCCP (2) MCCP (2)
Synthetic insulation material	2	OPEs (2) Styrene (1) Acrylonitrile (1) HBCD (1)
Tile grout	1	Metals (1)
Plaster	1	Biocides (1)

Näytteet lähetettiin kaupallisiin laboratorioihin standardoitujen menetelmien mukaista kemiallista analyysia varten. Työryhmä valitsi analysoitavat haitta-aineet yhdessä (kohdeanalyysimenetelmällä). Kullakin näytteitä ottaneella partnerilla oli myös tiettyjä painopistealueita, jotka perustuivat poliittisiin/paikallisiin kemikaalien hallintasuunnitelmiin ja taloudellisiin rajoituksiin. Taulukossa 11 esitetään lyhyt yhteenveto tutkituista haitta-aineryhmistä ja näytetyypeissä eri alueilla.

Taulukko 11. Yhteenveto hankekumppaneiden suorittamasta kohdennetusta seulonnasta. ”Vesi” tarkoittaa hulevettä lukuun ottamatta Tukholmaa, jossa tutkimus kattoi sekä hule- että jäteveden.

	PE ¹	PFAS ²	BP ³	OPEs ⁴	BFR ⁵	Biocides ⁶	CP ⁷	VOC ⁸	Elements ⁹
Stockholm	Dust, material, water	Dust, material, water	Dust, material, water	Water	Dust	Material, water	Dust, water		Dust, material
Västerås	Dust, material, water	Dust, material, water	Dust	Dust, material, water	Dust, material, water	Dust, Water	Dust	Air	Water
Helsinki	Water, material	Water, material		Water, material		Water, material	Water, material		Water, material
Turku	Water	Water		Water		Water	Water		Water
Tallinn	Material	Material		Material	Material	Material	Material		Material

1. Ftalaatit ja niiden vaihtoehdot
2. Per- ja polyfluoratut alkyyliyhdisteet (PFAS-yhdisteet)
3. Bisfenolit
4. Organofosfaatit
5. Bromatut orgaaniset yhdisteet
6. Diuroni, triatsiinit ja isotiatsolinonit (puutuotteissa ja julkisivuissa käytettävät biosidit)
7. Klooratut parafiinit
8. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet)
9. Metallit ja alkuaineet keskittyen kupariin ja sinkkiin

Laboratorioista saadut analyysitulokset järjestettiin ja lajiteltiin yhteen Excel-tiedostoon, jota käsiteltiin sen jälkeen tarvittaessa. Tämän jälkeen suoritettiin tietojenkäsittelyä, jonka avulla visualisoitiin suuren tietoaaineiston määrät, määrittystiheys, erot ja yhtäläisyydet. Tulokset esitetään taulukkoina ja kaavioina tulososiossa. Kaaviot on luotu Excelissä ja/tai R-ohjelmistolla.

Kaikki materiaalit ja menetelmät on kuvattu tarkemmin kunkin hankekumppanin raportissa, ks. liitteet 1–5.

Tulokset ja pohdinta

Hankkeessa tehtiin useita mielenkiintoisia havaintoja. Viiden osallistujakaupungin erilaisten tavoitteiden vuoksi tutkittiin ja havaittiin laaja kirjo vaarallisia aineita. Liitteissä kuvataan kunkin kumppanin (eli näytteitä ottaneen kaupungin) kaikki tulokset sekä yksittäiset hypoteesit, käytetyt laitteet ja tutkimusmenetelmät, havainnot ja niiden tulkinnat.

Koska tuloksia oli runsaasti, tärkeimpiä havaintoja korostettiin ja vain ne valittiin tulkittaviksi. Koska esitetyt tulokset ovat rakennusmateriaalien, huleveden, jäteveden sekä esikoulujen ilman ja pölyn kemiallisia analyyskejä, pitoisuusyksiköt vaihtelevat vaarallisen aineen ja näytteen tyyppin mukaan.

Tulokset on esitetty seuraavassa järjestyksessä (*selitys suluissa*):

1. Rakennusmateriaaleista löydetty vaaralliset aineet (*Rakennusmateriaalit ovat tämän hankkeen painopisteenä, minkä vuoksi nämä aineet valittiin tarkasteltaviksi. Rakennusmateriaalien lisäksi tarkasteltiin muita näytetyppejä, kuten vettä ja pölyä, jotta saatiin käsitys siitä, miten aineet leviävät näistä materiaaleista. Näitä tietoja täydennettiin aiemmista hankkeista saaduilla tiedoilla.*)

2. Yleiskuva (*eri kaupungeista ja näytetyppeistä saatuja tuloksia yhdistämällä saatu kokonaiskuva*)

- Pölyssä olevien haitta-aineiden seos
- Puun käsittelyssä käytetyt biosidit ja niiden vuotaminen ympäristöön
- PFAS-yhdisteet eli ikuisuuskemikaalit
- TCPP – mahdollisesti pysyvä, leviävä ja myrkyllinen aine
- Metallit

3. Muut tulokset (*Edellä mainittujen seikkojen lisäksi joitakin tuloksia ei voitu verrata kaupunkien tai eri näytetyyppien välillä. Seuraavat aiheet ja havainnot ovat kuitenkin tärkeitä tutkimustuloksia.*)

- Klooratut parafiinit
- Ftalaattien vuotaminen suoraan poistuvaan veteen
- Vaarallisten aineiden vaikutukset lattioiden kunnostuksen jälkeen
- DEHP:n esiintyminen jätevedessä

Rakennusmateriaaleissa esiintyvät haitalliset aineet

Rakennusmateriaalista otettiin yhteensä 51 näytettä, joista analysoitiin kemiallisesti useita haitallisia aineita (taulukko 12 ja liitteet 2–5). Tärkeimmät tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Haitallisten aineiden esiintymistä koskevat havainnot. Lihavoidut luvut osoittavat merkityksellisiä havaintoja. Yhdisteet esitetään niitä vastaavissa aineryhmissä. Lisäryhmittelyssä (esim. biosideihin kuuluvat isotiatsolinonit) yhdisteet ja niiden arvot on erotettu toisistaan kauttaviivalla (/). Määrittämissä arvoja pienemmät arvot on merkitty tähdellä (). Yhdisteet, joita ei ole analysoitu kyseisestä rakennusmateriaaliryhmästä, on merkitty viivalla (-). Kaikki arvot ovat kyseisestä rakennusmateriaaliryhmästä löytyneitä enimmäisarvoja.*

Content mg/kg (max) *means <LOQ -means not analysed	Coatings/ surface treatments	Flame retardant coating for wood	Flooring material	Masonry material	Paint	Plaster	Roofing material	Synthetic insulation	Tile grout	Tunnel sheet	wooden terrace/ façade material
Biocides											
BIT/CIT/DOIT/MIT/OIT	*/0.38*/0.44*	7.4/7*/3.6*	-	-	220/0.17/160/3.6*	-/6.4/-/0.32/-	130/0.76*/3.2/8.1	-	-	-	0.42/-/0.18/2.6/15.1
Diuron	-	-	-	-	780	-	-	-	-	-	*
IBPC	-	-	-	-	7589	-	1384	-	-	-	-
Isoproturon	-	-	-	-	0.0019	-	-	-	-	-	*
Triazoles (Pbz/Tbz) ¹	-	-	-	-	*/*	-	*/*	-	-	-	8.3/8.7
Terbutryn	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	*
Metals											
Cd/Cr/Cu/Pb/Zn	-	-	0.2/3.8/1.6*/-	*/0.113/0.057*/*	*/110/8.6/15/8	-	*/380/1400/30/20	-	*/23*/0.9*	-	*/*/0.228*/*
Styrene	-	-	-	-	-	-	-	410	-	-	-
OPEs											
TBEP/TMCP	*/*	*/*	35/17	*/*	*/*	-/-	*/*	*/*	-/-	0.016/0.72	*/*
TCPP/TEP	*/*	*/*	*/*	*/*	*/*	-/-	*/*	37000/23	-/-	0.016/0.01	*/*
PFAS											
5:3 FTCA	0.0066	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6:2 FTOH	20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PFBA	0.012	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PFHxA	0.054	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PFPeA	0.0047	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Sum of PFAS			3.183								
Plasticizers											
DEHA	*	*	4100	-	*	-	*	-	-	0.14	-
DEHP	*	*	17753	-	*	-	*	-	-	1.51	-
DEHT	*	*	5300	-	*	-	*	-	-	14.7	-
DIDP	*	*	11091	-	*	-	*	-	-	91725	-
DINCH	*	*	200000	-	*	-	*	-	-	317	-
DINP	*	*	39612	-	*	-	*	-	-	353677	-

Taulukossa 12 korostetut merkitykselliset havainnot

Ulkokäyttöön tarkoitetut maalit sisälsivät jodipropynylibutylikarbamaatin (IBPC), diuronin ja isotiatsolinonien kaltaisia biosidejä sekä metalleja. Suurin osa tutkimuksessa havaituista aineista, jotka oli ilmoitettu kyseisen tuotteen käyttöturvallisuustiedotteessa, havaittiin myös analyysissä. Joitakin kuivuneita maaleja analysoitiin, jotta voitiin vertailla kuivan maalin pitoisuuksia ja käyttöturvallisuustiedotteessa ilmoitettuja pitoisuuksia. Haihtumisen vuoksi kuivuneen maalin biosidipitoisuus oli suurempi kuin märän maalin käyttöturvallisuustiedotteessa ilmoitettu pitoisuus. Määritettäessä maalatulta alueelta vapautuvia biosidejä tämä on otettava huomioon virheellisten laskelmien välttämiseksi. Maalien kemiallisista analyysistä saadut tulokset ovat tärkeä osa kokonaiskuvan ymmärtämistä esimerkiksi vertailtaessa hulevesituloksia eri valuma-alueilta, joilla analysoituja maaleja on käytetty. Lisäksi tulokset ovat hyödyllisiä kemikaaliviisasta rakentamista koskevien neuvojen antamisen kannalta.

Kattohuovat sisälsivät biosidejä, kuten IBPC:tä, diuronia, isotiatsolinoneja sekä metalleja (kuparia). Kattohuopa-analyysien tulokset ovat arvokkaita verrattaessa hulevesituloksia valuma-alueilta, joilla on käytetty erilaisia katemateriaaleja. Lisäksi tulokset ovat arvokkaita ympäristössä esiintyvien haitta-aineiden seurannassa (lähteiden jäljittämässä) sekä kemikaaliviisasta rakentamista koskevia neuvoja annettaessa.

PVC-muovista valmistetut rakennusmateriaalit sisälsivät suuria pitoisuuksia erilaisia muovinpehmentimiä, jopa 44 prosenttia (35 % DINP:tä ja 9 % DIDP:tä). Analysoituihin PVC-materiaaleihin kuului PVC-lattiapäällysteitä, joista otettiin näytteitä olemassa olevista rakennuksista,

suoraan rakennustarvikeliikkeestä ostettuja PVC-lattiapäällysteitä sekä yksi PVC-levytyyppi, jota käytettiin tunnelirakentamisessa estämään veden pääsyä rakenteisiin. Uutena ostetut lattianpäällysteet sisälsivät vaihtoehtoisia muovinpehmentimiä, joia yleensä käytetään korvaamaan ftalaatteja, kun taas vanhojen lattianpäällystemateriaalien pehmenninseoksesta tuli selvästi esiin yksi ftalaatti ja useita muita esiintyi pienempinä pitoisuuksina. Uusi tunnelirakentamisessa käytettävä PVC-levy sisälsi pääasiassa kahta ftalaattia ja vain pieniä määriä muita ftalaatteja. Nämä tulokset antavat tietoa siitä, missä määrin muovinpehmentimet leviävät sekä sisäympäristöihin (vertaamalla pitoisuuksia pölystä mitattuihin pitoisuuksiin) että ulkoympäristöihin (vertaamalla pitoisuuksia valumavesissä).

Ulkokäyttöön tarkoitettu polyuretaanieriste sisälsi sellaisia määriä organofosfaatteja, erityisesti TCP:ta ja TEP:tä, että niitä saattoi levitä ympäröiviin väliaineisiin. Nämä havainnot ovat merkittäviä, koska TCP:ta havaittiin hulevedessä, pölyssä ja jätevedessä. Jotta ymmärrettäisiin paremmin, miksi tätä ainetta esiintyy tuotteissa ja erilaisissa ympäristöissä, tarvitaan lisää tietoa sen käytöstä, sitä koskevasta säädöksistä, riskinarvioinneista jne. Näitä tietoja ja hankkeen havaintoja esitetään tarkemmin TCP:ta koskevassa kokonaiskuvaosiossa ja hankkeen havainnoissa. Rakennustyön johtamisessa on tärkeää huomata, että nykyiset EU-säädökset (REACH-asetus) eivät edellytä rakennusmateriaalien TCP-pitoisuuden ilmoittamista, koska TCP ei ole ehdokasluettelossa. Näin ollen tätä haitallista ainetta voi lisätä tuotteisiin ilmoittamatta siitä jatkokäyttäjille, mikä saattaa johtaa aineen laajamittaiseen käyttöön.

Muut tässä hankkeessa analysoidut eristemateriaalit eivät sisältäneet näitä aineita. Tästä syystä TCP:n esiintyminen polyuretaanieristeessä voidaan tulkita vain katsaus hetkelliseen tilanteeseen, ja TCP:n varsinaisten lähteiden selvittämiseksi tarvitaan lisätutkimuksia.

Terassien ja julkisivujen *puulaudoitukset* sisälsivät biosidejä, joita käytetään puun käyttöiän pidentämiseksi. Niiden myrkyllisyys edellyttää kuitenkin puurakentamisen vaikutuksien huolellista arviointia, jotta pystytään tekemään kompromisseja. Myös hulevesinäytteissä havaittiin biosidejä. Puulaudoitusten kemiallisten analyysien tulokset ovat arvokkaita vertailtaessa hulevesitietoja alueilta, joilla on käytetty erilaisia rakennusmateriaaleja, ja annettaessa ohjeita kemikaaliviisaaseen rakentamiseen.

Pinnoitteiden ja pintakäsittelyaineiden todettiin sisältävän PFAS-yhdisteitä. Hankkeessa pyrittiin jäljittämään eri rakennusmateriaaleissa olevia laajalle levinneitä haitta-aineita, erityisesti PFAS-yhdisteitä, riippumatta siitä, onko niitä lisätty materiaaleihin tarkoituksellisesti vai ei. Vain yhden tähän rakennusmateriaaliryhmään kuuluvan tuotteen, kivi- ja betonipintojen käsittelyaineen, todettiin sisältävän PFAS-yhdisteitä. Myös yhdessä vanhassa PVC-lattiapäällysteessä havaittiin PFAS-yhdisteitä. Rakennusmateriaaleissa olevien PFAS-yhdisteiden lähteiden tunnistaminen ja jäljittäminen on edelleen jatkuva haaste.

Määritysrajan alittavia aineryhmiä koskevat tulokset

Useat rakennusmateriaalit eivät sisältäneet aineita, joita niistä odotettiin löytyvän, kuten raskasmetalleja, ftalaatteja, PFAS-yhdisteitä ja kloorattuja parafiineja. Rakennusmateriaaleihin lisätään usein aineita ja kemikaaleja tiettyjen ominaisuuksien aikaansaamiseksi eli valmistajalla on erityinen syy käyttää niitä. Joitakin haitallisia kemikaaleja odotettiin havaittavan aiempien käyttötapojen ja tiettyjen toiminnallisten kriteerien vuoksi. Niiden puuttuminen saattaa kuitenkin

johtua useista eri tekijöistä, kuten korvaamisesta, lainsäädännöstä ja lisääntyneestä tietoisuudesta. Haitallisten aineiden korvaamisesta turvallisemmilla vaihtoehdoilla on tullut yleinen käytäntö, joka johtuu tiukemmasta lainsäädännöstä ja kiertotalouden mukaisuuden korostamisesta. Erityisesti REACH-asetuksella on ollut merkittävä rooli haitallisten kemikaalien asteittaisessa käytöstä poistamisessa. REACH-asetus edellyttää kemikaalien rekisteröintiä, arviointia, lupamenettelyjä ja käyttörajoituksia, mikä pakottaa valmistajat etsimään turvallisempia vaihtoehtoja. Lisäksi rakennusalan pyrkimys kiertotalouden mukaiseen toimintaan edellyttää sellaisten materiaalien käyttöä, jotka voidaan turvallisesti käyttää uudelleen tai kierrättää. Tämä on johtanut haitallisten aineiden käytön vähenemiseen, sillä ne aiheuttavat merkittäviä haasteita kierrätysprosesseille. Kuluttajien ja teollisuuden sidosryhmien lisääntynyt tietoisuus haitallisten kemikaalien terveys- ja ympäristövaikutuksista on myös lisännyt turvallisempien tuotteiden kysyntää. Hankintaprosessien kemikaalivaatimukset ovat tiukentuneet, ja monet organisaatiot määrittelevät hankintakriteereissään, että tiettyjä haitallisia aineita ei saa käyttää. Tällä ennakoivalla lähestymistavalla varmistetaan, että rakennushankkeissa käytettävät materiaalit täyttävät korkeat turvallisuusstandardit alusta alkaen.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että odotettujen haitallisten aineiden puuttuminen tietyistä rakennusmateriaaleista johtuu lainsäädännön aiheuttaman paineen, kiertotalouden edistämiseen tähtäävän toiminnan, lisääntyneen tietoisuuden ja hankintaprosessien tiukkojen kemikaalivaatimusten yhdistelmästä. Nämä tekijät yhdessä edistävät turvallisempaa ja kestävämpää rakennettua ympäristöä.

Kokonaiskuva

Tutkituissa eri näytetyypeissä havaittiin laaja kirjo haitallisia aineita. Kun eri kaupungeista ja näytetyypeistä saadut tulokset yhdistettiin, saatiin aikaan kokonaiskuva näytteenoton tuloksista. Tässä osiossa kuvataan tarkemmin viittä tällaista päätulosta eli

- pölyssä olevien haitta-aineiden seosta
- puun käsittelyssä käytettyjä biosidejä ja niiden vuotamista ympäristöön
- PFAS-yhdisteitä eli ikuisuuskemikaaleja
- TCPP:tä eli mahdollisesti pysyvää, leviävää ja myrkyllistä ainetta
- metalleja.

Näitä yksityiskohtaisia esimerkkejä seuraa useita tärkeitä mutta lyhyesti kuvattuja esimerkkejä. Lisätietoja kustakin kumppanista (kaupungista), aineesta tai näytetypistä on liitteissä.

Pölyssä olevien haitta-aineiden seos

Kuten monet tutkimukset ovat jo osoittaneet, pöly toimii lukemattomien vaarallisten aineiden kantajana. Pölyn tiedetään siis kuvaavan kyseisen sisäympäristön erityistä kemikaalien sekoitusta.

Pölyn sisältämät ftalaatit ja vaihtoehtoiset muovinpehmentimet verrattuna PVC-lattiapäällysteissä oleviin pehmentimiin

Hypoteesi oli, että PVC-materiaaleissa käytettävien muovinpehmentimien ja pölyn välillä on yhteys. Seuraavat yhteydet tutkittiin:

- Rakennusteollisuudessa PVC-muovia käytetään usein lattiapäällystemateriaalina. Lattiapäällystemateriaalissa oleva muovinpehmentin voi vaikuttaa myös pölytasoihin. Tämä johtuu siitä, että monet pehmentimet siirtyvät viereisiin materiaaleihin erityisesti silloin, kun ne joutuvat kosketuksiin lipidien eli rasva-aineiden kanssa ja altistuvat yli 21 °C:n lämpötiloille.

Tämän tutkimuksen tulokset täydensivät jo aiemmissa Tukholmassa tehdyissä tutkimuksissa otettujen PVC- ja pölynäytteiden suurta määrää (Larsson ja Berglund 2016). Näytteiden määrä auttoi meitä osoittamaan hypoteesimme todeksi. Hypoteesin mukaan PVC-muoviin lisätyt pehmentimet kulkeutuvat sisäympäristöön ja kiinnittyvät pölyhiukkasiin (taulukot 13 ja 14 sekä liitteet 4 ja 5A). Kun pehmentimien mediaanipitoisuutta sellaisista huoneista otettujen näytteiden pölyssä, joiden lattioiden oli varmistettu sisältävän pehmentimiä (DINP [rivi i], DEHP [rivi j] ja DINCH [rivi k]), verrattiin pehmentimien mediaanipitoisuuteen sellaisista huoneista otettujen näytteiden pölyssä, joiden lattiat eivät sisältäneet PVC-muovia (rivi l), pehmentinipitoisuuksien todettiin olevan vähintään viisinkertaisia.

Taulukko 13. Pölyn sisältämät pehmentimet verrattuna muihin tutkimuksiin.

	Year Country ^{ref}	N	Plasticizer, median $\mu\text{g/g}$								
			DEHP	BBzP	DnBP	DINP	DIDP	DEHT	DEHA	ATBC	DINCH
a	2006-07 Sweden ¹	10	1600	31	150						
b	2008-09 Denmark ²	151	500	17	38						
c	2011-12 Germany ³	63	888	6	21	302	34	40	49	24	302
d	2013 Sweden ⁴	3	560		26	660	260				
e	2015 Sweden ⁵	100	290	9	21	380	50	86	9,7	6,2	49
f	2018 Stockholm ⁶	20	117	6	13	390	57	100	9	5	57
g	2023 Stockholm ⁷	19	35	2	4	90	21	99	4	3	109
h	2023 Västerås ⁸	8	53	2	3	31	22	538	4	6	17

Taulukko 14. Pölyn sisältämät pehmentimet suhteessa lattian pehmentinpitoisuuteen.

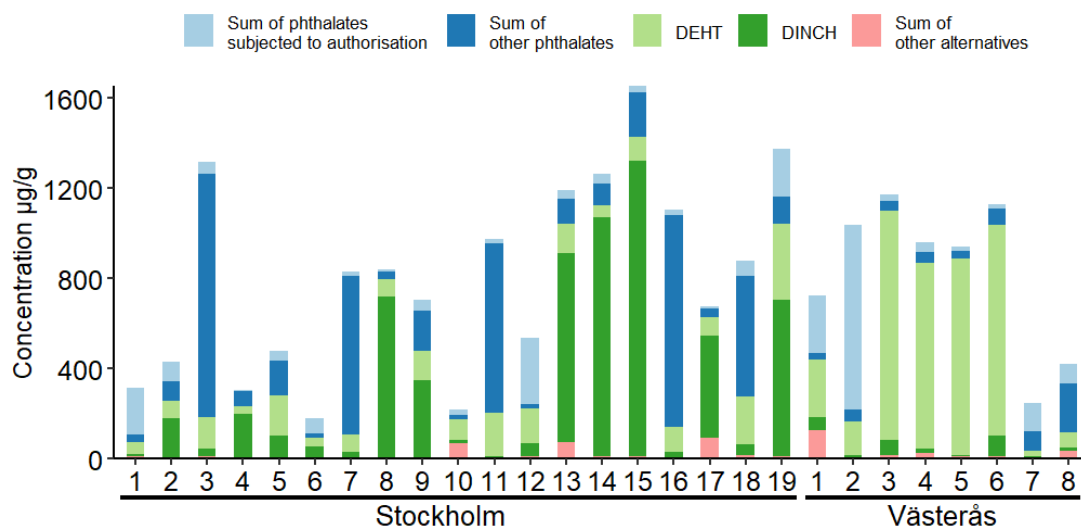
	Year Country ^{ref}	N	Plasticizer, median $\mu\text{g/g}$								
			DEHP	BBzP	DnBP	DINP	DIDP	DEHT	DEHA	ATBC	DINCH
i	DINP - flooring (average content 22%) ^{5, 6, 7, 9, 10}	12	66	3	3	975	53	126	11	7	32
j	DEHP-flooring (average content 27%) ^{5, 6, 7, 9, 10}	8	703	14	20	165	43	69	6	10	31
k	DINCH-flooring (average content 9%) ^{5, 6, 7, 9, 10}	14	61	5	9	135	26	88	6	6	476
l	non PVC ^{5, 6, 7}	6	125	7	20	125	50	108	3	6	86

Viitteet: 1. Bergh ym. 2011, 2. Langer ym. 2010, 3. Fromme ym. 2013 ja 2016, 4. KEMI 2013, 5. Larsson ja Berglund 2016, 6. Giovanoulis 2018, 7. Öhman 2023 (liite 5A), 8. Larsson 2024 (liite 4), 9. Ekberg-Österdahl, WSP 2015, 10. Langer ym. 2020

Aiemmassa Tukholmassa tehdyssä tutkimuksessa otettiin ilmanäytteitä huoneista, joissa oli PVC-lattiapäällyste, ja ilmassa havaittiin myös muovinpehmentimiä (usein ftalaatteja; Langer ym. 2021).

Ftalaatit ja vaihtoehtoiset muovinpehmentimet pölyssä – Tukholman ja Västeråsin vertailu

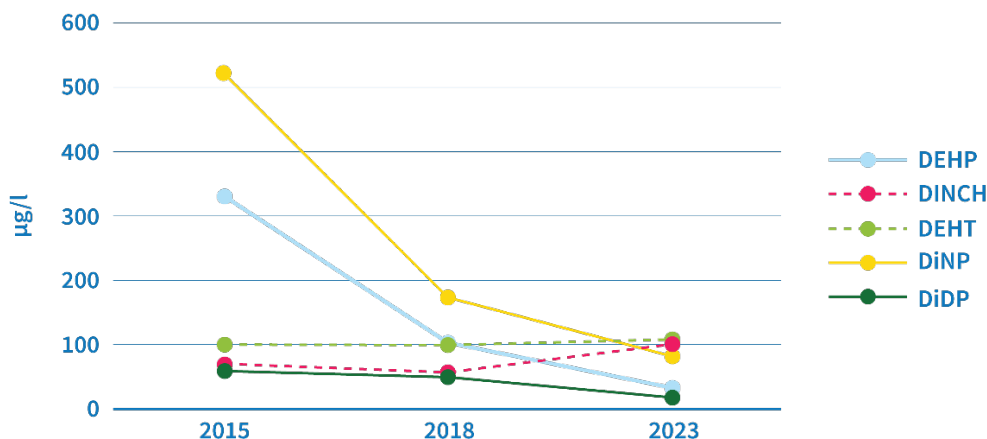
Kuvassa 12 on havainnollistettu kaikki pölynäytteet (eri esikouluista) niin, että pylväiden eri värit vastaavat yksittäistä ftalaattia tai vaihtoehtoista muovinpehmentintä. Ilmeisesti pölyn sisältämät pehmentinpitoisuudet vaihtelevat paitsi kaupunkien välillä myös kaupunkien sisällä. Edellä olevissa taulukoissa 13 ja 14 olevien todistettujen tietojen perusteella lattiapäällystemateriaalin sisältämän pehmentimen tyyppi vaikuttaa asiaan merkittävästi. Västeråsin osalta tiedetään, että PVC-lattiapäällysteessä oli käytetty pehmentimenä DEHT:tä (vaaleanvihreä), sillä BVB oli rekisteröinyt ja arvioinut sen (täydellinen tavarankuvaus) ja sen tiedot oli dokumentoitu rakennushallinnon lokikirjaan (näytteen tunnus Västerås 3-6). Sama pätee Tukholmaan, paitsi että siellä oli käytetty DINCH:ta (tummanvihreä; näytteiden tunnukset Stockholm 8-9, 13-15, 17 ja 19).



Kuva 12. Pölyssä havaitut muovinpehmentinryhmät 19 esikoulussa Tukholmassa ja neljässä esikoulussa Västeråsissa, kaksi näytettä kustakin esikoulusta. Luvanvaraiset ftalaatit (DiBP, DnBP, BBzP ja DEHP), muut ftalaatit (DMP, DEP, DiNP, DiDP ja DPHP) ja muut vaihtoehdot (ATBC, DEHA ja TOTM).

ftalaatit ja vaihtoehtoiset muovinpehmentimet pölyssä – trendit

Pölyn haitta-ainepitoisuudet voivat kertoa myös aikaisemmin tehdyistä virheistä ja valitettavista korvaavien aineiden valinnoista. Kuvassa 13 on esimerkki vanhoista virheistä (sekä iloisia uutisia): siitä nähdään, että DEHP:n (jonka käyttöä rajoitettiin vuonna 2008¹) ja DiNP:n (joka lisättiin SIN-luetteloon² vuonna 2014) suuntaus oli jyrkästi laskeva vuodesta 2015 vuoteen 2018, ja sama trendi jatkui vuodesta 2018 vuoteen 2023. Lisäksi uusien muovinpehmentimien (DEHT ja DINCH) käyttö on lisääntymässä. Tulokset osoittavat, että lainsäädäntö vähentää DEHP:n käyttöä tehokkaasti.



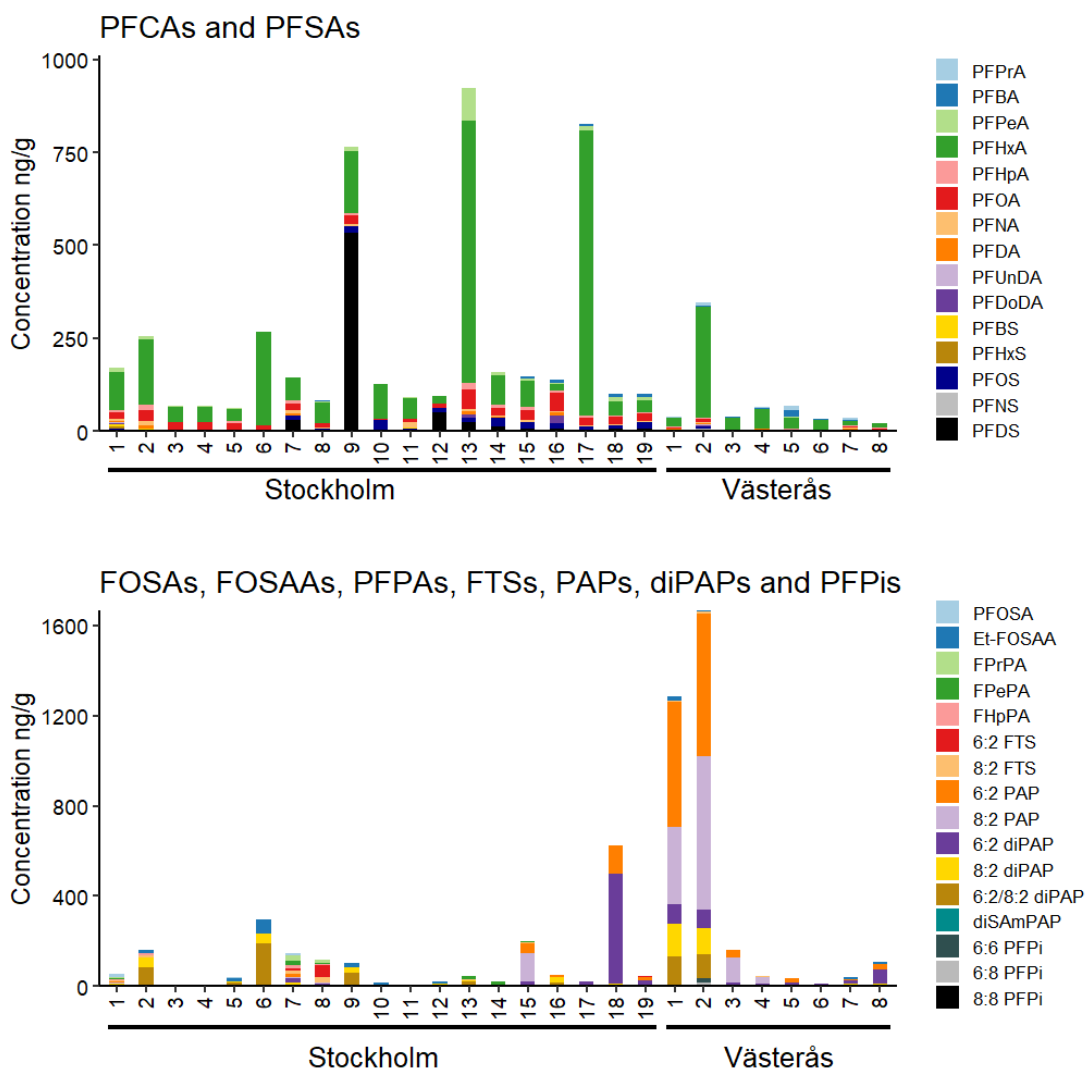
Kuva 13. Muovinpehmentimien käyttötrendit esikoulujen pölyssä Tukholmassa.

¹ DEHP lisättiin kemikaalien rekisteröintiä, arviointia, lupamenettelyä ja rajoituksia koskevan REACH-asetuksen (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) erityistä huolta aiheuttavien aineiden ehdokasluetteloon (Candidate List of Substances of Very High Concern, SVHC) 28.10.2008. Myöhemmin se sisällytettiin REACH-asetuksen liitteeseen XIV, jossa luetellaan luvanvaraiset aineet. DEHP:n lopetuspäivä eli päivä, jonka jälkeen sen käyttö ilman erillistä lupaa on yleisesti kielletty, oli 21.2.2015.

² ChemSecin SIN-luettelo eli Substitute It Now List käyttää REACH-asetuksen kriteerejä erityistä huolta aiheuttavien aineiden tunnistamiseen.

PFAS-yhdisteet pölyssä

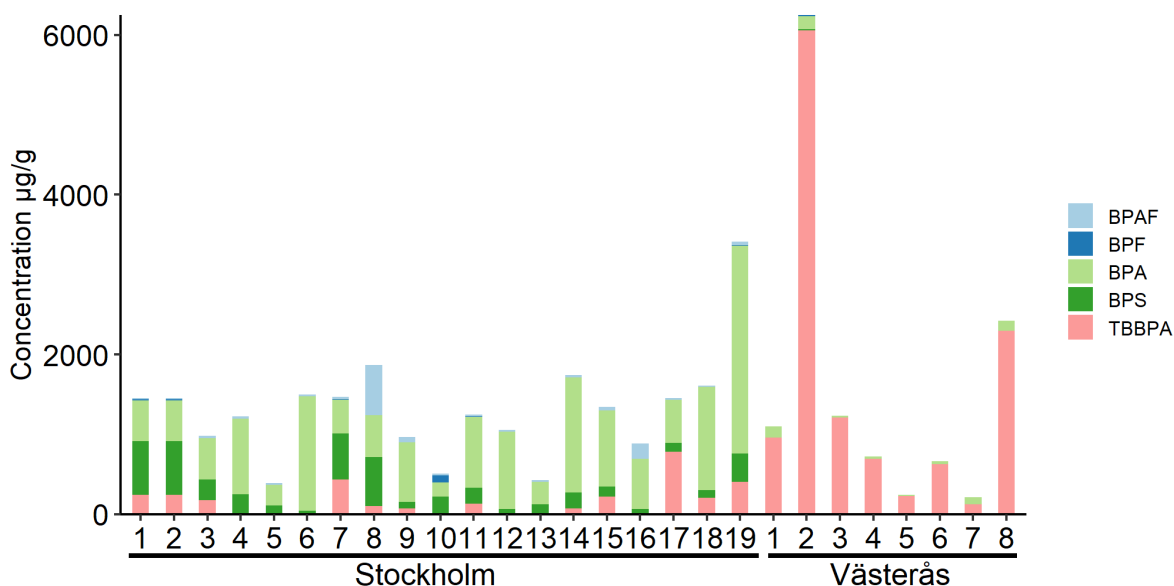
PFAS-yhdisteitä analysoitiin Tukholmassa ja Västeråsissa sijaitsevista esikouluista kerätyistä pölynäytteistä (yhteensä 26 näytettä). PFAS-yhdisteiden jakautuminen on esitetty kuvassa 14. Erilaisia PFAS-yhdisteitä havaittiin laajalti. Yleisesti ottaen Tukholmassa todettiin korkeimmat PFAS-pitoisuudet ”sulfonaatit ja karboksyylihapot” -luokassa (PFHxA 766 ng/g), kun taas Västeråsissa todettiin korkeimmat pitoisuudet ”telomeerit”-luokassa (8:2 PAP 682 ng/g). Tutkimuksessa mukana olleiden esikoulujen joukossa näytti olevan muutamia näytteitä tai esikouluja, joissa tiettyjen aineiden pitoisuudet olivat kolminkertaisia muihin verrattuna. Tutkimuksessa havaittiin viitteitä pölyssä olevien PFAS-yhdisteiden ja yhdessä Västeråsissa sijaitsevassa esikoulussa käytetyn PVC-lattiapäällystemateriaalin välisestä yhteydestä (liite 4). Tämän seurauksena hankimme Västeråsissa tavarantoimittajien kanssa käydyn vuoropuhelun avulla lisätietoa lattiavahan käytöstä. Lattian ja huonekalujen kiillotusaineet voivat sisältää PFAS-yhdisteitä. Tarvitaan kuitenkin lisätutkimuksia, jotta voidaan tarkasti jäljittää, mistä PFAS-yhdisteet ovat peräisin ja ryhtyä toimiin PFAS-yhdisteiden välttämiseksi esikouluissa.



Kuva 14. PFAS-yhdisteet esikoulujen pölyssä Tukholmassa ja Västeråsissa. Ylemmässä kaaviossa näkyvät perfluorikarboksyylihapot (PFCA) ja perfluorisulfonihapot (PFSA) ja alemmassa kaaviossa muut tutkitut PFAS-yhdisteet, joista monet ovat niin sanottuja esiasteita, mikä tarkoittaa, että ne voivat hajota pysyviksi PFCA- tai PFSA-yhdisteiksi.

Bisfenolit pölyssä

Bisfenoleja analysoitiin Tukholmassa ja Västeråsissa sijaitsevista esikouluista kerätyistä pölynäytteistä (yhteensä 26 näytettä). Bisfenolien jakautuminen on esitetty kuvassa 15. Yleisesti ottaen Tukholmassa todettiin korkeimmat bisfenoli A:n (2 600 ng/g) ja bisfenoli S:n (792 ng/g) pitoisuudet, kun taas Västeråsissa todettiin korkeimmat TBBPA-pitoisuudet (1 015 ng/g).



Kuva 15. Bisfenolit esikoulujen pölyssä Tukholmassa ja Västeråsissa.

Näyte Västerås 2 kattaa pölynäytteet yhdestä esikoulun huoneesta. Tutkimuksessa havaittiin poikkeuksellisen korkeita TBBPA-arvoja. TBBPA on elektroniikkalaitteissa palonestoaineena käytettävä bromibisfenoli. Kyseisessä huoneessa havaittiin olevan runsaasti pölyä, joihin on integroitu lamput, mikä on yksi mahdollinen lähde. TBBPA sitoutuu yleensä polymeerimateriaaliin eikä sitä pääse varsinaisesti vapautumaan lähialueille. Mahdollinen selitys on TBBPA:n liikakäyttö materiaalissa: jos TBBPA-molekyylejä on liian paljon, ne eivät pysty reagoimaan polymeerin kanssa, vaan siirtyvät materiaalista muualle.

Sisäilman pölyn haitta-aineita koskevat johtopäätökset

Tutkimus vahvisti, että sisätilojen pöly toimii merkittävänä erilaisten haitta-aineiden kantajana. Näitä haitta-aineita ovat esimerkiksi PVC-materiaaleista peräisin olevat muovinpehmentimet, PFAS-yhdisteet, bromiyhdisteet (TBBPA) ja bisfenolit, joista joitakin käytetään usein rakennusmateriaaleissa. Näiden haitallisten aineiden esiintyminen pölyssä oli vahvasti sidoksissa sisäympäristössä käytettyihin materiaalityyppeihin, ja suurempia pitoisuuksia havaittiin tiloissa, joissa oli PVC-lattiapäällysteitä ja käsiteltyjä pintoja, mikä osoittaa, että tutkitut aineet ovat liikkuvia ja niitä vapautuu materiaaleista näissä ympäristöissä. Tulokset korostavat turvallisempien materiaalivalintojen ja tiukempien säädösten merkitystä, jotta voidaan vähentää näille haitta-aineille sisäympäristössä altistumisesta koituvia terveysriskejä. Lisätutkimukset ovat olennaisen tärkeitä, jotta voidaan ymmärtää pitkän aikavälin vaikutuksia ja kehittää strategioita sisäpölyn haitta-ainepitoisuuksien vähentämiseksi.

Puun käsittelyssä käytetyt biosidit ja niiden vuotaminen ympäristöön

Toinen tutkittu aineryhmä olivat biosidit. Ympäristöystävällisenä ja muodikkaana pidettyyn puurakentamiseen liittyy myös haittapuoli: koska puisia rakennusmateriaaleja on suojattava sään vaikutuksilta ja lahoamiselta, ne käsitellään usein biosidejä sisältävillä puunkäsittelyaineilla. Biosidejä voi piillä itse puurakennusmateriaalissa, kuten puuverhouksessa, ja myös maaleissa ja lakoissa, joita käytetään rakenteen käyttöiän pidentämiseen.

Käytettävät biosidit voivat päästä ympäristöön varsinkin joutuessaan kosketuksiin veden kanssa. Biosidien toiminnallisena tarkoituksena on vaikuttaa haitallisesti kohdeorganismeihinsa. Useimmat biosidit eivät kuitenkaan ole lajikohtaisia, ja monet niistä ovat myrkyllisiä vesieliöille. Tutkimuksen yhteydessä havaittiin, että hulevedet alueilta, joissa on pääasiassa uusia puuverhoiltuja rakennuksia, sisälsivät enemmän biosidejä kuin muiden alueiden hulevedet (liite 1, Turun ammattikorkeakoulu). Kaikki havaitut biosidit ja niiden pitoisuudet on esitetty liitteissä 1–2 ja 4–5.

Biosidit hulevedessä

Hulevesinäytteiden biosidianalyysien tulokset esitetään taulukossa 15, jossa näkyvät mitattujen pitoisuuksien maksimi- ja minimiarvot sekä havaitsemistiheydet. Turussa kerätyistä 11 näytteestä kaksi oli muilta kuin kaupunkialueilta, joissa biosidejä ei havaittu, mikä tarkoittaa, että Turun kaupunkialueiden havaitsemistiheys oli itse asiassa korkeampi. Eri havaitsemistiheysalueet on merkitty seuraavasti määrien havainnollistamiseksi:

0-24%	25-49%	50-74%	75-100%
-------	--------	--------	---------

Taulukko 15. Neljän kaupungin hulevesinäytteistä analysoitujen biosidipitoisuuksien havaitsemistiheys ja vaihteluväli.

Biocides	Turku	Helsinki	Västerås	Stockholm
Diuron				
Detected/analysed	4/11	0/5	0/3	1/12
% of detection	36%	0%	0%	8%
Min - Max [µg/L]	<0.01-1.9	<0.05	<0.01	<0.01-0.01
Propiconazole				
Detected/analysed	5/11	3/5	1/3	0/12
% of detection	45%	60%	33%	0%
Min - Max [µg/L]	<0.01-0.17	<0.05-0.88	<0.01-0.011	<0.01
Mecoprop				
Detected/analysed	2/11	2/5	0/3	1/12
% of detection	18%	40%	0%	8%
Min - Max [µg/L]	<0.01-0.18	<0.05-0.38	<0.01	<0.01-0.06

BAM (2,6-dichlorobenzamide)				
Detected/analysed	2/11	-	0/3	4/12
% of detection	18%	-	0%	33%
Min - Max [µg/L]	<0,002-0.017	-	<0.01	<0.01-0.02
2-hydroxyterbutylazine				
Detected/analysed	2/11	-	1/3	3/12
% of detection	18%	-	33%	25%
Min - Max [µg/L]	<0.005-0.026	-	<0.01-0.011	<0.01-0.02

Eri kaupunkien, kuten Turun, Helsingin ja Västeråsın, hulevesinäytteissä havaittiin vaihtelevia diuronin-, propikonatsolin- ja mekopropipitoisuuksia. Biosidit olivat lisäksi levinneet eri tavalla eri kaupungeissa. Propikonatsolia havaittiin eniten: sen havaitsemistiheys oli Turussa 45 %, Helsingissä 60 % ja Västeråsissa 33 %, ja pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,011–0,88 µg/l, mutta Tukholmassa havaittiin eniten BAMia (jopa 0,02 µg/l).

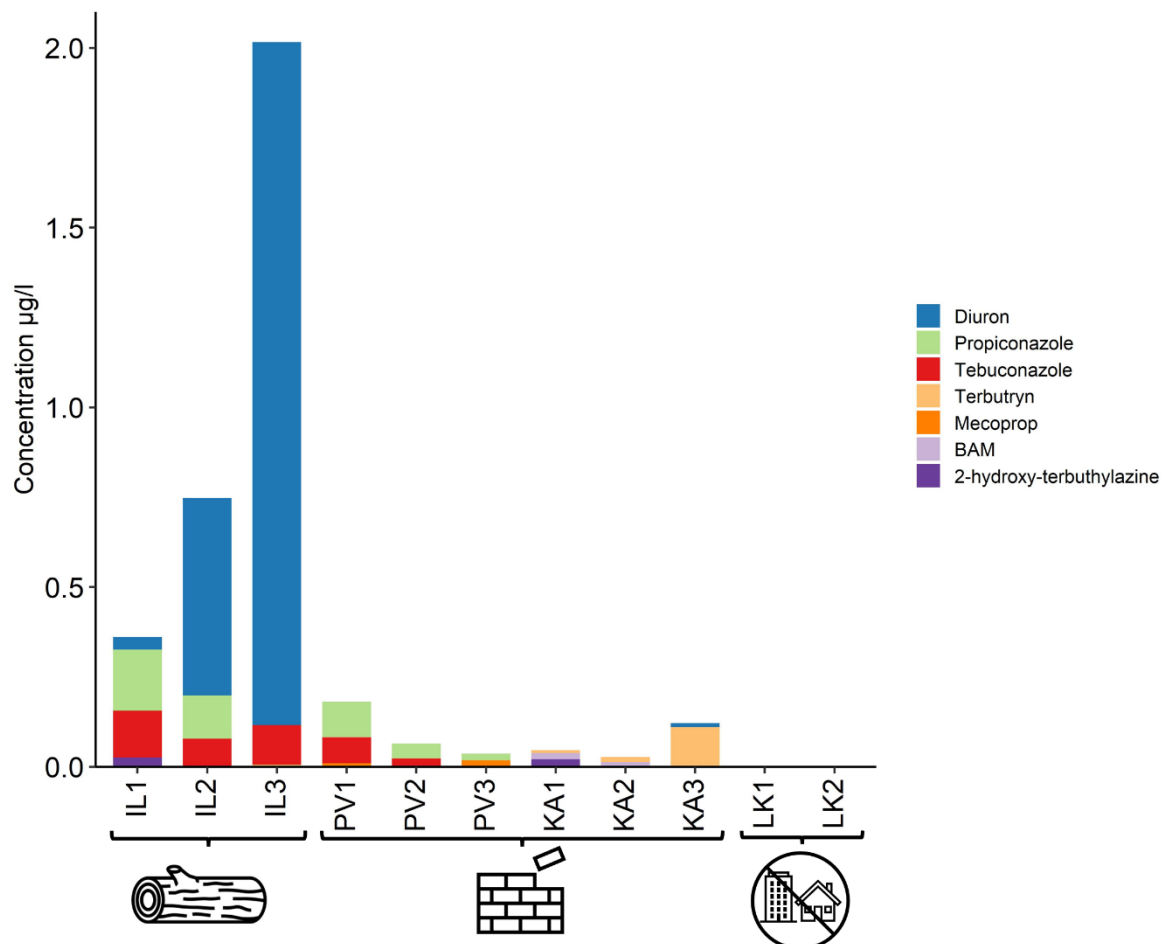
Mekopropia havaittiin Turussa otetuista näytteistä 18 prosentissa, Helsingissä otetuista näytteistä 40 prosentissa ja Tukholmasta otetuissa näytteissä 8 prosentissa, ja pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,06–0,38 µg/l. Diuronin havaittiin hulevedessä Turussa (36 prosentissa näytteistä) ja Tukholmassa (8 prosentissa näytteistä), ja sen pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,01–1,9 µg/l. Nämä pitoisuudet ovat aiemmin mainitun hulevesipitoisuuksien vaihteluvälin, enintään 12 µg/l (<0,005–12 µg/l), mukaisia (Paijens ym. 2020).

Näitä biosidejä tiedetään käytettävän rakennusmateriaalien lisäaineina (ks. rakennusmateriaaleja koskevan osion tulokset), joten niiden esiintyminen hulevesissä liittyy kaupunkien infrastruktuuriin. Erityisesti diuronin- ja mekopropipitoisuudet olivat suurempia sekaviemärien ylivuotovesissä kuin jätevesissä, mikä viittaa siihen, että hulevesien vaikutus niiden pitoisuuksiin on merkittävä, koska rakennukset on todettu niiden mahdolliseksi ensisijaiseksi lähteeksi (Paijens ym. 2020).

Havaintoja tehtiin myös sellaisten torjunta-aineiden hajoamistuotteista, joita ei yleisesti käytetä rakennusmateriaaleissa: BAM (diklorobentsamidi), joka on sienitautien torjunta-aine fluopikolidin (PFAS-yhdiste) johdannainen (havaittiin Tukholmassa ja Turussa), ja terbutyyliatsiini-2-hydroksi, joka on terbutylatsiinin johdannainen (havaittiin Turussa, Tukholmassa ja Västeråsissa).

Biosidit hulevesissä alueilla, joissa on pääasiassa puurakennuksia

Turussa enimmäkseen puisista omakotitaloista koostuvalta asuinalueelta (merkitty tunnuksella "IL") kerätyt hulevesinäytteet sisälsivät korkeampia biosidipitoisuuksia kuin sellaisilta alueilta kerätyt näytteet, joissa on käytetty pääasiassa muita kuin puumateriaaleja ("KA" ja "PV"). Biosidejä käytetään tyypillisesti puunsuojauksessa tai maaleissa.



Kuva 16. Valitut biosidit Turun alueelta otetuissa hulevesinäytteissä ($\mu\text{g/l}$). X-akselilla olevat symbolit (vasemmalta oikealle) tarkoittavat aluetta, jossa on puurakennuksia, aluetta, jossa on muita kuin puurakennuksia, ja aluetta, jossa ei ole lainkaan rakennuksia.

Biosidejä havaittiin kaikissa näytteenottopaikoissa lukuun ottamatta kontrollialuetta, jossa ei ole mitään rakennuksia ("LK"). Tämä osoittaa selvän eron rakennettujen ja rakentamattomien alueiden välillä. Rakentamiseen liittyvien biosidien kokonaispitoisuudet olivat korkeimmat IL:ssä (kuva 16).

Suurin mitattu yksittäinen biosidipitoisuus oli $1,9 \mu\text{g/l}$ diuronia IL:ssä, mikä oli yli 10 kertaa enemmän kuin muiden analysoitujen biosidien pitoisuudet. Muilla alueilla diuronia esiintyi joko vain pieninä pitoisuuksina tai ei lainkaan. Suurin diuronipitoisuus ylitti myös vesipuitedirektiivissä (direktiivit 2000/60/EY ja 2013/39/EU) sisävesille määritetyn suurimman sallitun pitoisuuden ympäristölaatuunormin (MAC-EQS) $1,8 \mu\text{g/l}$. Parhaillaan valmistelussa olevassa vesipuitedirektiivin päivityksessä diuronille on ehdotettu uutta, alemmaa suurimman sallitun pitoisuuden ympäristölaatuunormia ($0,27 \mu\text{g/l}$). Pitoisuus oli uutta ehdotettua suurimman sallitun pitoisuuden ympäristölaatuunormia suurempi kahdessa IL:stä otetussa näytteessä. Tulokset osoittavat, että rakennusmateriaaleista peräisin olevia biosidejä voivat huuhtoutua ja päätyä huleveteen. Jopa

pitoisuudet näillä tasoilla ovat ympäristön kannalta merkityksellisiä. Tulee huomata, että pitoisuuksia hulevedessä ja pintaveden ympäristölaatunormeja ei voi suoraan verrata toisiinsa, koska kyseessä ovat eri vesityypit. Vertailua ympäristölaatunormien arvoihin voidaan kuitenkin käyttää apuna pitoisuuksien suuruuden arvioinnissa.

Sen lisäksi, että pitoisuudet olivat suurempia puurakennusalueilla kuin alueilla, joissa on muita kuin puurakennuksia, eri alueiden biosidiprofiilit poikkesivat toisistaan, todennäköisesti käytettyjen materiaalien erojen vuoksi. Vaikka sekä IL:stä että PV:stä otetuissa näytteissä propikonatsolia ja tebukonatsolia havaittiin yleisesti, KA:sta otetuissa näytteissä ei havaittu kumpaakaan ainetta. Sen sijaan terbutryyniä havaittiin jokaisessa KA:sta otetussa näytteessä, mutta vain yhdessä IL:stä otetussa näytteessä, eikä sitä havaittu lainkaan muilla alueilla. Mekopropia, jota käytetään yleisesti rikkakasvien torjunta-aineena, mutta jota on raportoitu esiintyvän myös rakennusmateriaaleissa, löydettiin vain yhdeltä alueelta (PV). Biosidien muuntumistuotteista terbutyyliatsiini-2-hydroksia (terbutylatsiinin metaboliittia), havaittiin yhdessä IL:stä ja yhdessä KA:sta otetussa näytteessä pieninä pitoisuuksina.

Biosidit ulkomaaleissa

Tukholman hankekumppanin raportissa (liite 5D) analysoitiin kuivuneen maalin sisältämiä biosideja niiden pitoisuuksien varmentamiseksi. Havainnot vahvistivat tavarantoimittajan käyttöturvallisuustiedotteessa annetut tiedot ja paljastivat lisäksi, että kuivuneen maalin todellinen pitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin käyttöturvallisuustiedotteessa ilmoitettu pitoisuus, mikä olikin odotettavissa. Kuivuneesta maalista tehdyt havainnot eivät kuitenkaan ole odotettuja, ja ne tulee ottaa huomioon riskejä arvioitaessa ja maaleja valittaessa. IPBC oli yleisin biosidi analysoiduissa maaleissa (enintään 7 589 mg/kg), ja seuraavaksi yleisin oli diuroni (enintään 780 mg/kg).

Biosidit muissa rakennusmateriaaleissa (pl. maalit)

Tukholmasta ostettu kattohuopamateriaali sisälsi IPBC-biosidia. Sen pitoisuus oli 1 384 mg/kg. Lisäksi kahdessa neljästä helsinkiläisiltä rakennustyömailta otetuista näytteistä oli biosideja. Terassien ja julkisivujen puulaudoitusten todettiin sisältävän propikonatsolia (8,3 mg/kg ja 0,07 mg/kg) ja tebukonatsolia (8,7 mg/kg ja 0,05 mg/kg).

Biosidien vuotaminen veteen laboratorio-olosuhteissa

Samanaikaisesti tämän tutkimuksen kanssa Luulajan teknillisessä yliopistossa tehtiin laboratoriotutkimus, jossa mitattiin rakennusmateriaaleissa olevien biosidien suoraa vuotamista veteen. Alustavat havainnot tukevat hypoteesia, että jonkin verran biosideja vuotaa veteen.

Biosidejä ja puurakentamista koskevat johtopäätökset

Hulevesinäytteissä alueilta, joissa on pääasiassa uusia puuverhouksia, havaittiin suurempia biosidipitoisuuksia, ja eri kaupungeissa havaittiin diuronin, propikonatsolin ja mekopropin kaltaisia aineita. Näiden biosidien pitoisuudet olivat huomattavasti suurempia hulevesissä, erityisesti puurakennusalueilla, mikä korostaa biosidien merkittäviä ympäristövaikutuksia. Lisäksi kuivuneen maalin biosidipitoisuuksien havaittiin olevan käyttöturvallisuustiedotteessa ilmoitettuja suurempia, mikä korostaa tarvetta parantaa biosidien hallintaa ja valvontaa rakennusmateriaaleissa.

PFAS-yhdisteet eli ikuisuuskemikaalit

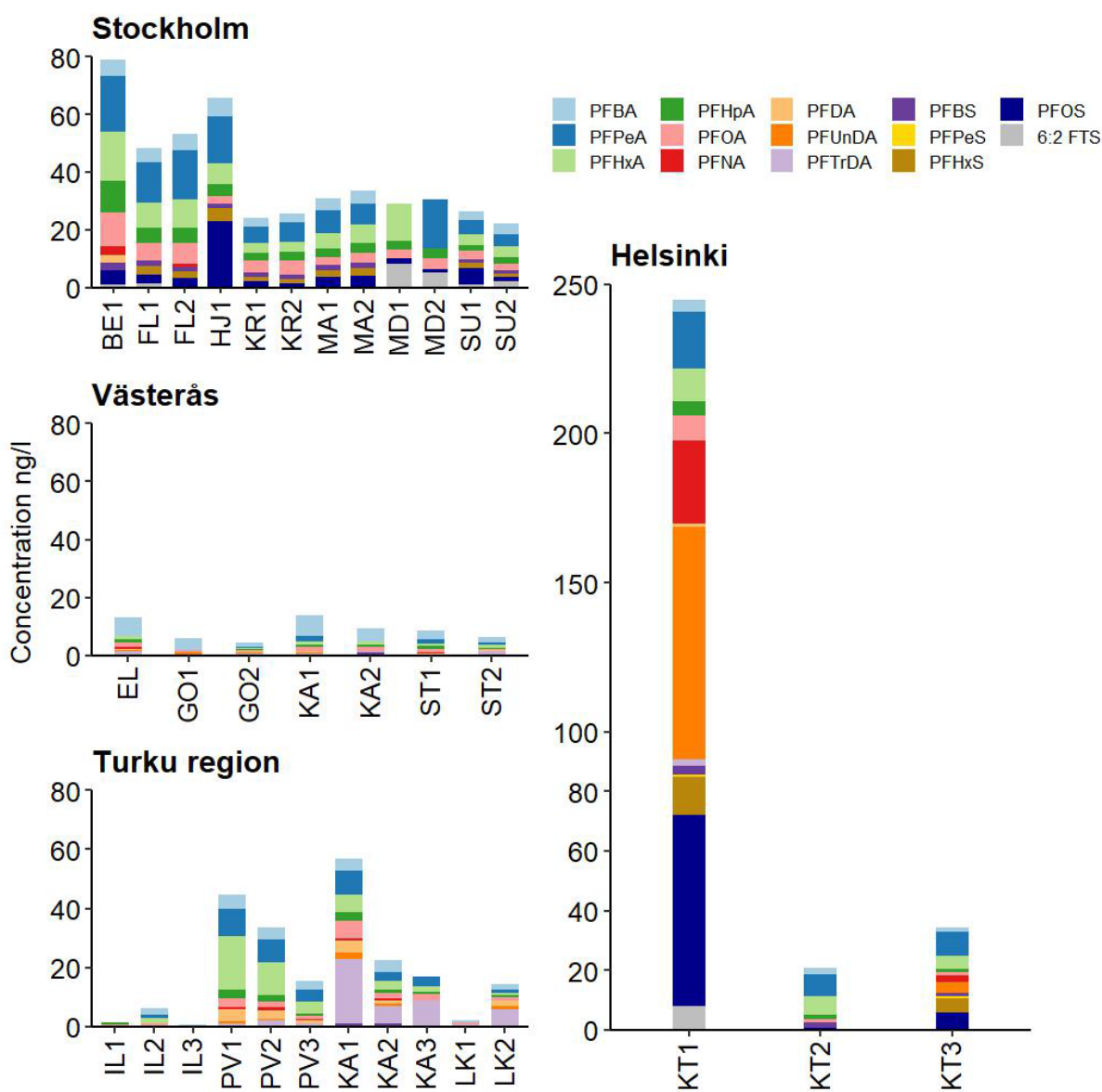
PFAS-yhdisteitä (per- ja polyfluorattuja alkyyliyhdisteitä) on kutsuttu ”ikuisuuskemikaaleiksi”, koska ne ovat erittäin pysyviä. Kuten monissa muissa tutkimuksissa, tässäkin tutkimuksessa näitä aineita havaittiin lähes ”kaikkialla” eli hulevedessä, jätevedessä, sisätilojen pölyssä ja rakennusmateriaaleissa. Kaikissa tutkituissa näytetyypeissä oli kuitenkin myös havaittavissa pitoisuuksien jakaumia ja vaihteluvälejä, mikä antoi viitteitä aineiden kohtalosta ympäristössä ja niiden mahdollisista lähteistä. PFAS-yhdisteet ovat hyödyllisiä, koska ne hylkivät vettä ja niillä on erityisiä pinta-aktiivisia ominaisuuksia. PFAS-yhdisteet ovat kuitenkin myös terveydelle haitallisia, minkä lisäksi ne ovat myös hajoamattomia. PFAS-yhdisteiden ominaisuuksien hyödyntämiseen teollisuudessa niitä tarvitaan vain hyvin pieniä määriä. Siksi niiden pitoisuutta harvoin ilmoitetaan sen paremmin kulutustuotteissa kuin rakennusmateriaaleissakaan.

PFAS-yhdisteet hulevedessä

PFAS-yhdisteiden pitoisuudet hulevedessä tutkimuksen neljässä kaupungissa on esitetty kuvassa 17 ja taulukossa 16.

Västeråsissa näytteitä otettiin hulevesilammikoista/-ojista, joihin tulee vettä omakotitalovaltaisilta asuinalueilta. EL:n valuma-alue on suurin, ja alueella on jonkin verran liikennettä. GO:n, KA:n ja ST:n valuma-alueet ovat pienempiä ja sijaitsevat asuinalueilla, joissa on vähemmän liikennettä. GO- ja KA-alueet olivat rakenteilla, ja rakennustyöt olivat käynnissä näytteenoton aikana. Turun seudulla näytteitä otettiin asuinalueelta (merkintä ”IL”), jossa on enimmäkseen puisia omakotitaloja, kun taas KA ja PV ovat alueita, joissa on käytetty enimmäkseen muita kuin puumateriaaleja. Tukholman ja Helsingin näytteet otettiin alueilta, joiden valuma-alueilla on sekä liikennettä että asuinalueita.

Tärkein viesti on, että PFAS-yhdisteiden pitoisuudet vaihtelevat kaupunkien välillä ja myös näytteenottopaikkojen ja näytteenottoaikojen välillä. Helsingin KT1-alueen suurelle PFAS-pitoisuudelle ei ole selvää selitystä, mutta kaupunki jatkaa mahdollisten lähteiden etsimistä. Turun alueella on myös viitteitä siitä, että PFAS-yhdisteiden pitoisuudet vaihtelevat sen mukaan, minkä tyyppisiä rakennuksia ja paljonko liikennettä alueella on. Puutaloalueella hulevesien PFAS-yhdisteiden pitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin alueilla, joissa on vähemmän puurakennuksia (kuva 17: TURKU, PV1 ja liite 1).



Kuva 17. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet hulevedessä. Kuviossa näytetään vain ne aineet, jotka analysoitiin kaikista paikoista ja joiden pitoisuus ainakin yhdessä näytteessä ylitti määrittämissärajat. Lisätietoja näytteenottopaikoista on tekstissä.

Analysoitujen hulevesinäytteiden PFAS-yhdisteiden pitoisuudet esitetään seuraavissa taulukoissa, joissa näkyvät mitattujen pitoisuuksien maksimi- ja minimiarvot sekä havaitsemistiheydet. Eri havaitsemistiheysalueet on merkitty seuraavasti:

0-24%	25-49%	50-74%	75-100%
-------	--------	--------	---------

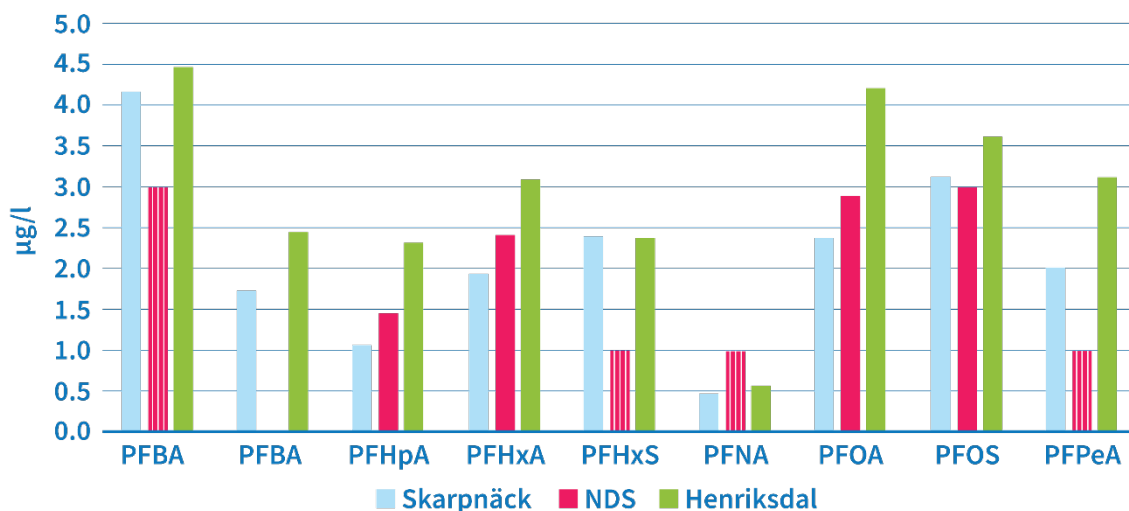
Taulukko 16. Yhteenveto neljän kaupungin hulevesinäytteiden PFAS-yhdisteiden analyysien tuloksista. Taulukossa on kuvaus kunkin aineen havaitsemistiheydestä ja pitoisuusjakaumasta. Yksittäisten PFAS-yhdisteiden määrittämisraja-arvot vaihtelivat Helsingin ja Västerås'n näytteissä välillä < 0,3...< 1 ng/l. Tukholman näytteissä vaihteluväli oli < 1...< 20 ng/l. Huleveden PFOS-yhdisteiden pitoisuus ylitti sisävesien ympäristölaatusuorituksen keskimääräisen raja-arvon 0,65 ng/l kaikissa näytteissä, joissa sitä havaittiin. Suurin sallittu pitoisuus (MAC-EQS) 36 000 ng/l ei ylittynyt. Tulee huomata, että hule- ja pintaveden ympäristölaatusuorituksia ei voi suoraan verrata toisiinsa, koska kyseessä ovat eri vesityypit. Vertailua ympäristölaatusuorituksen arvoihin voidaan kuitenkin käyttää vertailuanalyysissä. Lisätietoja on liitteissä 1, 2 ja 4–5A.

PFAS	Turku	Helsinki	Västerås	Stockholm
PFBA				
Detected/analysed	9/11	5/5	7/7	10/12
% of detection	82%	100%	100%	83%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-5	1.3-4	1.4-7.3	<LOQ-6.6
PFPeA				
Detected/analysed	8/11	5/5	4/7	11/12
% of detection	73%	100%	57%	92%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-9	4.3-19	<LOQ-1.8	<LOQ-19
PFHxA				
Detected/analysed	8/11	5/5	6/7	11/12
% of detection	73%	100%	86%	92%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-18	3.9-11	<LOQ-1.2	<LOQ-11
PFHpA				
Detected/analysed	8/11	5/5	6/7	12/12
% of detection	73%	100%	86%	100%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-3	1.1-4.8	<LOQ-1.2	2.1-11
PFOA				
Detected/analysed	10/11	5/5	7/7	12/12
% of detection	91%	100%	100%	100%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-9	0.94-8.2	0.42-1.6	2.3-12
PFNA				
Detected/analysed	5/11	3/5	2/7	2/12
% of detection	45%	60%	29%	17%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-1	<LOQ-28	<LOQ-0.5	<LOQ-2.7
PFDA				
Detected/analysed	0/11	1/5	0/7	1/12
% of detection	0%	20%	0%	8%
Min - Max [ng/L]	<LOQ	<LOQ-0.89	<LOQ	<LOQ - 2.9
PFUnDA				
Detected/analysed	0/11	3/5	0/7	0/12
% of detection	0%	60%	0%	0%
Min - Max [ng/L]	<LOQ	<LOQ-78	<LOQ	<LOQ
PFTTrDA				
Detected/analysed	0/11	1/5	0/7	0/12
% of detection	0%	20%	0%	0%
Min - Max [ng/L]	<LOQ	<LOQ-2.1	<LOQ	<LOQ
PFBS				

Detected/analysed	6/11	5/5	5/7	10/12
% of detection	55%	100%	71%	83%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-4	0.6-3	<LOQ-0.5	<LOQ-2.4
PFPeS				
Detected/analysed	0/11	2/5	0/7	0/12
% of detection	0%	40%	0%	0%
Min - Max [ng/L]	<LOQ	<LOQ-1.5	<LOQ	<LOQ
PFHxS				
Detected/analysed	5/11	3/5	4/7	9/12
% of detection	45%	60%	57%	75%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-2	<LOQ-13	<LOQ-1	<LOQ-4.5
PFOS				
Detected/analysed	9/11	5/5	6/7	12/12
% of detection	82%	100%	86%	100%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-22	0.56-64	<LOQ-1.4	1.4-23
6:2 FTS				
Detected/analysed	2/11	2/5	1/7	6/12
% of detection	18%	40%	14%	50%
Min - Max [ng/L]	<LOQ-1	<LOQ-7.9	<LOQ- 1.1	<LOQ-8.3

PFAS-yhdisteet jätevedessä

Tukholman talousjätevesiä koskevan tutkimuksen tuloksissa ei ollut havaittavissa mitään selvää suuntausta (kuva 18 ja liite 5C). Edellisen, vuosina 2014–2016 tehdyn tutkimuksen (SVOA:n sisäinen raportti), tutkimukset ovat samansuuntaisia. Vaikka PFOS-yhdisteiden käyttöä on säännelty pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevalla asetuksella vuodesta 2009 lähtien ja PFOA:n käyttöä vuodesta 2019 lähtien, niiden pitoisuudet eivät ole vähentyneet sen paremmin kotitalouksien jätevesissä kuin jätevedenpuhdistamoihin tulevassa jätevedessäkään.



Kuva 18. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet Skarpnäckin ja NDS:n talousjätevesissä sekä Henriksdalin jätevedenpuhdistamoon tulevassa jätevedessä 2020–2023. Raidalliset pylväät osoittavat määritysrajan. NDS:n seitsemästä jätevesinäytteestä neljässä PFBS-pitoisuus oli toteamisrajaa pienempi.

PFAS-yhdisteet sisätilojen pölyssä

Tutkimuksessa havaittiin viitteitä pölyssä olevien PFAS-yhdisteiden ja yhdessä Västeråsissa sijaitsevassa esikoulussa käytettyjen materiaalien välillä. Tätä kuvataan tarkemmin pölyä käsittelevässä osiossa.

PFAS-yhdisteet rakennusmateriaaleissa

Aiemmat raportit ovat osoittaneet, että rakennusmateriaalit voivat olla PFAS-yhdisteiden lähde, kuten Miljøstyrelsen (2024) on todennut. Tässä tutkimuksessa vain muutamien rakennusmateriaalien havaittiin sisältävän mitattavissa olevia määriä PFAS-yhdisteitä, kuten yllämainitun PVC-lattianpäällysteen Västeråsissa (~3 µg/g) ja Helsingistä otetussa näytteessä kivi- ja betonipintojen käsittelyaineen (20 000 µg/g). Sen paremmin Tukholmassa analysoidut ulkomaalit (ja kattuhuovat) kuin Tallinnassa analysoidut materiaalitkaan eivät kuitenkaan sisältäneet PFAS-yhdisteitä, ja Västeråsin lattiapäällystemateriaalissa esiintyneet PFAS-yhdisteet voitiin selittää lattian kiillotuskäsittelyllä, joten haasteena on edelleen selvittää, mistä nämä PFAS-yhdisteet ovat peräisin ja miten niiden leviäminen ympäristössä voidaan estää.

Poimimalla tietoja Byggsvarubedomningens (BVB) arviointijärjestelmästä on mahdollista saada tietoa siitä, minkä tyyppiset rakennusmateriaalit sisältävät tiettyjä vaarallisia aineita. Sisällysluettelo ja arvioinnit perustuvat tavarantoimittajien tuoteselosteisiin. Tällaisen tutkimuksen tuloksista käy ilmi, että tavarantoimittajien tietojen mukaan PFAS-yhdisteitä käytetään rakennusmateriaalien lisäaineena harvoin yli 0,01 painoprosenttia lukuun ottamatta tapauksia, joissa käytetään polymeerisiä PFAS-yhdisteitä.

Johtopäätökset PFAS-yhdisteistä kaupunkiympäristöissä

Vettä hylkivistä ja pinta-aktiivisista ominaisuuksistaan tunnettuja PFAS-yhdisteitä havaittiin useissa eri näytetyypeissä, kuten hule- ja jätevedessä, sisätilojen pölyssä ja rakennusmateriaaleissa. Tutkimuksessa havaittiin merkittäviä vaihteluita PFAS-pitoisuuksissa eri kaupunkien välillä. Niitä esiintyi huomattavia määriä alueilla, joissa oli tietyntyyppisiä rakennuksia. PFAS-yhdisteiden esiintyminen PVC-lattiapäällysteiden ja pintakäsittelyaineiden kaltaisissa rakennusmateriaaleissa (joskin vähäisessä määrin) korostaa tarvetta lisätutkimuksiin PFAS-yhdisteiden lähteiden ja kulkureittien selvittämiseksi ja tehokkaiden strategioiden kehittämiseksi niiden leviämisen estämiseksi.

TCPP – mahdollisesti hitaasti hajoava, kulkeutuva ja myrkyllinen aine (a potential PMT)

Palonestoaine TCPP:llä epäillään olevan vaarallisia ominaisuuksia. Sen tarkoituksena on tehdä materiaaleista vähemmän helposti syttyviä. TCPP:n kaltaisia palonestoaineita lisätään eristelevyjen kaltaisiin materiaaleihin, jotka on usein valmistettu öljypohjaisista tuotteista (synteettiset eristemateriaalit) ja jotka siksi muuten palaisivat nopeasti. Tällaisia materiaaleja käytetään yleisesti rakennuksissa, koska ne ovat energiataloudellisia, kevyitä, kustannustehokkaita ja helppoja työstää.

Useissa tutkimuksissa on saatu tuloksia, jotka viittaavat siihen, että TCPP:llä voi olla haitallisia vaikutuksia ja se voi olla riski ihmisille ja muille eliöille, erityisesti vesieliöille. Tämä johtuu TCPP:n laajamittaisesta käytöstä ja siitä, että sitä vapautuu ympäristöön. Koska TCPP:tä katsotaan esiintyvän kaikkialla ympäristössä, altistuminen voi tapahtua hengityksen, ihokosketuksen ja sattumanvaraisen nielemisen kautta. Ei-toivottuja vaikutuksia on monenlaisia mikro-organismien toksikologisista muutoksista ihmisten kaltaisten monimutkaisempien organismien erilaisiin genotoksikologisiin vaurioihin (Giannakopoulou ym. 2023). Monet tutkijat ovat kuitenkin samaa mieltä siitä, että TCPP:tä koskevia lisätutkimuksia tarvitaan tarkempien riskien arvioimiseksi ja määrittämiseksi. Näiden tutkimusten tulokset korostavat myös tarvetta ryhtyä valvomaan TCPP:n kulkeutumista ympäristöön (National Center for Biotechnology Information 2021). Tanskan ympäristöministeriö Miljøstyrelsen (2023) on jo todennut ainearvioinnin perusteella, että TCPP:lle on tarpeen laatia yhdenmukaistettu luokitus, koska sillä selvästikin on syöpää aiheuttavia vaikutuksia. Muita EU:n tasolla tarvittavia sääntelytoimia ovat muun muassa TCPP:n määrittäminen erityistä huolta aiheuttavaksi aineeksi ja sen käytön rajoittaminen.

Itävallan Umweltbundesamtin trifosfaatteja koskevan tietosivun mukaan TCEP:tä on korvattu enenevässä määrin TCPP:llä 1960-luvulta lähtien. Uskomme kyseisen korvaavan aineen olevan huono valinta, koska TCPP:n epäillään olevan ihmiselle syöpää aiheuttavaa, lisääntymiselle vaarallista, epämuodostumia aiheuttavaa ja alkioille myrkyllistä. TCPP:n käyttöä säännellään leluturvallisuusdirektiivillä (Euroopan komissio 2014), ja se on myös SIN-luettelossa erittäin hitaan hajoavuutensa ja nopean kulkeutumisensa vuoksi. ChemSecin SIN-luettelo eli Substitute It Now List käyttää REACH-asetuksen kriteerejä erityistä huolta aiheuttavien aineiden tunnistamiseen.

Tästä syystä odotimme löytävämme TCPP:tä uudemmissa rakennusmateriaaleista, jotka on palosuojattu, kuten synteettisistä eristelevyistä. Siirtymispotentiaalinsa (höyrynpaine noin 10^{-3} Pa ja vesiliukoisuus noin 1 g/l) ja nopean kulkeutumisensa vuoksi odotimme sitä esiintyvän myös hule- ja jätevedessä sekä sisäilman pölyssä. Koska TCPP:n epäillään olevan hitaasti hajoavaa, kulkeutuvaa ja myrkyllistä, odotimme sen olevan laajalle levinnyttä. Tästä syystä tutkimuksessa analysoitiin näytteitä eri paikoista ja eri matriiseista. Hypoteesit vahvistuivat, sillä TCPP:tä havaittiin eristysmateriaalissa (3,7 %, Tallinnasta ostettu materiaali), hulevesissä (Turku, Tukholma, Västerås ja Helsinki), jätevedessä (Tukholma) ja pölyssä (Västerås). Vertailuanalyyssissä käytettiin myös tietoja TCPP:tä sisältävistä rakennusmateriaalityypeistä, sillä BVB:n keräämät tiedot osoittivat, että TCPP:tä oli noin 50 tuotteessa 3–20 prosentin pitoisuuksina, enimmäkseen vaahtomuovi-/polyuretaanituotteissa, kuten vaahtomuovieristeissä, saumavaahdossa ja eristekalvon muodostavissa tiivisteissä (intumescent sealant).

TCPP hulevedessä

Analysoitujen hulevesinäytteiden TCPP-pitoisuudet esitetään taulukoissa, joissa näkyvät mitattujen pitoisuuksien maksimi- ja minimiarvot sekä havaitsemistiheydet. Eri havaitsemistiheysalueet on merkitty määrien havainnollistamiseksi.

0-24%	25-49%	50-74%	75-100%
-------	--------	--------	---------

Taulukko 17. Neljän kaupungin hulevesinäytteistä analysoitujen TCPP-pitoisuuksien havaitsemistiheys ja vaihteluväli. Hulevesinäytteiden määrittämisraja oli 0,1 µg/l lukuun ottamatta Västeråsissa otettuja näytteitä, joiden määrittämisraja oli yleensä < 0,02 µg/l, mutta yhden näytteen määrittämisraja oli < 0,028 µg/l.

OPE	General presence in stormwater	Turku	Helsinki	Västerås	Stockholm
TCPP					
Detected/analysed	13/35	6/11	2/5	0/7	5/12
% of detection	37%	55%	40%	0%	42%
Min - Max [µg/L]	<0.02-0.52	<0.1-0.52	<0.1-0.18	<0.02	<0.1-0.44

Tukholmasta, Västeråsista, Turusta ja Helsingistä kerättyjen hulevesinäytteiden organofosfaattianalyysit antavat arvokasta tietoa ympäristön saastumisesta eri kaupunkialueilla. Näytteissä havaittiin TCPP:tä, joskin suhteellisen pieninä pitoisuuksina (0,12–0,52 µg/l). Bollman ym:n (2019) havaitsemiin Itämeren ympäristöpitoisuuksiin (3–28 ng/l) verrattuna pitoisuustasot ovat huomattavasti korkeampia, mikä oli odotettavissa. Vertailun vuoksi TCPP:n arvioidut vaikutuksettomat pitoisuudet makeassa vedessä ovat noin 500 µg/l (REACH-asetus). Kaiken kaikkiaan TCPP:tä havaittiin 37 prosentissa analysoiduista hulevesinäytteistä, ks. taulukko 17. Turusta kerätyistä hulevesinäytteistä TCPP:tä havaittiin 55 prosentissa analysoiduista näytteistä kaikilla tutkituilla alueilla. Helsingistä TCPP:tä löydettiin yhdeltä ja Tukholmasta neljältä eri alueelta, ja havaitsemistiheys oli noin 40 prosenttia molemmissa kaupungeissa.

TCPP jätevedessä

Asuinalueiden jätevedet sisälsivät 5,5 µg/l TCPP:tä, ja jätevedenkäsittelylaitoksen tulovesi 3,6 µg/l ja poistovesi 1,5 µg/l (vain yksi näyte), mikä osoittaa, että asuinalueet ovat merkittävä jätevedenkäsittelylaitosten TCPP:n lähde. TCPP oli yleisin jätevedestä analysoiduista organofosfaateista.

TCPP esikoulujen pölyssä

Tässä tutkimuksessa organofosfaatteja analysoitiin kahdeksasta Västeråsissa sijaitsevasta esikoulusta otetuista pölynäytteistä, ja mediaaniarvo oli 0,665 µg/g. Tuloksia kannattaa vertailla aiempiin Tukholmassa tehtyihin tutkimuksiin. Vuonna 2015 tehdyssä tutkimuksessa (Larsson ja Berglund 2015) TCPP:tä etsittiin mutta ei havaittu. Sen sijaan vuonna 2020 tehdyssä tutkimuksessa havaitut pitoisuudet olivat 0,9–5,4 µg/g pölyssä ja alle määritysrajan 30 ng/m³ ilmassa (Langer ym. 2020).

TCPP eri näytetyypeissä (vertailu muihin ja aiempiin tuloksiin)

Hulevesissä, rakennusmateriaaleissa ja pölyssä havaitut TCPP-pitoisuudet herättivät kysymyksen, oliko käytettävissä mitään vertailtavia tietoja aiemmista tutkimuksista (muun muassa Tukholman kaupungin NHC1-hankkeen aikana tekemistä tutkimuksista). Taulukossa 18 verrataan tämän tutkimuksen (2023, kaikki kolme) tuloksia aiempiin Tukholmassa tehtyihin tutkimuksiin (2015 ja 2020) ja Itämeren alueen ulkopuoliseen tutkimukseen (Bollmann ym. 2019).

Taulukko 18. TCPP eri matriiseissa "n" tarkoittaa näytteiden lukumäärää, joista TCPP-pitoisuudet määritettiin, ja "t" tarkoittaa näytteiden lukumäärää (kokonaismäärää), joista TCPP analysoitiin.

Median Year ^{ref}	Air (n/t) ng/m ³	Dust (n/t) µg/g	WWRA (n/t) µg/l	WWTP IN (n/t) µg/l	WWTP EF (n/t) µg/l	Storm water (n/t) µg/l	Surface water (n/t) µg/l
2015 ¹		<LOQ (0/100)					
2020 ²	18.0 (15/18)	1.45 (20/20)					
2023 ³		0.665 (8/8)					
2023 ⁴			5.5 (3/3)	3.0 (4/4)	1.0 (2/2)		
2023 ⁵						0.05 (13/35) ⁶	
2019 ⁷							0.028 (1/1)

Viitteet: ¹Larsson ja Berglund 2016. ²Langer ym. 2020. ³Liite 4 (Västerås). ⁴Liite 5C (jätevesi, SVOA Stockholm). ⁵Kaikkien tämän tutkimuksen hulevesinäytteiden mediaaniarvon laskeminen, liitteet 1, 2, 4 ja 5B. ⁶13 näytteen TCPP-pitoisuudet määritettiin (keskiarvo/minimi-arvo/maksimi-arvo 0,24/0,12/0,52 µg/l). ⁷22 näytteen TCPP-pitoisuus oli alle määritysrajan⁷ Bollmann ym. 2019.

Edellä mainittujen tulosten lisäksi tutkittiin TCPP:n käyttöä materiaaleissa (lelut, PVC-lattiapäällysteet jne.). Tulokset on esitetty taulukossa 19. TCPP-pitoisuudet vaihtelivat määritysrajan alapuolelta 160 µg/g:aan.

Taulukko 19. TCPP materiaaleissa. Materiaalinäytteet otettiin ja analysoitiin Tukholman kaupungin ja IVL:n aiemmassa hankkeessa (Langer ym. 2020) Tallinnan PU-eristettä lukuun ottamatta. PU-eristettä lukuun ottamatta kaikki muut pitoisuudet osoittavat, että TCCP:tä ei ole käytetty näissä materiaaleissa toiminnallisena lisäaineena.

TCPP in material	µg/g
Preschools in Stockholm ¹	
Linoleum	<LOQ
old plastic floor (kork-o-plast)	<LOQ
PVC floor (old)	<LOQ
carpet	<LOQ
PVC cover (old)	160

Foam rubber (old)	53
PVC cover (old)	1.8
Foam rubber (old)	4.1
Flooring (new PVC) H2	14
Heavy duty tape	0.19
Insulation (Armaflex?)	1.7
Projector screen	0.86
Toy (soft dino)	0.068
Phthalate-free vinyl glove	<LOQ
anti slip material	4.3
resting madress	<LOQ
PVC flooring	<LOQ
TCPP in construction material, purchased in Tallinn ²	
Polyurethane Insulation for external use	37 000

Viitteet: ¹ Langer ym. 2020. ² Liite 3. Tallinna / BEF Estonia.

Onko TCPP:n lähteiden jäljittäminen tarpeen?

Aiemmin mainitut tutkimukset ovat osoittaneet, että TCPP:tä ei yleisesti käytetty kulutustavaroissa/materiaaleissa viime vuosisadalla. Verrattaessa näitä aiempia TCPP:tä koskevia tuloksia tässä tutkimuksessa havaittuihin arvoihin (ulkokäyttöön tarkoitettu eristyslevy, jonka TCPP-pitoisuudeksi määritettiin 3,7 %) voidaan todeta, että materiaalien kemiallinen koostumus on muuttunut. Analysoitujen rakennusmateriaalien kirjo ei kuitenkaan ole suuri. Näytteitä pitää ottaa lisää, jotta saadaan lisätietoa siitä, mistä TCPP-altistus on peräisin. Suoraan sanottuna mahdollisten lähteiden monimuotoisuudesta ei ole tietoa.

TCPP:n epäillään olevan hitaasti hajoavaa (Arp ja Hale 2019) sekä kulkeutuvaa ja fysikaaliskemiallisilta ominaisuuksiltaan sellaista, että se pystyy siirtymään matriisien kautta viereisiin materiaaleihin ja tiloihin. Lisää tutkimusta TCPP:n lähteistä kuitenkin tarvitaan. Tiedot osoittavat, että sisätiloissa käytettävät materiaalit eivät ehkä ole TCPP:n pääasiallinen lähde, sillä havaitut arvot ovat pieniä mutta laajalle levinneitä. Sisäilmaan näyttää kuitenkin pääsevän vähäisiä mutta jatkuvia päästöjä, sillä sekä ilmassa että pölyssä on TCPP:tä. On epätodennäköistä, että sisätiloissa olevat materiaalit aiheuttaisivat ulkoympäristön saastumista. Varsinkaan sisätiloissa käytettävät eristysvaahdot eivät näytä olevan pääasiallinen lähde. Epäillään kuitenkin, että pääasiallisia aiheuttajia ovat ulkoiset lähteet, joihin mahdollisesti liittyy kosketus veden kanssa. Tämän hypoteesin vahvistamiseksi tarvitaan lisäanalyysijä.

BVB:n käyttäminen tietolähteenä on tärkeää lähteiden jäljittämisen kannalta, sillä BVB:ltä saatiin kerättyä TCPP:tä koskevia tietoja. Sitä havaittiin noin 50 tuotteessa, joissa sen pitoisuus on 3–20 prosenttia. Suurin osa tuotteista on vaahto-/polyuretaanituotteita, kuten vaahtomuovieristeitä, saumavaahtoja ja eristekalvon muodostavia tiivisteitä.

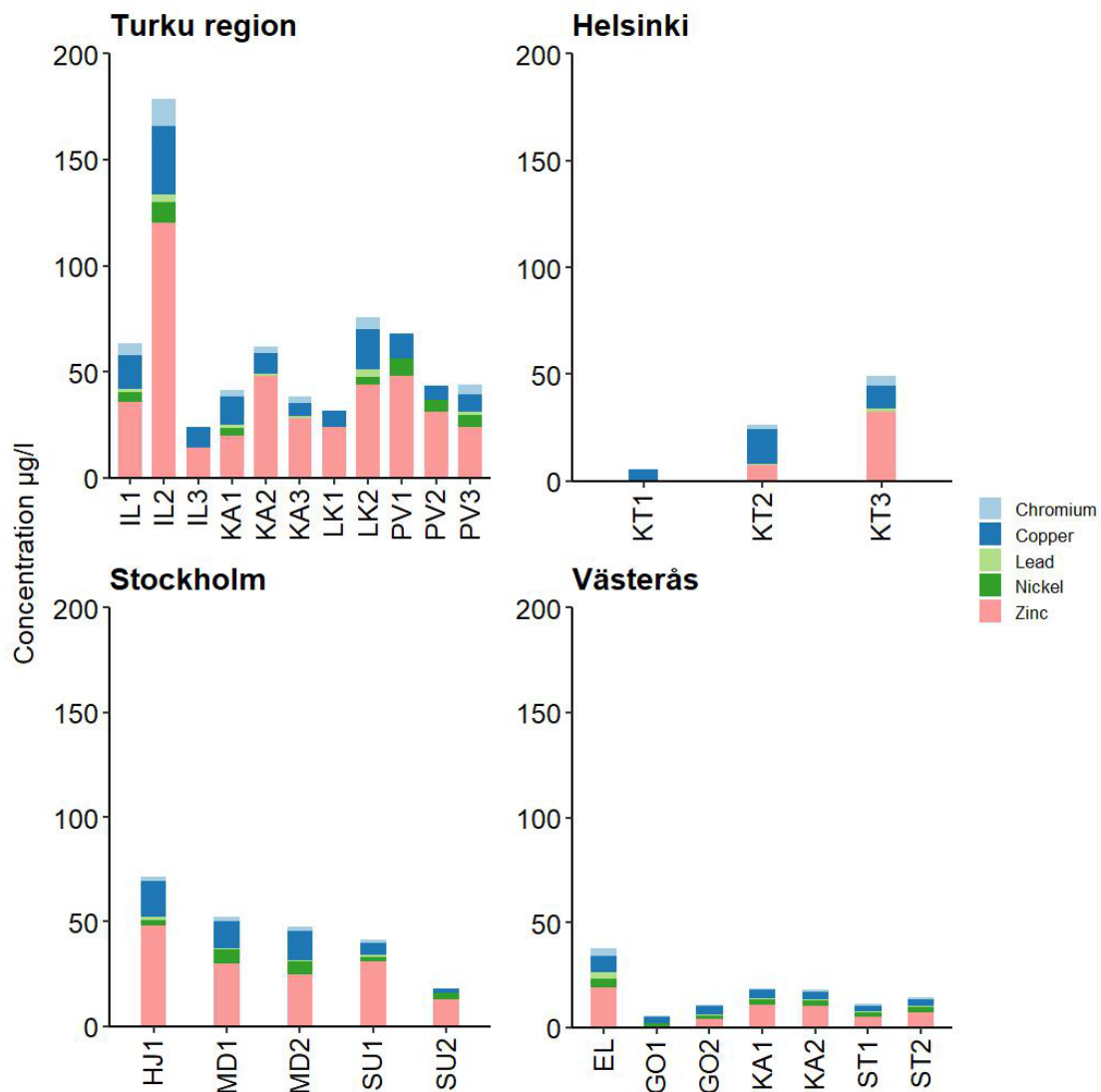
Johtopäätökset TCPP:tä koskevista havainnoista

Tutkimus vahvisti, että TCPP:tä esiintyy eri näytetyypeissä, kuten hule- ja jätevedessä sekä sisätilojen pölyssä useilla kaupunkialueilla, mikä viittaa laajaan saastumiseen. TCPP:tä, jota käytetään yleisesti palonestoaineena PU-eristysvaahdon kaltaisissa rakennusmateriaaleissa, havaittiin hulevesinäytteissä, mikä viittaa mahdollisiin lähteisiin kaupunkialueilla. Tällainen laajalle levinnyt saastuminen on tyypillistä laajalti käytetylle toiminnalliselle lisäaineelle, jonka höyrynpaine on melko suuri ja joka on vesiliukoista ja heikosti biohajoavaa. Sääntelyyn liittyvää huolta lisäävät aineen syöpää aiheuttavat ominaisuudet. Palonestoaineiden käytön seuranta ja hallinta erityisesti rakennusmateriaaleissa on ratkaisevan tärkeää saastumisen sekä kaupunkiympäristön ja vesistöjen organofosfaattipäästöjen estämisessä. TCPP:n päästölähteiden ja kulkureittien tunnistaminen voi auttaa kohdennettujen estämisstrategioiden laatimisessa. Tarvitaan lisätutkimuksia, jotta TCPP:n lähteitä voidaan ymmärtää ja käsitellä kattavasti.

Metallit

Metallit hulevesissä neljässä kaupungissa

Turun, Helsingin, Tukholman ja Västeråsın hulevesistä analysoitiin metalleja. Nikkeli-, kupari-, sinkki- ja lyijypitoisuudet on esitetty kuvassa 19. Eräs merkityksellinen tulos on lähes kaikkia muita näytteenottoaikoja hieman korkeampi metallipitoisuus yhdellä alueella Turussa. Tukholman kohdalla on vertailtu myös hule-, pohja- ja jätevesinäytteitä.

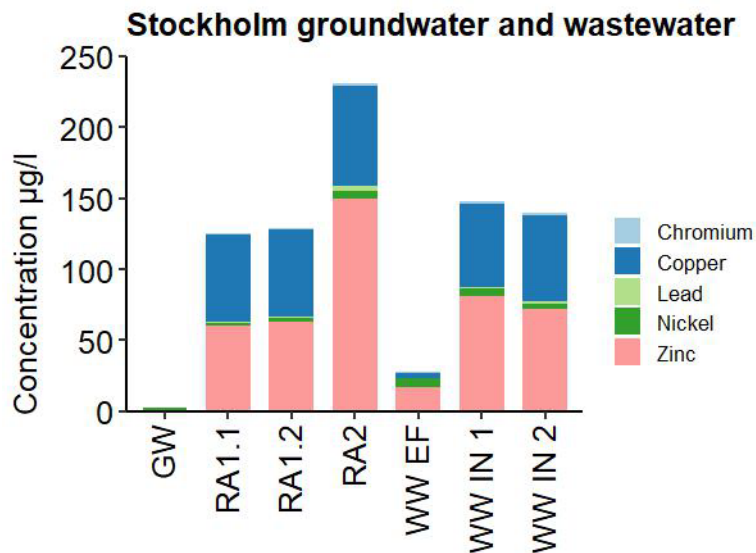


Kuva 19. Metallit hulevesissä Turussa, Helsingissä, Tukholmassa ja Västeråsissa. x-akselille on merkitty eri näytteenottoaikoja, jotka selitetään tarkemmin liitteissä 1, 2, 4 ja 5A.

Metallit pohja- ja jätevedessä

Tukholman pohja- ja jätevesinäytteitä voitiin vertailla, koska saatavilla oli ympäristönsurantaohjelman tietoja. Kuvasta 20 käy selvästi ilmi, että asuinalueiden jätevesissä on

metalleja ja myös, että nämä metallit poistetaan tehokkaasti jätevedenkäsittelylaitoksessa. Lisäksi pohjaveden metallipitoisuudet ovat erittäin pieniä.



Kuva 20. Metallit pohja- ja jätevedessä Tukholmassa. GW = pohjavesi, RA = asuinalueiden jätevesi, WW = jätevesi (jätevedenkäsittelylaitos), EF = poistuva jätevesi, IN = saapuva jätevesi.

Muut tulokset

Tässä osiossa esitellään lyhyesti useita tärkeitä tuloksia. Lisätietoja kustakin kumppanista (kaupungista), aineesta tai matriisista on liitteissä.

Klooratut parafiinit

Klooratut parafiinit pölyssä ja rakennusmateriaalissa

Kloorattuja parafiineja mitattiin sekä Västeråsissa että Tukholmassa sijaitsevien esikoulujen sisätilojen pölystä (ks. taulukot 20 ja 21). Tutkimuksessa analysoitiin lyhytketjuisia kloorattuja parafiineja (SCCP), keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja (MCCP) ja pitkäketjuisia kloorattuja parafiineja (LCCP). Muihin sisätilojen pölyssä esiintyviin haitta-aineisiin verrattuna (ks. pölyä koskeva osio) näiden vaarallisten aineiden pitoisuudet ja jakautuminen viittaavat siihen, että kloorattujen parafiinien lähde on sisätiloissa. Kloorattuja parafiineja ei kuitenkaan havaittu yhdessäkään analysoiduista rakennusmateriaaleista.

Aiemmassa Tukholmassa tehdyssä tutkimuksessa analysoitiin kloorattuja parafiineja, ja tulokset osoittivat, että niiden pitoisuudet olivat 5–7 kertaa suurempia kuin NHC3:n seulontatoimissa havaitut pitoisuudet. Eräässä toisessa tutkimuksessa, jossa keskityttiin kaupungin kemikaalivaatimusten seurantaan, tietyn rakennusmateriaalituotteen (musta kondensaatioeriste) todettiin sisältävän 9,1–12 painoprosenttia keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja ja 0,011–0,021 painoprosenttia lyhytketjuisia kloorattuja parafiineja (Bohman 2021). Kyseinen materiaali on yleinen tiukkojen energiastandardien mukaisissa rakennuksissa, koska sen eristysominaisuudet ovat hyvät ja se vähentää veden tiivistymistä kylmille pinnoille. Lisäksi tietyn polyuretaanivaahdon todettiin sisältävän 0,77 painoprosenttia keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja (Bohman 2021). Useita kyseisellä eristysmateriaalilla peitettyjä putkia sisältävästä pienestä huoneesta otettu pöly sisälsi 30 kertaa enemmän keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja kuin kolmen viereisen huoneen keskiarvo (taulukko 22).

Taulukko 20. Klooratut parafiinit sisätilojen pölyssä Tukholman esikouluissa, tämä tutkimus (liite 5A).

Substance (µg/g)	Mean	Median	Minimum	Maximum
ΣSCCPs (C10-C13)	8.20	3.34	1.23	32.40
ΣMCCPs (C14-C17)	37.50	23.10	8.45	108.40
ΣLCCPs (C18-C21)	11.39	7.67	4.44	23.40

Taulukko 21. Klooratut parafiinit sisätilojen pölyssä Västeråsin esikouluissa, tämä tutkimus (liite 4)

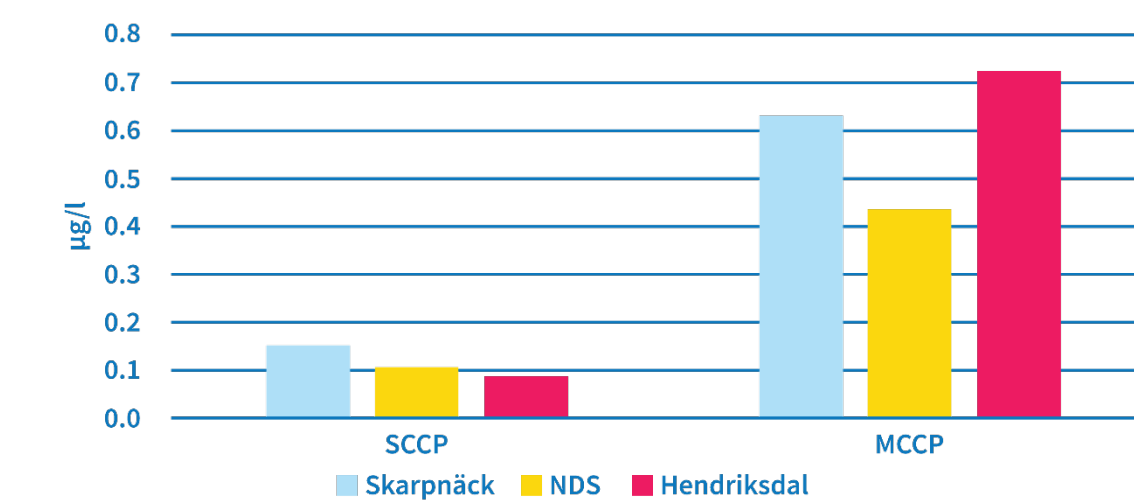
Substance (µg/g)	Mean	Median	Minimum	Maximum
ΣSCCPs (C10-C13)	28,41	33,20	1,45	47,80
ΣMCCPs (C14-C17)	54,87	49,05	7,48	118,00
ΣLCCPs (C18-C21)	12,93	8,82	4,52	23,40

Taulukko 22. Esikoulujen pöly. Aiemmat tulokset Tukholmasta, Langer ym. 2020 (kolme leikkihuonetta) ja julkaisemattomat tulokset (pieni huone).

Substance (µg/g)	Mean value (3 playing room)	Small room ³
ΣSCCPs (C10-C13)	3,00	5,00
ΣMCCPs (C14-C17)	5,00	150,00

Klooratut parafiinit jätevedessä

Jätevedestä analysoitiin lyhytketjuisia kloorattuja parafiineja (SCCP) ja keskipitkäketjuisia kloorattuja parafiineja (MCCP). Tulokset osoittavat samankaltaisia lyhytketjuisten kloorattujen parafiinien pitoisuuksia talousjätevesissä sekä Skarpnäckin että NDS:n asuinalueilla (kuva 21). Kun NHC3-hankkeen seulontatuloksia verrataan aiempiin tutkimuksiin vuosilta 2018 ja 2014 (ei esitetty) havaitaan, että arvot ovat laskeneet tasaisesti. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että aineiden käyttö kiellettiin pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan asetuksen nojalla vuonna 2017.



Kuva 21. Klooratut parafiinit jätevedessä. Skarpnäckin ja NDS:n jätevedet ovat asuinalueiden talousjätevesiä, ja Hendriksdalin jätevesi on jätevedenpuhdistamoon tulevaa vettä.

³ Huone, jossa oli useita mustalla kondensaatioeristeellä päällystettyjä putkia

Suora vuoto viemäriin valuviin vesiin

– tunnelirakentamisessa käytettäviä levyjä koskeva tutkimus

Tutkimuksessa tutkittiin PVC-levyjen käytön turvallisuutta tunneleiden rakentamisessa keskittyen Protan AB:n toimittamiin Protan 554 -levyihin. Tulokset osoittivat, että vaikka PVC-levyissä oli ftalaatteja, kuten DiNP:tä ja DiDP:tä, niitä huuhtoutui veteen vain hyvin pieniä määriä, varsinkin alhaisemmissa lämpötiloissa, eikä mitään PFAS-yhdisteitä havaittu. Vaikka joitakin vaarallisia kemikaaleja havaittiin, niiden vähäinen huuhtoutuminen viittaa siihen, että niiden ympäristö- ja terveysvaikutukset ovat vähäisiä, mutta jatkuvaa seuranta suositellaan, koska materiaalia on käytetty laajasti useiden kilometrien pituisissa tunnelissa. Katso liite 5E.

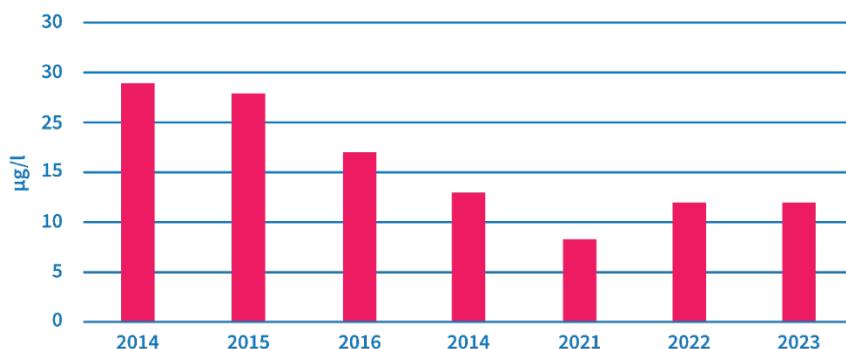
Lattian kunnostaminen alentaa pitoisuutta pölyssä

Tutkimuksessa tutkittiin eräässä koulussa olevia mahdollisesti haitallisia aineita keskittyen pölyyn ja materiaaleihin. Tarkoituksena oli arvioida lattioiden käsittelyn vaikutusta sisäympäristöön. Ennen ja jälkeen lattiakäsittelyjen tehdyt mittaukset osoittivat useimpien analysoitujen aineiden pitoisuuksien pienentyneen, mikä viittaa siihen, että kyseiset käsittelyt voivat auttaa Tukholman kaupungin tekemään kouluympäristöstä myrkyttömämmän. Lattioiden käsittelyyn liittyvät pitkän aikavälin riskit ovat kuitenkin edelleen epävarmoja, mikä korostaa jatkuvan tutkimuksen ja jatkuvan ympäristömyrkyjen seurannan tarvetta erityisesti lasten kemikaaliturvallisuuden varmistamiseksi. Katso liite 5F.

Jäteveden haitta-ainetrendit

(asuinalueiden jätevesi ja jätevedenkäsittelylaitoksiin saapuva jätevesi)

Joidenkin tietojen perusteella on mahdollista tehdä johtopäätöksiä vaarallisten aineiden sääntelyn suuntauksista ja vaikutuksista. Yksi esimerkki on jäteveden DEHP-pitoisuus, joka laski tasaisesti vuodesta 2014 vuoteen 2023 (kuva 22). DEHP:n lopetuspäivä eli päivä, jonka jälkeen sen käyttö ilman erillistä lupaa on yleisesti kielletty, oli 21.2.2015.



Kuva 22. DEHP-pitoisuus Tukholman Skarpnäckin asuinalueen jätevesissä 2014–2023.

Haitallisten aineiden välttäminen rakentamisessa ja rakennustyömailla

Tässä luvussa viitataan osittain NonHazCity 3 -hankkeen Rakennusmateriaalihakemiston lukuun 9 (NHC3 2023). Sisältö on yhdistelmä Tukholman kaupungin hallintoelimiltä ja kunnallisilta yrityksiltä / kiinteistöjen omistajilta / rakennuttajilta (SISAB, Familjebostäder AB, Svenska Bostäder AB, Stockholmskem AB, kaupunkikehitys ja kiinteistötoimi) peräisin olevia ympäristöhallintarutiineja ja rakennusprosessivaatimuksia.

Kunnallisen yksikön rakennusmateriaalien ja rakennustyömaiden vaarallisia aineita koskevien menettelyjen hallinnointiratkaisut

Rakentamisessa käytettävien haitallisten kemikaalien valvominen ja rajoittaminen on mahdollista vain, jos sallitut kemikaalit määritetään jo hankintavaiheessa. Tämä on mahdollista käyttämällä arviointityökalua (joka perustuu kemiallisiin kriteereihin ja digitaaliseen lokikirjaan), esimerkiksi Byggsvarubedomningenin (BVB) työkalua. Hankintaprosessissa pitää määrittää digitaalista lokikirjaa koskevat vaatimukset, jotta käytetyt materiaalit ja niiden kemialliset koostumukset dokumentoidaan. Lokikirja helpottaa haitallisten materiaalien, tuotteiden ja aineiden korvaamista muilla aineilla. Lisäksi siitä saadaan tarvittavaa tärkeää tietoa, jos vaarallisten kemikaalien määritelmä tulevaisuudessa muuttuu.

Jotta vaarattomien rakennusmateriaalien valintaprosessiin vaikuttamista ymmärrettäisiin paremmin, on tärkeää ymmärtää rakennusprosessia, jonka aikana materiaalit valitaan ja ostetaan. Tietoisuus ja hallinta koko rakennusprosessin ajan on tärkeää. Toiminta onnistuu, jos hankkeessa työskentelee siihen sitoutuneita ihmisiä. Rakennushankkeessa onkin erilaisia tärkeitä vastuualueita, joille on määritettävä vastuuhenkilöt:

Rakennushankkeen projektipäällikkö, joka on vastuussa tietojen toimittamisesta BVB-päällikölle. Lisäksi rakennushankkeen projektipäällikön pitää varmistaa, että suunnittelijat ja urakoitsijat hoitavat BVB:hen liittyvät tehtävänsä.

Suunnittelija, joka vastaa siitä, että valitut tuotteet ja tavarat täyttävät vaatimukset ja kirjataan BVB:n lokikirjaan yksityiskohtaisen suunnittelun aikana.

Urakoitsija, joka vastaa siitä, että kaikki rakennuksessa käytettävät tavarat, kemikaaleja sisältävät tuotteet ja kulutustavarat täyttävät vaatimukset ja kirjataan BVB:n lokikirjaan.

BVB-päällikkö, joka hallinnoi työtä BVB:ssä ja käsittelee poikkeamat. Tähän kuuluu lokikirjojen laatiminen, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kutsuminen lokikirjojen käyttäjiksi sekä koulutus ja osallistuminen rakentamiskokouksiin tarpeen mukaan.

Ympäristöyksikön päällikkö (asiakkaan puolella), joka hyväksyy tai hylkää suunnittelun ja tuotannon poikkeamat ja hallinnoi kaikkia BVB:n lokikirjoja.

Suunnittelu ja ohjelmien luonti

Rakennuttajan tulee jo varhaisessa vaiheessa päättää tavoitetasoista ja varmennustyökaluista, jotta voidaan varmistaa, että rakennusprosessissa käytetään materiaaleja, jotka eivät sisällä mitään haitallisia aineita. Tässä vaiheessa pitää tehdä tavoitetasoja ja varmentamista, dokumentointivälineitä (lokirja) ja kemikaalipitoisuuden varmentamista sekä suositeltavia tuoteryhmiä koskevat päätökset. Nämä vaatimukset pitää sisällyttää urakoitsijoille ja suunnittelijoille toimitettaviin hankintaa koskeviin teknisiin kriteereihin.

Suunnittelu (arkkitehtisuunnittelu ja tekninen suunnittelu)

Rakennuttajan ja suunnittelijan välisessä sopimuksessa tulee mainita, että suunnittelija sitoutuu noudattamaan rakennuttajan asettamia rakennusmateriaalien sisältämiä kemiallisia aineita koskevia vaatimuksia ja tavoitteita. Suunnitteluvaiheessa voidaan valita rakennuksen rakenne ja toiminnot, mutta lisäksi on tärkeää varmistaa, että valitut rakennusmateriaalit täyttävät vaarattomuusvaatimukset.

Suunnitteluvaiheessa BVB-päällikkö luo BVB:n lokikirjan ja kutsuu tarvittavat toimijat sen käyttäjiksi, avustaa koulutuksessa, luo lisenssit ja jakaa työt. BVB-päällikkö on käytettävissä kaikissa materiaalivalintoihin liittyvissä kysymyksissä myös yksityiskohtaisen suunnittelun aikana. Rakennushankkeen projektipäällikkö ilmoittaa BVB-päällikölle rekisteröitävien tuotteiden määrät. BVB-päällikkö tarkastaa BVB:n lokikirjan ennen rakentamisen aloittamista.

Rakentaminen

Rakentamisen aikana urakoitsijan hankintaorganisaatiolla on tärkeä rooli vähemmän haitallisten rakennusmateriaalien valinnassa ja rakennuttajan kanssa tehdyn sopimuksen mukaisten vaatimusten noudattamisessa. Lopuksi BVB-päällikkö tarkistaa lokikirjan lopputarkastuksen yhteydessä ja raportoi tarkastuksesta rakennushankkeen projektipäällikölle.

Hallinnointi

Haitallisiin aineisiin keskittyvä kiinteistönhallinta ei ole kovin yleistä. Kemikaalien ottaminen huomioon hallintaprosessissa voi olla tärkeää, koska käyttövaiheessa saatetaan käyttää paljon tuotteita kunnossapito- ja huoltotöissä. Kunnissa kunnossapidon suorittavat usein alihankkijat.

Taulukko 23. Esimerkkejä huomioon otettavista asioista.

Nr.	Aspects to consider	Yes/No
1.	Are responsibilities defined at municipality on who will follow implementation of toxfree, circular and climate neutral aspects during the construction/refurbishment/extension project?	
2.	Is organisation of a market consultations with design/architectural companies considered prior to elaboration of procurement documentation and launching a procurement procedure?	
3.	Is application of innovation-friendly procurement procedure e.g. design contest considered?	
4.	Is collaboration procedure between the architect/designer and municipality specialists established to ensure elaboration of a building design meeting the targets for tox free, circular, climate neutral construction?	
5.	Is an (electronic, online) logbook created to identify potential materials to be used for construction/extension/refurbishment of a building?	
6.	Are options for application of materials containing reduced amount or no hazardous substances considered at the design stage?	
7.	Are options for using locally produced (e.g., wood, clay) and/or eco certified materials considered in the design of the building?	
8.	Are options to use reusable, recyclable materials and easy to repair solutions considered in the design?	
9.	Are options for application of materials having low embodied energy considered?	
10.	Is the new design so flexible , that it can serve for other needs than the original planned, to save reconstruction in case of the change of the need?	
11.	Are options for increasing energy performance of the building considered avoiding "hot spots" e.g., thermal bridges at the design stage?	
12.	Are options for use of renewable energy sources considered at the design stage?	

Tuotteiden ja tavaroiden arviointi (BVB)

Urakoitsijan kanssa tehtävässä sopimuksessa on tärkeä todeta, että on tarkoitus käyttää valittuja kemikaaleja sisältäviä tuotteita ja rakennustuotteita, jotka on rekisteröity BVB:n järjestelmän hankekohtaiseen lokikirjaan. Suunnittelijoilla ja urakoitsijoilla pitää olla tarvittavat taidot ja rutinit sen varmistamiseksi, että tuotteet, kemikaalit ja materiaalit arvioidaan ja että arvioinnin tulokset ovat BVB:n yleisesti hyväksymällä tasolla. Kaikki kemikaaleja sisältävät tuotteet ja tavarat, jotka eivät täytä kunnan asettamia vaatimuksia, käsitellään poikkeamina jäljempänä kuvatulla tavalla.

Materiaalivaatimukset

BVB:n suorittama rakennustuotteiden arviointi

Osapuoli, joka määrittelee tuotteen tai aikoo käyttää sitä, on velvollinen varmistamaan, että se arvioidaan BVB:n kriteerien mukaisesti ja on seuraavien arviointitasojen mukainen:

- Tuotteet, jotka ovat saaneet yleisarvosanan suositeltava tai hyväksytty, on hyväksytty käytettäväksi. Korkeamman arvosanan (suositeltava) saaneet tuotteet täytyy asettaa etusijalle ennen hyväksyty-arvosanan saaneita tuotteita.
- Tuotteita, joille on annettu arvosana vältettävä, saa käyttää vain asiakkaan ennen käyttöä antaman erillisen hyväksynnän jälkeen. Tämän arvosanan saaneita tuotteita pitää käsitellä poikkeamina (katso poikkeamanhallintaa koskeva osio jäljempänä).

Jotta varmistetaan, että tuotteet ja tavarat ovat vaatimusten mukaisia, ne pitää varmentaa BVB:n kriteerien mukaisesti suunnitteluvaiheessa sekä ennen ostamista ja käyttöä. BVB:n kriteerit päivitetään säännöllisesti. Tämä tarkoittaa, että vaikka tuote olisi aiemmin täyttänyt arviointitason vaatimuksen, arviointi saattaa myöhemmin muuttua. Siksi tuotteen nykyinen arviointi pitää aina varmistaa ennen käyttöä.

Palkattu konsultti, suunnittelija tai urakoitsija on vastuussa tuotteiden dokumentoinnista BVB:n verkkoportaalini kautta ennen ostamista ja käyttöä. Asiakas korvaa BVB:n todennetut yhden käyttäjän lisenssikustannukset jokaiselle hankkeeseen osallistuvalla konsulttiyritykselle tai urakoitsijalle. Ennen lopullista raportointia konsultin tai urakoitsijan pitää ilmoittaa asiakkaalle, kun kaikkien mukana olevien tuotteiden rekisteröinti on saatu päätökseen.

Arvioimattomien tuotteiden ja tavaroiden käsittely

Ensisijaisesti täytyy käyttää BVB:n arvioimia tuotteita ja tavaroita. Jos BVB ei ole arvioinut haluttua tuotetta, konsultin tai urakoitsijan pitää etsiä vaihtoehtoisia tuotteita. Tuotteen kokonaisarvosanan tulee olla ”suositeltava” tai ”hyväksytty”. Jos mitään tyydyttävää vaihtoehtoa ei ole saatavilla, konsultin tai urakoitsijan pitää ottaa yhteyttä alkuperäisen tuotteen toimittajaan ja pyytää tuotteen arviointia. Tavarantoimittaja vastaa arvioinnista aiheutuvista kustannuksista.

Seuraavassa esitetään prioriteettijärjestys tilanteessa, jossa BVB ei ole arvioinut tuotetta.

1. Konsultti tai urakoitsija ottaa yhteyttä halutun tuotteen toimittajaan ja pyytää tätä toimittamaan tuotteen BVB:n arvioitavaksi.
2. Tuotteen arvioinnin aikana konsultti tai urakoitsija voi syöttää tuotteen BVB:n järjestelmään käyttämällä paikkamerkkiä "oma tuote".
3. Konsultti tai urakoitsija pyytää tavarantoimittajaa ilmoittamaan BVB:n tunnistenumeron (BVB ID), kun BVB on arvioinut tuotteen.
4. Kun tuote on arvioitu, lokikirjan "oma tuote" -paikkamerkki pitää korvata arvioidulla tuotteella (BVB:n tunnistenumero vaaditaan).

Tuotetta ei saa käyttää ennen kuin kaikki edellä mainitut vaiheet on suoritettu ja tuote ja sen arviointi on julkaistu BVB:n järjestelmässä.

Jos tavarantoimittaja ei pysty toimittamaan tuotetta arvioitavaksi eikä mitään muita asetettuja vaatimuksia täyttäviä vaihtoehtoisia tuotteita ole käytettävissä, tuote pitää rekisteröidä BVB:n järjestelmään "omana tuotteena" ja käsitellä poikkeamana. Poikkeaman käsittely voidaan aloittaa vasta, kun konsultti tai urakoitsija on vahvistanut, että tavarantoimittajaan on otettu yhteyttä.

Poikkeamien hallinta

Kaikki tuotteet, materiaalit ja tavarat pitää kirjata ennen käyttöä tai asentamista. Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden pitää dokumentoida ja perustella poikkeamat materiaalivaatimuksista BVB:n poikkeamaraportin avulla. Poikkeamien hallinnasta vastaa urakoitsijan BVB-päällikkö.

Poikkeamat pitää raportoida asiakkaalle. Ennen kuin poikkeavaa tuotetta voi käyttää työmaalla, hankkeesta vastaavan henkilön pitää päättää, käytetäänkö sitä vai ei. Tuotteiden, jotka ovat saaneet arvosanan "vältettävä" tai joita ei ole ollenkaan arvioitu ("omat tuotteet"), määrä ja sijaintipaikka pitää ilmoittaa poikkeamina BVB:n järjestelmässä. Jos poikkeaman käsittelytapaa ei noudateta eli oikeita toimia ei voida suorittaa, voidaan antaa tarkastushuomautus.

Kun BVB rekisteröi poikkeaman, pitää toimittaa tieto siitä, miten vaihtoehtoista tuotetta yritettiin löytää ja yhteenveto tavarantoimittajan kanssa käydyistä keskusteluista.

Jos tuotteelle on annettu arvosanaksi "vältettävä" puuttuvien asiakirjojen vuoksi, tuotetta ehdottaneen henkilön pitää ottaa yhteyttä tavarantoimittajaan ja pyytää tätä päivittämään dokumentaatio, jotta tuote voidaan arvioida uudelleen.

Seuraavia poikkeuksia ei voida hyväksyä:

- Tuotteet, joilta puuttuu täydellinen tai oikea arviointidokumentaatio
- Tuotteet, jotka kirjataan lokikirjaan sen jälkeen, kun ne on asennettu tai niitä on käytetty

Seurantaprosessit

Hankinta-asiakirjoissa asetettujen vaatimusten mukaan voidaan käyttää erilaisia seurantaprosesseja. Jäljempänä on joitakin esimerkkejä.

- Seurantakokoukset urakoitsijan ja/tai tavarantoimittajan kanssa
- Laadun mittaaminen indikaattoreiden tai tunnuslukujen avulla
- Laskujen satunnaisvarmistus
- Toimittajille, asiakkaille tai kolmansille osapuolille (esimerkiksi rakennuksen käyttäjille) tehtävä kysely
- Tavarantoimittajien itseraportoinnin seuranta
- Ympäristö- ja laadunhallintajärjestelmien seuranta
- Ennalta ilmoitetut tai ilmoittamattomat tavarantoimittajan tilojen tarkastukset
- Tavarantoimittajan suunnitellut tai satunnaistetut auditoinnit

Yhteenveto ja johtopäätökset

Tulokset osoittavat sekä edistystä että haasteita rakennusalan lähestymistavassa kemikaalien hallintaan ja kestäväan kehitykseen. Erilaisten kemikaalien laaja käyttö eri materiaaliryhmissä korostaa rakennusmateriaalien monimutkaista koostumusta ja niiden käyttöön liittyviä mahdollisia riskejä.

Rakennusmateriaalianalyysi paljasti merkittäviä tietoja eri kemikaalien ja aineiden esiintymisestä sekä tiettyjen vaarallisten yhdisteiden puuttumisesta. Analyysin tärkeimmät tulokset on kuvattu alla.

Ulkomaaleissa havaittiin suuria jodipropyynylibutylikarbamaatin ja diuronin kaltaisten biosidien pitoisuuksia erityisesti Tukholmasta kerätyissä näytteissä. Myös merkittävät titaania, alumiinin ja kromin kaltaisten metallien pitoisuudet voivat aiheuttaa ympäristö- ja terveysriskejä.

Lattiapäällystemateriaaleissa havaittiin monenlaisia muovinpehmentimiä. Niiden pitoisuudet eri Tukholmasta, Västeråsista ja Tallinnasta kerätyissä näytteissä vaihtelivat. DEHP:n, DiNP:n ja muiden muovinpehmentimien havaitseminen herättää huolta niiden vaikutuksesta sisäilman laatuun ja ihmisten terveyteen. PFAS-yhdisteet ovat merkittävä ongelma, koska niitä esiintyy kaikkialla ympäristössä. Niitä on aiemmin osoitettu käytettävän laajalti rakennusmateriaaleissa. Tässä seulonnessa kuitenkin vain muutamien tuotteiden todettiin sisältävän PFAS-yhdisteitä. PFAS-yhdisteiden lähteiden tunnistamiseksi tarvitaan lisätyötä.

Tiettyjen vaarallisten aineiden, kuten HBCDD:n ja orgaanisia fosforiyhdisteitä sisältävien palonestoaineiden, puuttuminen näytteistä on rohkaisevaa. Biosidien, muovinpehmentimien ja PFAS-yhdisteiden esiintyminen rakennusmateriaaleissa on kuitenkin edelleen huolestuttavaa.

Pöly kuvastaa sisäympäristön kemiallista koostumusta. Tutkimuksen näytteet sisälsivät muovinpehmentimien, PFAS-yhdisteiden ja kloorattujen parafiinien kaltaisia orgaanisia haitta-aineita. Näiden haitta-aineiden osuus oli jopa 0,1 painoprosenttia joistakin näytteistä. Vaikka joidenkin vaarallisten aineiden pitoisuudet ovat laskeneet aiempiin tutkimuksiin verrattuna, pöly sisältää edelleen huomattavan määrän haitta-aineita. Näiden vaarallisten aineiden esiintyminen pölyssä oli vahvasti yhteydessä sisäympäristössä käytettyjen materiaalien tyyppiin. Tulokset korostavat parempien materiaalivalintojen ja tiukempien säädösten merkitystä, jotta voidaan vähentää näille haitta-aineille sisäympäristössä altistumisesta koituvia terveysriskejä.

Hulevesi toimii haitta-aineiden leviämiskanavana rakennettujen ja luonnonympäristöjen välillä kuljettaen monia haitta-aineita, kuten biosideja, organofosfaatteja, metalleja ja PFAS-yhdisteitä. Tutkimuksessa mukana olleiden kaupunkien hulevesien saastumisessa oli huomattavia eroja.

On ilmeistä, että rakennusmateriaaleissa käytetyt biosidit olivat saastuttaneet hulevesiä. Hulevesinäytteissä alueilta, joissa on pääasiassa uusia puuverhottuja rakennuksia, havaittiin eri kaupungeissa suurempia diuronin, propikonatsolin ja mekopropin kaltaisten biosidien pitoisuuksia. Näiden biosidien pitoisuudet olivat huomattavasti suurempia hulevesissä, erityisesti alueilla, joissa on puurakennuksia.

PFAS-yhdisteitä havaittiin eri näytetyypeissä, kuten hule- ja jätevedessä, sisätilojen pölyssä ja rakennusmateriaaleissa. PFAS-pitoisuuksissa eri kaupunkien välillä oli merkittävää vaihtelua, ja PFAS-yhdisteitä esiintyi huomattavia määriä alueilla, joissa oli tiettyntyyppisiä rakennuksia. Lisätutkimukset ovat tarpeen, jotta PFAS-yhdisteiden lähteet ja kulkureitit voidaan selvittää ja tehokkaita strategioita niiden leviämisen estämiseksi kehittää.

Tutkimus vahvisti, että TCPP:tä esiintyy eri näytetyypeissä, kuten hule- ja jätevedessä sekä sisätilojen pölyssä useilla kaupunkialueilla, mikä viittaa laajaan saastumiseen. TCPP:tä, jota käytetään yleisesti palonestoaineena PU-eristysvaahdon kaltaisissa rakennusmateriaaleissa, havaittiin hulevesinäytteissä, mikä viittaa mahdollisiin lähteisiin kaupunkialueilla. Tällainen laajalle levinnyt saastuminen on tyypillistä laajalti käytetylle toiminnalliselle lisäaineelle, jonka höyrynpaine on melko suuri ja joka on vesiliukoista ja heikosti biohajoavaa. Sääntelyyn liittyvää huolta lisäävät aineen syöpää aiheuttavat ominaisuudet. Palonestoaineiden käytön seuranta ja hallinta erityisesti rakennusmateriaaleissa on ratkaisevan tärkeää saastumisen sekä kaupunkiympäristön ja vesistöjen organofosfaattipäästöjen estämisessä. TCPP:n päästölähteiden ja kulkureittien tunnistaminen voi auttaa kohdennettujen estämisstrategioiden laatimisessa. Tarvitaan lisätutkimuksia, jotta TCPP:n lähteitä voidaan ymmärtää ja käsitellä kattavasti.

Loppuhuomautukset

Sekä tavoite kemikaaliviisaasta ympäristöstä että todellisen kiertotalouden edistäminen rakennusalaalla edellyttävät haitallisten kemikaalien eliminoimista tuotteista. Tällaiset aineet haittaavat kestävää luonnonvarojen hallintaa ja kierrätystä. Sidosryhmien tulee omaksua kokonaisvaltainen lähestymistapa, jossa haitallisten aineiden eliminoiminen asetetaan etusijalle, edistetään turvallisempien vaihtoehtojen käyttöä sekä kannustetaan avoimuuteen ja yhteistyöhön koko toimitusketjussa. Sääntelykehyksillä on ratkaiseva rooli koko toimialaa koskevien muutosten vauhdittamisessa, standardien noudattamisen varmistamisessa ja kemikaalien hallintaan liittyvien innovaatioiden edistämisessä.

Vaikka rakennusalan tekemisessä aidosti kestävä kehityksen mukaiseksi on vielä paljon tehtävää, edistystä on tapahtunut, sillä tiettyjen vaarallisten aineiden käyttö rakennusmateriaaleissa on vähentynyt. Sidosryhmät ovat jo aloittaneet ja voivat jatkaa työtä kohti tulevaisuutta, jossa rakennusmateriaalit ovat turvallisia, ympäristöystävällisiä ja kiertotaloutta edistäviä, asettamalla etusijalle kemikaaliturvallisuuden, avoimuuden edistämisen ja yhteistyön.

Tämän tutkimuksen havainnot ja suositukset korostavat jatkuvan valppauden, lisätutkimuksen ja viranomaisvalvonnan tarvetta rakennusmateriaalien turvallisen ja kestävä käytön varmistamiseksi rakennetussa ympäristössä.

Viitteet

- Abdallah, M. A.-E. ym. 2011. Novel brominated flame retardants: a review of their analysis, environmental fate and behaviour. *Environment International*, 37(2), s. 532–556.
- Andersson, K. A. ym. (2019). Nordic Best Practices for Construction Waste Management. *Journal of Cleaner Production*.
- Andrews, E. J. ym. 2022. Impact of biocides from construction runoff on aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Management*.
- Antonopoulou, M. ym. 2022. Genotoxic and Toxic Effects of The Flame Retardant Tris(Chloropropyl) Phosphate (TCPP) in Human Lymphocytes, Microalgae and Bacteria. *Toxics* 2022, 10, s. 736. <https://doi.org/10.3390/toxics10120736>
- Balck, M. 2015. Phthalates in preschool dust: the relation between phthalates and parameters in the preschool environment. Pro gradu -tutkielma, Uppsalan yliopisto ja Karolinska Institutet, Institutet för miljömedicin.
- Berg, C. ym. 2011. Organophosphate and phthalate ester in air and settled dust – a multi-location study. *Indoor Air* 21, s. 67–76.
- Björklund, K. ym. 2011. Screening of organic contaminants in urban snow. *Water Science & Technology*. Volume 64, s. 206–213.
- Bohman, L. 2021. Klorparaffiner i Armaflex AF. Goodpoint.
- Bollmann, U.E. ym. 2017. Biocide Runoff from Building Facades: Degradation Kinetics in Soil. *Environmental Science and Technology*, 51 (7), s. 3694–3702.
<http://pubs.acs.org.e.bibl.liu.se/journal/esthag>, doi: 10.1021/acs.est.6b05512
- Bollmann, U. E. ym. 2019. Assessment of input of organic micropollutants and microplastics into the Baltic Sea by urban waters. *Marine Pollution Bulletin*, 148, s. 149–155.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.014>
- Christos H. Halios ym. Chemicals in European residences – Part I: A review of emissions, concentrations and health effects of volatile organic compounds (VOCs), *Science of The Total Environment*, Volume 839, 15.9.2022, 156201
- CLP-asetus (Classification, Labeling and Packaging):<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1272-20231201> (visited 2024)
- Covaci, A. ym. N. 2011. Novel brominated flame retardants: a review of their analysis, environmental fate and behaviour. *Environment International*, 37(2), s. 532–556.
- Chen, D. ym. 2016. Bisphenol Analogues Other Than BPA: Environmental Occurrence, Human Exposure, and Toxicity – A Review. *Environmental Science & Technology*, 50(11), s. 5438–5453.
- Christia, C. ym. 2019. Occurrence of legacy and alternative plasticizers in indoor dust from various EU countries and implications for human exposure via dust ingestion and dermal absorption. *Environmental Research*. Volume 171, s. 204–212.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2013/39/EU, annettu 12 päivänä elokuuta 2013, direktiivien 2000/60/EY ja 2008/105/EY muuttamisesta vesipolitiikan alan prioriteettiaineiden osalta
- Durak, J. ym. 2021. Environmental risk assessment of priority biocidal substances on Polish surface water sample. *Environ Sci Pollut Res* 28, s. 1254–1266.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11581-7>
- Euroopan kemikaalivirasto 2023. Regulatory strategy for flame retardants. Euroopan kemikaalivirasto. ISBN: 978-92-9468-261-1.

https://echa.europa.eu/documents/10162/2082415/flame_retardants_strategy_en.pdf/

- Euroopan komissio 2014. European commission. [INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES - New safety requirements for toys \(europa.eu\)](#)
Viitattu 26.5.2024.
- Fisher, R. ja Werschkun, B. 2020. Leaching of biocides from construction materials: Risk to soil and groundwater. Environmental Pollution.
- Fredriksson ym. 2022. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in sludge from wastewater treatment plants in Sweden – First findings of novel fluorinated copolymers in Europe including temporal analysis. Science of the Total Environment 846: 157406.
- Fromme, H. ym. 2013. Phthalates in German daycare centers: Occurrence in air and dust and the excretion of their metabolites by children (LUPE 3). Environment International 61, s. 64–72.
- Fromme, H. ym. 2016b. Non-phthalate plasticizers in German daycare centers and human biomonitoring of DINCH metabolites in children attending the centers (LUPE 3). International Journal of Hygiene and Environmental Health 219, s. 33–39.
- Fromme, H. ym. 2016. Brominated flame retardants–exposure and risk assessment for the general population. International Journal of Hygiene and Environmental Health 219(1), s. 1–23.
- Fromme, H. ym. 2014. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), hexabromocyclododecane (HBCD) and “novel” brominated flame retardants in house dust in Germany. Environment International 64, s. 61–68.
- Fu, P. ja Kawamura, K. 2010. Ubiquity of bisphenol A in the atmosphere. Environmental Pollution, 158(10), s. 3138–3143.
- Gaspar F.W. ym. 2014. Phthalate exposure and risk assessment in California child care facilities. Environmental Science & Technology, 48, s. 7593–7906.
- Giovanoulis G. ym. 2019. Reduction of hazardous chemicals in Swedish preschool dust through article substitution actions. Environment International 130, 104921.
- Hahladakis, J. N., Iacovidou, E. ja Gerassimidou, S. 2023. An overview of the occurrence, fate, and human risks of the bisphenol-A present in plastic materials, components, and products. Integrated environmental assessment and management, 19(1), s. 45–62.
- Hammel S.C. ym. 2019. Children’s exposure to phthalates and non-phthalate plasticizers in the home: The TESIE study. Environment International 132, 105061.
- Hauser, R. ja Calafat, A. M. 2005. Phthalates and human health. Occupational and Environmental Medicine, 62(11), s. 806–818.
- Hilger B. ym. 2013. Occurrence of chlorinated paraffins in house dust samples from Bavaria, Germany. Environmental Pollution. Volume 175, s. 16–21.
- Houtz, E. F. ym. 2017. Perfluoroalkyl Substances in Water: Sources, Persistence, and Global Distribution. Environmental Science & Technology.
- Iqbal, M., Syed ym. 2017. Legacy and emerging flame retardants (FRs) in the freshwater ecosystem: A review. Environmental research, 152, s. 26–42.
- Johnson, G. T. ym. 2018. Application of GC-MS and LC-MS/MS in Environmental Analysis of Contaminants. Analytical Chemistry.
- Johnson, S. ym. 2021. Acute and chronic toxicity of construction material biocides in aquatic environments. Environmental Toxicology and Chemistry.
- Jones, A. P. 1999. Indoor air quality and health. Atmospheric Environment, 33(28), s. 4535–4564.

- Kärrman ym. 2019. PFASs in the Nordic environment. Screening of poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and extractable organic fluorine (EOF) in the Nordic environment. Pohjoismaiden ministerineuvosto.
- Lamprea, K. ym. 2018. Alkylphenol and bisphenol A contamination of urban runoff: an evaluation of the emission potentials of various construction materials and automotive supplies. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, s. 21887–21900.
- Langer S. ym. 2020. Kemikaliebelastning i tre förskolors innemiljö (translation Chemicals in the indoor environment of three preschools). Report C 550 from IVL.
- Langer S. ym. 2021. The effect of reduction measures on concentrations of hazardous semivolatile organic compounds in indoor air and dust of Swedish preschools. *International Journal of Indoor Environment and Health*. Volume 31, s. 1673–1682.
- Langer S. ym. 2016. Organophosphate esters in dust samples collected from Danish homes and daycare centers. *Chemosphere*. Volume 154, s. 559–566.
- Larsson K. ym. 2017. Phthalates, non-phthalate plasticizers and bisphenols in Swedish preschool dust in relation to children's exposure. *Environment International* 102, s. 114–124.
- Larsson K. ja Berglund M. 2016. Utvärdering av barns exponering för kemikalier i förskolan. Institutet för miljömedicin, Karolinska Institutet. Dnr. 2016–8228 Bilaga.
- Law, R. J. ym. 2006. Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment. *Chemosphere*, 64(2), s. 187–208.
- Lee, C. H. ym. 2020. Impact of biocides on microbial communities in soil. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Liang, Y. ym. 2017. Migration of Organophosphates from Insulation Materials into Indoor Environments. *Journal of Hazardous Materials*.
- Malliari, E. ja Kalantzi, O. I. 2017. Children's exposure to brominated flame retardants in indoor environments-a review. *Environment International* 108, s. 146–169.
- Meeker, J. D. ja Stapleton, H. M. 2010. House dust concentrations of organophosphate flame retardants in relation to hormone levels and semen quality parameters. *Environmental Health Perspectives*, 118(3), s. 318–323.
- Miljøstyrelsen 2024. Miljøprojekt nr. 2261, Miljøministeriet, Tanska. [Rapport \(mst.dk\)](https://mst.dk)
- Miller, J. R. ym. 2021. Environmental impacts of biocide leaching from building materials. *Environmental Science & Technology*.
- Mohapatra, D. P. ym. 2011. Occurrence of bisphenol A in wastewater and wastewater sludge of CUQ treatment plant. *Journal of Xenobiotics*, 1(1), e3.
- Möller, A. ym. 2011. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and alternative brominated flame retardants in air and seawater of the European Arctic. 159(6), s. 1577–1583.
- Müller, A. ym. 2019. Building surface materials as sources of micropollutants in building runoff: A pilot study. *Science of the Total Environment*, volume 680, s. 190–197.
- Müller, A. ym. 2022. Releases of micropollutants from building surface materials into rainwater and snowmelt induced runoff. *Water Research*, lokakuu 2022.
- National Toxicology Program. NTP Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of an Isomeric Mixture of Tris(chloropropyl) Phosphate Administered in Feed to Sprague Dawley (Hsd:Sprague Dawley® SD®) Rats and B6C3F1/N Mice: Technical Report 602 [Internet]. Research Triangle Park (NC): National Toxicology Program; heinäkuu 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK592944/>
- NHC3 2023. Building material catalogue for tox-free construction. [NHC3catalogue_E1_5_small.pdf](https://nhc3catalogue_e1_5_small.pdf) (interreg-baltic.eu)

- Nickel J-P. ym. 2021. Up-to-date monitoring data of wastewater and stormwater quality in Germany. Water Research. Volume 202.
- Nowak M., Zawadzka K. ja Lisowska K. 2020. Occurrence of methylisothiazolinone in water and soil samples in Poland and its biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*. Chemosphere, 254, art. no. 126723, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126723
- OECD 2009. [SIDS INITIAL ASSESSMENT PROFILE \(oecd.org\)](https://oecd.org) Viitattu 26.5.2024
- Öberg, K., Warman, K. ja Öberg, T. 2002. Distribution and levels of brominated flame retardants in sewage sludge. Chemosphere, 48(8), s. 805–809.
- Paijens, C. Bressy, A. Frère, B. Moilleron, R. 2020. Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanism of release and transfer to the aquatic environment. Environ. Sci. Pollut. Res. 27(4), s. 1577–3791.
- Paijens, C. ym. 2021. Urban pathways of biocides towards surface waters during dry and wet weathers: Assessment at the Paris conurbation scale. Journal of Hazardous Materials, Volume 402, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123765>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420317544>)
- Poothong ym. 2020. Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood. Environment International 134: 105244.
- Qiu, W. ym. 2019. The occurrence, potential toxicity, and toxicity mechanism of bisphenol S, a substitute of bisphenol A: A critical review of recent progress. Ecotoxicology and environmental safety, 173, s. 192–202.
- Raffy G. ym. 2017. Semi-volatile organic compounds in the air and dust of 30 French schools: a pilot study. Indoor Air 27, s. 114–127.
- Reinikainen ym. 2024. Suomen maaperän PFAS-pitoisuudet. GTK Työraportti.
- Sakhi A-K. ym. 2019. Concentrations of selected chemicals in indoor air from Norwegian homes and schools. Science of The Total Environment. Volume 674, s. 1–8.
- Sánchez-Bayo, F. ja Hyne, R. V. 2011. Detection and analysis of pesticides and biocide residues in sediments, soils and water. Environmental Science and Pollution Research, 18(4), 692–708.
- Scheringer, M. ym. 2020. Regulatory Strategies to Mitigate Environmental Pollution from Polyfluorinated Compounds. Environmental Sciences Europe.
- Staples, C. ym. 2018. Distributions of concentrations of bisphenol A in North American and European surface waters and sediments determined from 19 years of monitoring data. Chemosphere, 201, s. 448–458.
- Stapleton, H. M. 2019. Health Implications of Phthalates in the Environment. Environment International.
- Stockholm City Environmental barometer. DEHP i rötslam. <https://miljobarometern.stockholm.se/miljogifter/ftalater/dehp-i-rotslam/> . Viitattu 6.3.2024.
- Stubbings W.A. ym. 2018. Exposure to brominated and organophosphate ester flame retardants in U.S. childcare environments: Effect of removal of flame-retarded nap mats on indoor levels. Environmental Pollution. Volume 238, s. 1056–1068.
- Sugeng, E. J. ym. 2018. Electronics, interior decoration and cleaning patterns affect flame retardant levels in the dust from Dutch residences. Science of the total environment, 645, s. 1144–1152.

- Sunderland, E. M. ym. 2019. A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) and present understanding of health effects. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), s. 131–147.
- Söregård ym. 2022. Spatial distribution and load of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in background soils in Sweden. *Chemosphere* 295: 133944.
- Tchounwou, P. B. ym. 2012. Heavy metals toxicity and the environment. *EXS*, 101, s. 133–164.
- Tanskan ympäristöministeriö Miljöstyrelsen 2023. Substance Evaluation Conclusion: Reaction products of phosphoryl trichloride and 2-methyloxirane. Elokuu 2023.
- Ruotsin kemikaalivirasto Kemikalinspektionen 2015. Report 4/15. Phthalates which are toxic for reproduction and endocrine-disrupting – proposals for a phase-out in Sweden.
- Tanskan ympäristöministeriö Miljöstyrelsen 2005. Screening av klorparaffiner i den svenska miljön. <https://dvsb.ivl.se/dvss/pdf/klorparaffinerPCA.pdf>
- Turner, D. A. 2021. Green Building Practices: Selecting Safer Materials for Construction. *Building and Environment*.
- Urase, T. ja Miyashita, K. I. 2003. Factors affecting the concentration of bisphenol A in leachates from solid waste disposal sites and its fate in treatment processes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 5, 0077-0082.
- UBA 2011. [Wayback Machine \(archive.org\)](#) Viitattu 26.5.2024.
- Vahtera ym. 2022. KasviHAVA-hanke – Haitta-aineiden pidättyminen hulevesialtaissa. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n julkaisuja 09/22. ISBN 978-952-7019-22-1
- Van Mourik, L. M. ym. 2016. Chlorinated paraffins: A review of analysis and environmental occurrence. *Environment International*, 86, s. 78–95.
- Venier, M. ym. 2016. Brominated flame retardants in the indoor environment—Comparative study of indoor contamination from three countries. *Environment International* 94, s. 150–160.
- Vasiljevic, T. ja Harner, T. 2021. Bisphenol A and its analogues in outdoor and indoor air: Properties, sources and global levels. *Science of the Total Environment*, 789, 148013.
- Vojta, Š. ym. 2017. Screening for halogenated flame retardants in European consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere*, 168, s. 457–466.
- Watanabe, I. ja Sakai, S. 2003. Environmental release and behavior of brominated flame retardants. *Environment International*, 29(6), s. 665–682.
- Wang, W. ym. 2015. A comparative assessment of human exposure to tetrabromobisphenol A and eight bisphenols including bisphenol A via indoor dust ingestion in twelve countries. *Environment International* 83, s. 183–191.
- Wemken, N. ym. 2019. Concentrations of brominated flame retardants in indoor air and dust from Ireland reveal elevated exposure to decabromodiphenyl ethane. *Environmental Science & Technology*, 53(16), s. 9826–9836.
- Wellmitz ym. 2023. Long-term trend data for PFAS in soils from German ecosystems, including TOP assay. *Science of the Total Environment* 893: 164586.
- Whitehead, P. G. ym. 2018. Advances in Sampling Methodologies and Implications for Environmental Analysis. *Science of the Total Environment*.
- WHO Regional Office for Europe 2021. Literature review on chemical pollutants in indoor air in public settings for children and overview of their health effects with a focus on schools, kindergartens and day-care centres: supplementary publication to the screening tool for assessment of health risks from combined exposure to multiple chemicals in indoor air in public settings for children. Lisenssi: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

- Yuan B. ym. 2021. Human Exposure to Chlorinated Paraffins via Inhalation and Dust Ingestion in a Norwegian Cohort. *Environmental Science & Technology*. Volume 55, s. 1145– 1154.
- Zhang, L. ja Choi, H. 2019. Indoor air quality issues related to the use of biocides in building materials. *Indoor Air Journal*.
- Zhang, Q. ja Li, X. 2019. Indoor air quality effects from the volatilization of biocide-containing building materials. *Indoor Air*.
- Zhang, X. ym. 2016. Environmental Pollution from Brominated Flame Retardants. *Environmental Pollution*.
- Zhou L. ym. 2017. Occurrence and human exposure assessment of organophosphate flame retardants in indoor dust from various microenvironments of the Rhine/Main region, Germany. *Indoor Air*, Volume 27, s. 1113 –1127.

Liitteet

Kumppanien raporttien yleiskatsaus

Liite 1. Hulevesi, Turun ammattikorkeakoulu

Liite 2. Hulevesi ja rakennusmateriaalit, Helsinki

Liite 3. Rakennusmateriaalit, Tallinna / BEF Viro

Liite 4. Esikoulujen pöly ja ilma, hulevedet, Västerås

Liite 5. Tukholma

Liite 5A. Esikoulujen pöly, Tukholma (Goodpoint)

Liite 5B. Hulevesi, Tukholma

Liite 5C. Jätevesi, Tukholma (SVOA)

Liite 5D. Biosidit ja muut rakennusmateriaalien lisäaineet, Tukholma (Goodpoint)

Liite 5E. Tunnelirakentamisessa käytettäviä levyjä koskeva tutkimus, Tukholma (Goodpoint)

Liite 5F. Lattian peruskorjaus, Tukholma (Goodpoint)