

SAVONIA



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN ALA

POP-YHDISTEIDEN TUTKIMUS- KÄYTÄNNÖT

TEKIJÄ Heikki Hynninen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Heikki Hynninen	
Työn nimi POP-yhdisteiden tutkimuskäytännöt	
Päiväys	31.5.2025
	37
Yhteistyötaho Sweco Finland Oy	
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteitä) ja niiden hallintaa rakennusten purku- ja saneeraustöissä. Työn tavoitteena on kartoittaa, millaisia POP-yhdisteitä esiintyy rakennusmateriaaleissa ja millaisia jätevirtoja niistä syntyy purkamisen yhteydessä. Työssä perehdytään POP-yhdisteiden tunnistamiseen, haitta-ainekartoituksen rooliin sekä lainsäädännön asettamiin vaatimuksiin jätteiden käsittelystä, siirrosta ja loppusijoituksesta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa POP-jätteiden käsittelyn velvoitteita ja nykytilaa saneeraus- ja purkamisessa syntyvien jätteiden näkökulmasta sekä tutkia POP-jätteiden esiintymistä purkujätteissä. POP-yhdisteiden pitoisuusrajoja jätteissä tiukennettiin vuonna 2023. Vaikka POP-yhdisteiden haitallisuus terveydelle ja ympäristölle tunnetaan, liittyy niiden käsittelyyn ja tunnistamiseen vielä haasteita. Työssä tarkasteltiin myös, miten POP-yhdisteet vaikuttavat rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöön ja mitä edellytyksiä turvallinen uudelleenkäyttö vaatii.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli koota ajankohtaista tietoa ja käytännön toimintamalleja, joiden avulla voidaan edistää POP-yhdisteiden turvallista ja lainsäädännön mukaista hallintaa rakennushankkeiden eri vaiheissa – suunnittelusta toteutukseen ja jätehuoltoon.</p>	
Avainsanat POP-yhdisteet, POP-jäte, pysyvät orgaaniset yhdisteet, haitta-aineet, ympäristömyrkky, purkujäte	

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	5
1 JOHDANTO.....	7
2 POP-YHDISTEET	8
3 POP-YHDISTEIDEN VAIKUTUKSET.....	9
3.1 Ympäristövaikutukset	9
3.2 Terveysvaikutukset.....	9
3.3 Sisäilmavaikutukset.....	10
4 LAINSÄÄDÄNNÖT POP-YHISTEISIIN LIITTYEN.....	11
4.1 POP-asetus	11
4.2 Tukholman yleissopimus	11
4.3 Ympäristönsuojelulaki	12
4.4 Kemikaalilaki	12
4.5 Jätelaki	12
4.6 Valtioneuvoston asetus jätteistä.....	13
4.7 Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta	13
5 POP-YHDISTEIDEN TUNNISTUS	14
5.1 Haitta-ainetutkimus.....	14
5.2 Tunnistus ja näytteenotto	16
5.3 Kemiallisia analyysimenetelmiä	16
5.4 Alkuaineiden perusteella tunnistaminen.....	17
6 POP-YHISTEET PURKU- JA SANEERAUSTYÖMAILLA.....	19
6.1 POP-jäte.....	19
6.2 Rakennusmateriaaleissa yleisimmin esiintyvät POP-yhdisteet	20
6.2.1 BDE.....	21
6.2.2 HBB.....	21
6.2.3 HBCDD	21
6.2.4 PCB.....	23
6.2.5 PFAS.....	23
6.2.6 SCCP	23
6.3 Ennakkoselvitykset ja riskien arviointi ennen purku- ja saneeraustöitä	24
6.4 POP-jätteiden purkaminen ja käsittely työmaalla.....	25
6.5 POP-jätteitä koskevia velvoitteita	27

6.6 POP-jätteiden jatkokäsittely	29
6.7 Materiaalien uudelleenkäyttö	32
7 POHDINTA.....	33
LÄHTEET	35

KUVALUETTELO

Kuva 1. POP-yhdisteiden terveysvaikutuksia ihmiseen. (Ympäristöministeriö 2024, 18.).....	9
Kuva 2. Tekstiilijätteet, jotka todennäköisesti luokitellaan POP-jätteiksi ja tulisi erotella muista jätteistä. Lisäksi merkitty mahdolliset POP-yhdisteet ja jätenimike (Ympäristöministeriö 2023, 39).....	10
Kuva 3. Rakennuksessa tehtävän haitta-ainetutkimuksen eri vaiheet. (RT 103500 2022, 2.).....	15
Kuva 4. Yhteenveto rakennusten purkujätteistä, jotka tulisi lähtökohtaisesti erotella POP-jätteeksi, ellei muuta tietoa ole saatavilla materiaalien yhdiste pitoisuuksista. (Ympäristöministeriö 2024, 160)	20
Kuva 5. Suomessa vuosina 1980–2016 HBCDD palonsuojattujen XPS- ja EPS-eristeiden käyttö eri talotyypeissä/rakennusosissa. (Viskari ym. 2018, 21.)	22
Kuva 6. Purkukartoitukseen sisältyvät vaiheet. (Hradil ym. 2019, 19.)	24
Kuva 7. Purkutyötä edeltävä valmistelu ja taustaselvitykset. (Lehtonen 2019, 27.)	25
Kuva 8. Materiaalien ja jätteiden käsittelyyn liittyvien menetelmien valinta. Purkukohteen ulkopuolista jätteenkäsittelyä koskien voidaan ehdottaa esimerkiksi ekologisempia hyödyntämiskäytöksi tai käsittelylaitosten sijainteja. (Hradil ym. 2019, 29.)	30
Kuva 9. EU:n POP-asetuksessa on määritelty hyväksyttävät käsittelyvaihtoehdot POP-yhdisteitä sisältäville jätteille. (Ympäristöministeriö 2024, 29.)	31

KÄYTETYT LYHENTEET

AHA-asiantuntija	Asbesti- ja haitta-aineasiantuntija
BDE-yhdisteet	Bromidifenyylieetteriyhdisteet
BFR	Bromatut palonestoaineet (Brominated flame retardants)
CAS-numero	Chemical Abstracts Servicen (CAS) antama kemikaalin
CP	Klooratut parafiinit (Chlorinated paraffins)
Deka-BDE	Dekabromidifenyylieetteri
DL-PCB	Dioksiinien kaltaiset PCB-yhdisteet
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EPS	Paisutettu polystyreeni
ETA	Euroopan talousalue
FTIR	Fourier-muunnosinfrapunaspektroskopia
GC-FID	Kaasukromatografi yhdistettynä liekki-ionisaatiodektooriin
GC-MS	Kaasukromatografi-massaspektrometri
HBB	Heksabromibifenyyl
HBCDD	Heksabromisyklododekaani
HCH	Heksakloorisykloheksaani
HIPS	Iskunkestävä polystyreeni
HPLC-UV	Korkeapainenestekromatografi yhdessä UV-detektorin kanssa
IA-MS	Ioniliitospohjainen massaspektrometria
IARC	Kansainvälinen syöväntutkimuskeskus kansainvälinen tunnistenumero
LC-MS	Nestekromatografi-massaspektrometri
LIBS	LIB-spektroskopia
NIR	Lähi-infrapuna-analyysi
PBDE	Polybromidifenyylieetterit; yhdisteryhmä sisältäen 209 kongeneeria joista 5 (tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja dekabromidifenyylieetterit) ovat POP-yhdisteitä
PCB	Polyklooratut bifenyylit
PCDD/F	Polyklooratut dibentsodoksiinit ja -furaanit

PCN	Polyklooratut naftaleenit
PFAS-yhdisteet	Per- ja polyfluoratut alkylyyhdisteet
PFHxS	Perfluoriheksaanisulfonihappo ja sen suolat
PFOA	Perfluorioktaanihappo
PFOS	Perfluorioktaanisulfonihappo
POP-yhdisteet	Pysyvät orgaaniset yhdisteet (Persistent Organic Pollutants)
PVC	Polyvinyylikloridi
SCCP	Lyhytketjuiset klooriparafiinit
SE-laitteet	Sähkö- ja elektroniikkalaitteet
SVHC	EU:n REACH-asetuksen erityistä huolta aiheuttava aine (Substance of Very High Concern)
SVOC-yhdisteet	Puolihaihtuva orgaaninen yhdiste (Semi-Volatile Organic Compounds)
Tetra-BDE	Tetrabromidifenyylietter
UHPLC-ESI-MS/MS	Tandem-massaspektrometria
XPS	Suulakepuristettu polystyreen
XRF	Röntgenfluoresenssianalyysi
XRT	Röntgentransmissio

1 JOHDANTO

Rakennusalan purku- ja korjaushankkeissa joudutaan yhä useammin kohtaamaan rakenteissa olevia haitallisia aineita, joista erityisen haastavia ovat pysyvät orgaaniset yhdisteet eli POP-yhdisteet. Nämä yhdisteet ovat erittäin hitaasti hajoavia, kertyvät ympäristöön ja ravintoketjuihin sekä voivat aiheuttaa vakavia terveys- ja ympäristöriskejä jo pieninä pitoisuuksina. Niitä on aikanaan käytetty laajalti rakennusmateriaaleissa esimerkiksi palonsuoja-aineina, pinnoitteissa ja eristeissä.

Opinnäytetyössä tarkastellaan POP-yhdisteiden tutkimuskäytäntöjä erityisesti rakennushankkeisiin liittyvissä haitta-ainekartoituksissa ja purkutöissä. Työssä selvitetään, millä perusteella näitä aineita on tutkittava, miten ne huomioidaan haitta-ainekartoituksissa, ja mitä velvoitteita lainsäädäntö asettaa niiden tunnistamiselle, minimoinnille ja käsittelylle. Lisäksi perehdytään siihen, mitä vaatimuksia jätteenkäsittelylaitokset ja kaatopaikat asettavat POP-jätteille ja miten nämä vaikuttavat purkukohteen jätehuollon suunnitteluun.

Eryistä huomiota työssä kiinnitetään haitta-ainekartoituksen merkitykseen sekä purkumenetelmiin ja siihen, miten POP-yhdisteet voidaan tunnistaa jo ennen purku- tai saneeraustöitä. Lisäksi tarkastellaan, kuinka POP-yhdisteet vaikuttavat materiaalien uudelleenkäytön mahdollisuuksiin ja voivat rajoittaa purkumateriaalien hyödyntämistä uusissa käyttökohteissa. Työssä pohditaan myös kiinteistönomistajan ja rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuuta POP-yhdisteiden osalta sekä käsitellään hyviä käytäntöjä, joita voidaan ottaa osaksi haitta-ainekartoitusten ja purkusuunnittelun toimintamalleja.

Tavoitteena on muodostaa selkeä kokonaiskuva POP-yhdisteiden aiheuttamista vaatimuksista ja haasteista rakennushankkeiden eri vaiheissa. Työ tarjoaa koottua tietoa ja käytännön toimintaperiaatteita, jotka tukevat POP-yhdisteiden turvallista ja lainsäädännön mukaista hallintaa erityisesti suunnittelun, toteutuksen ja jätehuollon näkökulmista.

2 POP-YHDISTEET

Pysyvät orgaaniset yhdisteet, paremmin tunnettuna POP-yhdisteet (Persistent Organic Pollutants) ovat hitaasti hajoavia ympäristölle ja terveydelle haitallisia kemikaaleja, joita esiintyy maailmanlaajuisesti. POP-yhdisteet säilyvät pitkään muuttumattomina ja voivat olla haitallisia vähäisinä pitoisuusmäärinäkin. Yhdisteet voivat levitä ilman, veden tai eliöiden mukana laajoille alueille aiheuttaen haittaa kaukanakin alkuperäisestä päästölähteestään kertymällä ympäristöön. Tämän seurauksena yhdisteet pääsevät rikastumaan ravintoketjussa ja lopulta päätyvät ihmisiin ja eläimiin. Suurin osa POP-yhdisteistä on rasvaliukoisia ja ne kuuluvat halogenoitujen orgaanisten yhdisteiden ryhmään. Ne ovat hiilivetyjä, joissa osa tai kaikki vetyatomit on korvautunut fluorilla, kloorilla tai bromilla, näitä yhdisteitä on hyödynnetty monilla eri aloilla kuten autojen valmistuksessa, sähkölaitteissa, tekstiileissä, rakennusmateriaaleissa, maaleissa, teollisuuden kemikaaleissa ja torjunta-aineissa. Lisäksi POP-yhdisteitä voi esiintyä kemikaaleissa epäpuhtauksina tai niitä voi syntyä sivutuotteina esimerkiksi polttoprosessien yhteydessä. Koska nämä yhdisteet leviävät kauas alkuperäisestä päästölähteestään yksittäinen valtio ei kykene yksinään suojelemaan ympäristöään niiden aiheuttamalta saastumiselta. Tästä syystä niiden käyttöä rajoitetaan kansainvälisen yhteistyön kautta. (Ympäristöministeriö 2024, 17; Mannio, Rantakokko, Kyllönen, Anttila, Kauppi, Ruokojärvi, Hakola, Kiviranta, Korhonen, Salo, Seppälä & Viluksela 2016, 11.)

POP-yhdisteitä on käytetty laajasti erilaisissa tuotteissa niiden kemiallisten ominaisuuksien vuoksi. Yhdisteitä on hyödynnetty muun muassa torjunta-aineissa, palonestoaineina sekä pintakäsittelykemikaaleina. Lisäksi ne ovat toimineet lisäaineina muovimateriaaleissa, joita löytyy esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkalaitteista, ajoneuvoista, tekstiileistä ja huonekaluista. Rakennusalalla POP-yhdisteitä on käytetty kaapeleissa, johdoissa, tiivisteissä, saumausaineissa ja eristelevyissä parantamaan niiden kestävyyttä kosteutta ja rasvaa vastaan sekä vähentämään niiden syttymisherkkyttä. (Myllymaa, Moliis, Häkkinen & Seppälä 2015, 7)

3 POP-YHDISTEIDEN VAIKUTUKSET

3.1 Ympäristövaikutukset

Ympäristölle erityisen vaarallisia yhdisteitä ovat ne, jotka ovat erittäin pysyviä ja kertyvät eliöihin, niiden pysyvyys ja hitaasti hajoavat ominaisuudet tarkoittavat, että ne voivat varastoitua pitkiksi ajoiksi ympäristöön. Pienetkin pitoisuudet ympäristössä voivat kerääntyä eliöissä haitalliselle tasolle ajan kuluessa, niinpä päästöjen vähentäminen vaikuttaa ympäristön pitoisuuksiin hitaasti. Aineiden pysyvyys edistää niiden kulkeutumista ja kertymistä, mikä voi johtaa sekä eliöiden että ihmisten altistumiseen, joten on tärkeää varmistaa, ettei ympäristöön pääsisi enempää haitallisia yhdisteitä. (Kauppi, Bachér, Laitinen, Kiviranta, Suomalainen, Turunen, Kautto, Mannio, Räisänen, Lautala, Porras, Rantio, Salminen, Santonen, Seppälä, Teittinen & Wahlström 2019, 18.)

Rakennetussa ympäristössä POP-yhdisteet voivat kertyä esimerkiksi rakennusmateriaaleihin ja teollisuuskemikaaleihin kuten palonestoaineisiin, joista ne pääsevät vapautumaan ympäristöön rakennusten saneeraus- sekä purkutöissä. Ympäristöön päätyneitä vaarallisia aineita on varastoitunut maaperään, kaatopaikoille sekä jäätiköille, joista mahdollisia vaarallisia aineita voi päästä vapautumaan esimerkiksi ilmaston lämpiämisen ansioista. Näiden yhdisteiden varastoituminen ympäristöön on pitkäaikainen ongelma, koska niiden hidas hajoaminen tarkoittaa, että ne voivat olla ympäristössä pitkään ja levitä laajalle alueelle. Tämä korostaa tarpeen seurata POP-yhdisteiden pitoisuuksia ja niiden ympäristövaikutuksia. (Kauppi ym. 2019, 18.)

3.2 Terveysvaikutukset

POP-yhdisteillä on paljon terveysvaikutuksia ja useimmat yhdisteistä ovat rasvaliukoisia, minkä seurauksena ne kertyvät ravintoketjun huipulla oleviin eliöihin. Osan POP-yhdisteistä on havaittu aiheuttavan kehitys- ja lisääntymishäiriöitä eläimissä ja ne voivat vaikuttaa samalla tavalla myös ihmisiin. Pitkäaikaisvaikutuksista ja eri yhdisteiden yhteisvaikutuksista ei kuitenkaan ole vielä kattavaa tutkimustietoa. (Ympäristöministeriö 2024, 18.) Kuvassa 1 esitetty eri POP-yhdisteitä ja niiden terveysvaikutuksia.

POP-yhdiste	Terveysvaikutukset
PFOA, PFOS	Epidemiologisissa tutkimuksissa haittavaikutuksia oppimiseen, käyttäytymiseen, maksaan, immuunivasteeseen, kehitykseen, lisääntymiseen, kolesteroliin
Deka-BDE	Eläinkokeissa maksavauriot sekä erilaiset kehitys- ja käyttäytymishäiriöt; Epidemiologisissa tutkimuksissa lapsen heikentynyt henkinen kehitys
Tetra-, penta-, heksa- ja hepta-BDE:t	Eläinkokeissa kriittinen vaikutus hermoston kehitykseen; Epidemiologisissa tutkimuksissa yhteyksiä kilpirauhasen toimintaan ja neuropsykologisiin muutoksiin
HBCDD	Eläinkokeissa vaikutuksia kilpirauhasen toimintaan, lisääntymiseen ja hermoston kehitykseen; Epidemiologisissa tutkimuksissa miessukupuolihormonien muutoksia, mutta näyttö vielä epävarmaa
SCCP	Mahdollisesti syöpävaarallinen; Eläinkokeissa kohde-elimet maksa, munuaiset ja kilpirauhanen, sikiövaurioita aiheuttava
PCDD/F-yhdisteet	Kehitys- ja lisääntymishäiriöt, hormonitoiminnan häiriöt, immunotoksisuus, aineenvaihdunnan häiriöt; TCDD: Syöpä (työperäinen altistus); muut PCDD/F-yhdisteet: Syöpävaarallisuus ei luokiteltavissa
PCB-yhdisteet	Kehitys- ja lisääntymishäiriöt, hormonitoiminnan häiriöt, immunotoksisuus, aineenvaihdunnan häiriöt; Dioksiininkaltaiset PCB-yhdisteet: syöpä

Kuva 1. POP-yhdisteiden terveysvaikutuksia ihmiseen. (Ympäristöministeriö 2024, 18.)

3.3 Sisäilmavaikutukset

Sisäympäristössä yleisimmin esiintyvät POP-yhdisteet kuuluvat SVOC-yhdisteisiin (Semi-Volatile Organic Compounds) eli puolihaihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin, joista tunnetuimpia ovat CP-, BFR-, PFAS- ja PCB-yhdisteet. Sisätiloissa on yleisesti käytössä monia tuotteita ja materiaaleja, joissa esiintyy SVOC-yhdisteitä kuten vaate- ja sisustustekstiilit, siivousaineet, kosmetiikka- ja hygieniatuotteet, sähkö- ja elektroniikkalaitteet, huonekalut sekä rakennusmateriaalit. Näistä materiaaleista ajan myötä saattaa vapautua yhdisteitä huonepölyyn ja -ilmaan, kun materiaalin pinta pääsee kulumaan tai haihtumaan. Paloturvallisuuden varmistamiseksi palonsuojattuja tekstiilejä on käytetty laajasti hotelleissa, sairaaloissa ja oppilaitoksissa sekä muissa julkisissa tiloissa, joissa paloturvallisuus on ensisijaisen tärkeää. Palosuojausta on voitu käyttää muun muassa verhoihin, mattoihin, ikkunakaihtimiin sekä huonekalujen verhoiluihin ja pehmusteisiin, joissa on käytetty palonestoaineilla käsiteltyä polyuretaania tai polystyreeniä. (Wallenius, Korkalainen, Porras, Hovi, Holma, Ahtinen, Koponen, Huttunen & Rantakokko 2023, 16, 23; Ympäristöministeriö 2023, 39.)

POP-yhdisteitä todennäköisesti sisältävä tekstiilijäte (muualta kuin ajoneuvoista)	Mahdollinen POP-yhdiste	Jäteluettelon jättenimike
<p>Julkisten tilojen tekstiilit (ennen vuotta 2019 valmistetut)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Huonekalujen tekstiiliverhoilut • Huonekalujen polyuretaani- ja polystyreenitäytteet • Verhot, ikkunakaihtimet, matot ja patjat 	BDE-yhdisteet, HBCDD	20 01 11

Kuva 2. Tekstiilijätteet, jotka todennäköisesti luokitellaan POP-jätteiksi ja tulisi erotella muista jätteistä. Lisäksi merkitty mahdolliset POP-yhdisteet ja jättenimike (Ympäristöministeriö 2023, 39)

SVOC-yhdisteille altistuminen huonepölyn ja sisäilman kautta on kuitenkin selkeästi vähäisempää mitä ravinnon kautta. Sisäilmassa esiintyville CP- (klooratut parafiinit) ja BFR-yhdisteille (bromatut palonestoaineet) altistuminen arvion mukaan ei aiheuta huomattavaa terveysriskiä Suomessa. Kuitenkin näihin liittyen tarvitaan vielä lisätietoa eri yhdisteiden yhteisvaikutuksista sekä lasten ja nuorten altistumisesta. PFAS-yhdisteille (per- ja polyfluoratut alkyylilyhdisteet) altistuminen saattaa muodostaa terveysriskin, on kuitenkin huomattava, että raja-arvojen ylittäminen ei välttämättä johda suoraan terveyshaittoihin vaan riskin kasvu on asteittaista pitoisuuksien noustessa. Lisäksi raja-arvoihin sisältyy turvallisuusmarginaali, joka huomioi riskinarvioinnin epävarmuustekijät ja tarjoaa lisäsuojaa. Erityisesti lapsilla 1–3-vuotiailla yhdisteiden saanti on jopa kaksi kertaa suurempaa vanhemman ikäisiin verrattuna, joka johtuu pölylle altistumisesta. (Wallenius ym. 2023, 3–4, 40.)

4 LAINSÄÄDÄNNÖT POP-YHISTEISIIN LIITTYEN

POP-yhdisteet aiheuttavat merkittäviä haittoja ympäristölle sekä terveydelle, ja vaikutukset ulottuvat laajalti eri valtioihin. Siksi niiden käyttöä ja päästöjä on pyritty rajoittamaan kansainvälisin sopimuksin. Keskeisimpiä näistä ovat maailmanlaajuinen Tukholman sopimus sekä EU-maita sitova POP-asetus. Lisäksi kunkin valtion omassa lainsäädännössä on säädetty keinoista, joilla toimintaa POP-yhdisteisiin liittyen rajoitetaan. Näin varmistetaan, että sekä ympäristön että ihmisten terveyttä suojellaan tehokkaasti POP-yhdisteiden haitallisilta vaikutuksilta, erityisesti kiertotalouden ja materiaalien uudelleen käytön näkökulmasta. Muita lainsäädäntöjä ovat esimerkiksi REACH-asetus, joka säätelee erityistä huolta aiheuttavia aineita (SVHC), sekä työturvallisuuslaki, joka sisältää tärkeitä kohtia työntekijän ja työympäristön turvallisuuden turvaamiseksi vaarallisilta aineilta.

4.1 POP-asetus

Euroopan unionissa Tukholman yleissopimus on pantu täytäntöön Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksella (EU) 2019/1021, joka koskee pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteitä). Tämän asetuksen tavoitteena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä rajoittamalla ja kieltämällä vaarallisten POP-yhdisteiden valmistus, markkinoille saattaminen ja käyttö. POP-asetuksen liitteessä I on lueteltu yhdisteet, joiden käyttö ja myynti on kokonaan kielletty, ja liitteissä II ja III esitetään muita rajoituksia sekä päästöjen vähentämistä koskevia velvoitteita. Asetus määrittelee myös POP-yhdisteitä sisältävien jätteiden hallintaa koskevat vaatimukset, jotta nämä yhdisteet eivät päädy uudelleen ympäristöön. POP-jätteiden varastoinnin, käsittelyn ja hävittämisen on tapahduttava siten, että niiden haitalliset vaikutukset minimoidaan ja jätteet käsitellään ympäristölle turvallisella tavalla. Lisäksi asetuksessa on säännökset asetuksen liitteiden päivittämisestä, jotta se pysyy ajan tasalla Tukholman yleissopimuksen kehityksen kanssa. Tämä sääntely varmistaa, että EU täyttää kansainväliset velvoitteensa POP-yhdisteiden torjunnassa ja edistää kestävä kehitystä rajoittamalla vaarallisten kemikaalien käyttöä ja vähentämällä niiden vaikutuksia ekosysteemeihin. (Asetus 2019/1021/EU: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus pysyvistä orgaanisista yhdisteistä, 1 artikla, 3 artikla, 4 artikla, 7 artikla, 15 artikla.)

4.2 Tukholman yleissopimus

Sopimuksen päämääränä on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä POP-yhdisteiden haitallisilta vaikutuksilta. Tämä tapahtuu kieltämällä tai rajoittamalla niiden valmistusta, käyttöä ja päästöjä sekä varmistamalla turvallinen jätteen käsittely. Osapuolet sitoutuvat lopettamaan tai rajoittamaan luetteloidun POP-yhdisteiden tuotantoa ja käyttöä. Sopimuksessa on myös säännökset mahdollisista poikkeuksista, kuten tietyistä välttämättömistä käyttökohteista. Sopimus edellyttää osapuolia tunnistamaan ja vähentämään POP-yhdisteiden päästöjä ilmaan, veteen ja maaperään. (Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus 34/2004, 1 artikla, 3 artikla, 5 artikla.)

Tukholman sopimus luotiin kattamaan alun perin vuonna 2004 12 erilaista POP-yhdistettä, joita nimettiin ”likaiseksi tusinaksi” useita kyseisistä kemikaaliyhdisteistä oli kuitenkin rajoitettu jo kauan ennen sopimuksen voimaantuloa teollisuusmaissa. Yleissopimus on edistänyt käytännön toimenpiteitä, joiden avulla näiden kemikaalien käyttö on poistettu käytöstä ja jätteen asianmukainen käsittely on varmistettu myös kehitysmaissa. Sopimukseen on luetteloitu nykypäivänä noin 30 yhdistettä tai yhdisteryhmää. Listaa laajennetaan uusilla aineilla tai ryhmillä sitä mukaa, kun niiden vaikutuksista ympäristöön ja terveyteen saadaan parempaa tutkimustietoa. Mikäli tieteellinen komitea toteaa aineen

täyttävän POP-yhdisteen kriteerit ja sen aiheuttavan merkittävää terveys- tai ympäristöhaittaa, sopimusmaat päättävät osapuolikokouksessa sen käyttörajoituksista ja mahdollisista poikkeuksista. Kun Tukholman sopimukseen lisätään uusi POP-yhdiste, osapuolimaiden on sisällytettävä se kansalliseen lainsäädäntöönsä vuoden kuluessa päätöksen tallentamisesta YK:n sopimustietokantaan. Sopimukseen on hyväksytty uusia POP-yhdisteitä viimeisimmäksi 2023 kesäkuussa. (Ympäristöministeriö 2024, 20, 24–25; Mannio ym. 2016, 22)

4.3 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain tavoitteena on ehkäistä ympäristön saastumista ja siihen liittyviä riskejä sekä rajoittaa päästöjä tavalla, joka vähentää haitallisia vaikutuksia ja estää mahdollisia vahinkoja ympäristölle. Lain keskeinen pyrkimys on hallita ja minimoida ympäristön kuormitusta siten, että pilaantumista voidaan ehkäistä ennakolta tai sen seurauksia lieventää tehokkaasti. Samalla pyritään turvaamaan elinympäristön terveellisyys, viihtyisyys ja ekologinen kestävyys sekä tukemaan luonnon monimuotoisuutta, kestävä kehitystä ja ilmastonmuutoksen hillintää. Tavoitteena on myös edistää luonnonvarojen kestävä käyttöä, vähentää jätteiden syntyä ja niiden aiheuttamia haitallisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia. Lisäksi laki korostaa tarvetta kehittää ympäristöä kuormittavan toiminnan vaikutusten arviointia kokonaisvaltaisemmin ja lisätä kansalaisten osallistumismahdollisuuksia ympäristöpoliittiseen päätöksentekoon. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 1 §.)

Lakia sovelletaan jätteiden käsittelyssä ja toiminnassa jossa, jätteitä syntyy sekä niin teollisuudessa kuin muussakin toiminnassa, joista voi aiheutua ympäristöhaittoja. Ympäristön suojelua koskevia sääädöksiä löytyy myös kansainvälisistä merensuojelusopimuksista, jotka ovat Suomen osalta velvoittavia, sekä Suomen ja Ruotsin välisestä rajajokisopimuksesta (SopS 91/2010). (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 2 §.)

4.4 Kemikaalilaki

Kemikaalilaki säätelee POP-yhdisteitä ja niihin liittyviä viranomaisvelvoitteita. Lain päätavoitteena on suojella ympäristöä ja ihmisten terveyttä kemikaalien mahdollisesti aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. Laissa säädetään Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskuksen) ja paikallisten ympäristönsuojeluviranomaisten vastuista POP-asetuksen valvonnassa. Lainsäädännössä on tarkasti määritelty Turvallisuus- ja kemikaaliviraston, Suomen ympäristökeskuksen sekä Tullin roolit POP-asetuksen kieltojen ja rajoitusten toimeenpanossa. (Kemikaalilaki 599/2013, 1 §, 6 §, 8 §, 9 §, 11 §, 13 §.)

4.5 Jätelaki

Lain tavoitteena on tukea luonnonvarojen vastuullista hyödyntämistä ja kiertotalouden edistämistä. Laki pyrkii vähentämään jätteiden määrää ja haitallisuutta, estämään jätteiden ja jätehuollon aiheuttamia ympäristö- ja terveysriskejä, takaamaan jätehuollon sujuvuuden sekä torjumaan ympäristön saastumista roskien takia. (Laki jätelain muuttamisesta 714/2021, 1§.)

POP-jätteisiin liittyen toimijalle on määritetty kirjanpito- ja tiedonantovelvollisuus, jossa jätteistä ja niiden kierrätyksestä pidetään kirjaa sekä kirjataan jos mahdollisesti materiaalia tulee valmistella uudelleenkäyttöä varten. (Jätelaki 118§.)

Ennen jätteen siirtämistä jätteen haltijan on laadittava siirtoasiakirja, joka koskee POP-jätettä sekä muita vaarallisiksi määriteltyjä jätteitä, kun se siirretään ja luovutetaan 29 §:ssä määritellylle vastaanottajalle. Siirtoasiakirjan on sisällettävä kaikki valvonnan ja seurannan kannalta olennaiset tiedot, kuten jätteen tyyppi, määrä, alkuperä, laatu, kuljetusajankohta ja -paikka, käsittelymenetelmä sekä kuljettajan tiedot. (Jätelaki 121§.)

4.6 Valtioneuvoston asetus jätteistä

Valtioneuvoston jätteistä annetulla asetuksella "Jäteasetus" (978/2021) täydennetään jätelain mukaisia velvoitteita. Asetuksessa määritellään miten jätteiden keruu, vaarallisten jätteiden erillään pito, käsittely ja valvonta tulee järjestää. Asetus sisältää myös erityiset vaatimukset kirjanpidon sekä tiedonannon osalta nämä määräykset koskevat myös POP-yhdisteitä sisältävän jätteen hallintaa. (Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021, 10 §, 25–26 §, 33 §, 36 §, 41 §.)

4.7 Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta

Rakennushankkeen osapuolilla on velvollisuus huolehtia siitä, ettei työstä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville tai muille sen läheisyydessä oleville. Päätoteuttajan vastuulla on varmistaa, että kaikki työntekijät saavat riittävän perehdytyksen ja ohjeistuksen turvallisuudesta, tuntevat työmaan riskit ja tietävät, miten ne voidaan ehkäistä tai poistaa. Päätoteuttajan on laadittava kirjallinen suunnitelma työmaa-alueen käytöstä ja tunnistettava siihen liittyvät vaarat ja haitat ottaen huomioon myös rakennuttajan turvallisuusasiakirjan tiedot. Havaitut riskit on poistettava tai niiden vaikutukset arvioitava, jos poistaminen ei ole mahdollista. Suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota onnettomuuksien ja terveyshaittojen ehkäisyyn sekä vaarallisten materiaalien keräykseen, varastointiin ja hävittämiseen. Lisäksi on otettava huomioon eri työvaiheiden ajoituksen keston ja toteutustavat, jotta mahdolliset samanaikaisesti tai peräkkäin tehtävistä töistä aiheutuvat riskit voidaan ehkäistä jo suunnitteluvaiheessa. (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009, 3§, 11§, 13§.)

Purkutyön on oltava turvallista kaikille työmaalla toimiville, ja erityistä huomiota on kiinnitettävä kantavien rakenteiden sekä muiden vaarallisten osien purkuun ammattitaitoisen henkilön valvonnassa. Työmaa tulee tarvittaessa rajata muusta ympäristöstä, ja purkumateriaalien siirrot sekä säilytys on järjestettävä siten, että niistä ei aiheudu tarpeettomia riskejä. Mikäli purkutyöhön liittyy terveydelle haitallisia aineita kuten asbestia, on tällöin noudatettava erityissäädöksiä. Purkutyöstä aiheutuvaa pölyä on hallittava tehokkaasti esimerkiksi kohdepoistoilla, ilmanvaihdolla tai muilla soveltuvilla keinoilla. Pölyn leviämistä voidaan ehkäistä myös käyttämällä väliaikaisia suojarakenteita, lisäksi pölyt tulee siivota työtiloista säännöllisesti. (Asetus 205/2009, 49 §, 50 §.)

5 POP-YHDISTEIDEN TUNNISTUS

5.1 Haitta-ainetutkimus

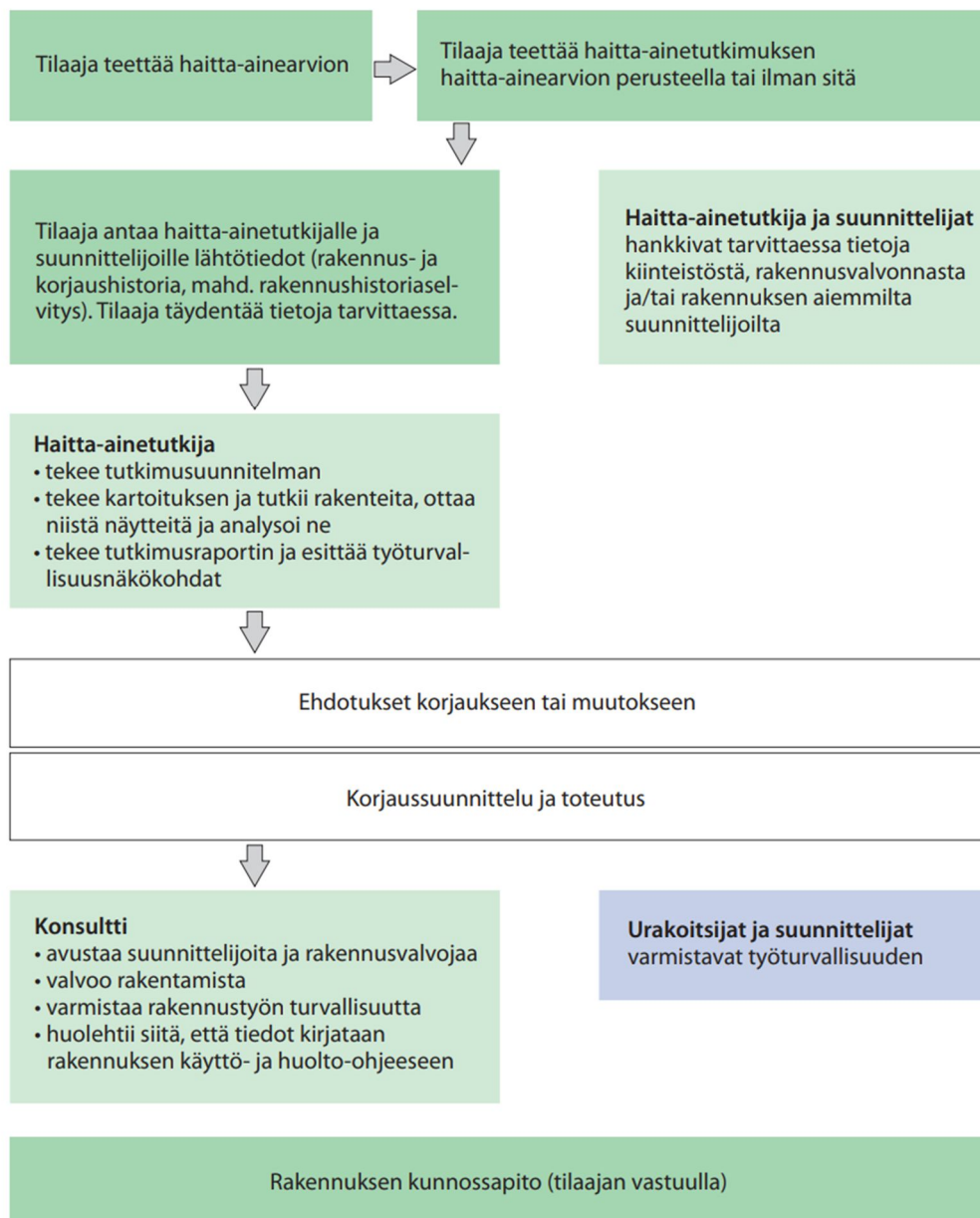
Haitta-ainetutkimus tarkoittaa rakennuskohteessa tehtävää selvitystä, jossa tunnistetaan ja analysoidaan mahdollisesti terveydelle tai ympäristölle haitallisia materiaaleja. Ennen rakennuksen purku- tai korjaustöihin ryhtymistä on lähes poikkeuksetta tehtävä haitta-ainetutkimus, joka liittyy Valtioneuvoston asetuksessa (205/2009) asetettuun velvollisuuteen selvittää työympäristön vaara- ja haittatekijät. Tutkimuksessa tarkastellaan pintamateriaalien ohella myös rakenteiden sisäosia mahdollisten haitallisten aineiden varalta sekä selvitetään, onko rakenteisiin imeytynyt muita haitallisia yhdisteitä. Rakennuksen valmistumisvuosi, käyttötarkoitus ja aikaisemmat korjaushistoriat vaikuttavat siihen millaisia haitallisia aineita rakenteissa saattaa esiintyä. Kartoitukseen sisältyy aina myös lain edellyttämä asbestikartoitus. Vuoden 1995 jälkeen valmistuneissa rakennuksissa ei kuitenkaan useimmiten ole tarpeen kartoittaa asbestia, koska sen myynti ja käyttäminen kiellettiin vuoden 1994 alussa. Mikäli epäillään, että haitta-aineet voivat vaikuttaa sisäilman laatuun tai aiheuttaa terveysriskejä, tarvitaan usein lisäselvityksiä, kuten ilmanlaatumittauksien teko rakenneavausten ja materiaalinäytteiden lisäksi. Sisäilmamittaukset ovat tärkeää toteuttaa ennen kuin rakenteita avataan, jotta mittaustuloksiin ei synny vääristymiä purkutyöstä aiheutuvien päästöjen seurauksena. Kartoituksen perusteella voidaan myös tunnistaa ja poistaa mahdollisia sisäilmaan liittyviä ongelmia jo ennen varsinaisten töiden aloittamista. Kerättyjen tietojen perusteella voidaan myös tunnistaa ja poistaa rakennuksessa esiintyviä sisäilmahaittoja. Tutkimustulokset kootaan haitta-ainetutkimusraporttiin, jota hyödynnetään muun muassa tilojen turvallisuuden arvioinnissa, korjaus- ja purkutöiden suunnittelussa, kustannusarvioissa sekä työturvallisuus- ja jätehuoltokäytännöissä. Raportissa tulee selkeästi esitellä ne haitallisia aineita sisältävät materiaalit, jotka voivat nykyisessä kunnossaan aiheuttaa tilojen käyttäjille vaaraa tai haittoja. Tärkeää on arvioida myös mahdolliset ympäristöriskit ja tarpeet jatkotutkimuksille, etenkin jos purkujätteitä aiotaan hyödyntää uudelleen. (RT 103500 Haitalliset aineet rakennuksissa. Tilaajan ohje 2022, 1–3, 10.)

Haitta-ainearvio ja tarvittaessa haitta-ainetutkimus tehdään rakennushankkeen alkuvaiheessa, erityisesti käyttötarkoituksen muutoksissa, korjauksissa kuten putkiremonteissa, julkisivujen, vesikaton, portaiden, kylpyhuoneiden, teknisten tilojen tai kellaritilojen korjauksissa, mahdollisten sisäilmaongelmien lähteen selvittämisessä sekä sisäilmaan vaikuttavien töiden ja purkusuunnittelun yhteydessä. Kartoituksella pyritään myös varmistamaan muiden tutkijoiden työturvallisuus. (RT 103500 2022, 9.)

Haitta-ainekartoituksen ja -tutkimusten tarkoituksena on selvittää, missä rakennusmateriaaleissa esiintyy haitallisia aineita sekä määrittää missä niitä sijaitsee. Lisäksi niiden avulla voidaan antaa suosituksia siitä, millä menetelmillä haitallisia aineita sisältävät materiaalit tulisi poistaa ennen muita purkutöitä, ja tarjota ohjeita vaarallisiksi luokiteltujen jätteiden asianmukaiseen käsittelyyn. Samalla arvioidaan purkutyön yhteydessä syntyvien vaarallisten jätteiden määrä, jotta niiden hallinta ja hävittäminen voidaan toteuttaa turvallisesti ja määräysten mukaisesti. (Hradil, Wahlström, Teittinen & Lehtonen 2019, 18.)

POP-yhdisteiden varalta haitta-ainetutkimuksissa tulisi perehtyä sisältääkö purettava/saneerattava kohde sellaisia rakennusmateriaaleja, jotka tulisi erotella POP-jätteinä muusta purkujätteestä. POP-

yhdisteitä sisältäviä rakennusmateriaaleja on käytetty vielä esimerkiksi vuoteen 2020 asti BDE-yhdistettä sisältävissä muovisissa eristemateriaaleissa ja vuoteen 2017 asti EPS- sekä XPS-eristeissä, jotka sisältävät mahdollisesti HBCDD-yhdistettä. POP-yhdisteitä sisältävistä materiaaleista kerrottu lisää osioissa 6. (Ympäristöministeriö 2024, 160.)



Kuva 3. Rakennuksessa tehtävän haitta-ainetutkimuksen eri vaiheet. (RT 103500 2022, 2.)

Haitta-ainetutkimus on olennainen osa myös kiinteistön kuntotutkimusta, ja se tulisi suorittaa jo korjaushankkeen suunnitteluvaiheessa, ennen varsinaisten töiden aloitusta, jotta saadaan valittua kohteeseen sopivat korjausmenetelmät ja pystytään ennaltaehkäisemään mahdolliset riskitekijät. Mikäli on epäily, että kohteessa korjattavat rakenteet voivat sisältää haitallisia aineita, tutkimuksen avulla voidaan tunnistaa materiaalit, jotka saattavat aiheuttaa terveysriskejä joko kiinteistön käytön aikana tai rakenteiden purkutyössä. Haitta-ainetutkimuksia tehdään myös esimerkiksi, jos kiinteistössä ilmenee hajuhaittoja tai epäillään, että haitta-aineita sisältävät rakenteet voivat aiheuttaa terveysriskejä

käyttäjille. Lisäksi tutkimuksen avulla voidaan määrittää, mitkä materiaalit on käsiteltävä erityismenettelyin jätteenkäsittelyn yhteydessä. (Pitkäranta 2016, 78.)

5.2 Tunnistus ja näytteenotto

POP-yhdisteiden tarkka tunnistaminen edellyttää laboratoriomenetelmiä, mutta niiden käyttö on käytännössä rajattu vain satunnaisiin näytteisiin ja erityistutkimuksiin. Tämä johtuu analyysien hitaudesta, näytteiden käsittelyyn vaadittavista prosesseista sekä korkeista kustannuksista. Tämän seurauksena POP-yhdisteiden tunnistaminen laajamittaisesti teollisessa ympäristössä ei ole tällä hetkellä mahdollista, vaan kenttäolosuhteissa analyysi voidaan toteuttaa vain alkuainetasolla. (Kauppi ym. 2019, 100.)

Tunnistamista jätteistä vaikeuttaa osaltaan laboratorioanalyysien rajallinen saatavuus sekä niiden korkeat kustannukset. Monille POP-yhdisteille ei ole vielä kehitetty jätteille soveltuvia standardoituja testimenetelmiä, jonka takia analyysitekniikoita kehitetään jatkuvasti kansainvälisellä tasolla. Teollisessa mittakaavassa tunnistamiseen joudutaan usein turvautumaan epäsuoriin menetelmiin, kuten alkuainepohjaisiin analyysitekniikoihin. Näiden haasteena on kuitenkin se, että mitattu alkuainepitoisuus voi olla peräisin myös muista lähteistä kuin itse tutkittavasta jätteestä. Tämän vuoksi alkuainepitoisuuden perustuvien menetelmien luotettavuus tulisi varmistaa säännöllisillä laboratoriotutkimuksilla. (Ympäristöministeriö 2023, 46.)

POP-jätteiden tunnistamisessa on noudatettava ympäristönsuojelulain mukaisia vaatimuksia, jotka koskevat mittausten ja tutkimusten laadunvarmistusta. Käytettävien menetelmien on oltava tarkoituksenmukaisia, ja näytteenottajalla tulee olla riittävä asiantuntemus tehtävään. (Ympäristönsuojelulaki 209 §.)

5.3 Kemiallisia analyysimenetelmiä

PCB-yhdisteiden tunnistamiseen käytetään standardeja SFS-EN 12766-1, SFS-EN 12766-2 ja SFS-EN 17322:2020. Analyysi perustuu PCB-kongeneerien mittaamiseen, ja niiden perusteella määritetään yhdisteen kokonaispitoisuus. Nestemäisille ja nestettä sisältäville jätteille sekä matalille PCB-pitoisuuksille soveltuu erityisesti menetelmä, jossa pitoisuuden laskenta perustuu kuuden kongeneerin (PCB-28, 52, 101, 138, 153 ja 180) mittaamiseen. Kokonaispitoisuuden arvioimiseksi saadut tulokset kerrotaan kertoimella 5, jolloin voidaan arvioida kaikkien kongeneerien yhteismäärä jätteessä. Kiinteiden jätteiden osalta PCB-pitoisuuksien määrittämiseen käytetään toista menetelmää, jossa analyysi perustuu seitsemän eri kongeneerin mittaamiseen. Tässä huomioidaan myös PCB-118 muiden kuuden lisäksi. (Ympäristöministeriö 2016, 45; Ympäristöministeriö 2023, 49.)

PBDE-yhdisteitä analysoidaan yleisimmin kaasukromatografi-massaspektrometri (GC-MS) menetelmällä. Muita käytettäviä tekniikoita ovat ioniliitospohjainen massaspektrometria (IA-MS) sekä korkeapainenestekromatografia (HPLC-UV). PBDE-pitoisuuksien määrittäminen voi olla haastavaa näytteiden vaihtelevien pitoisuuksien vuoksi. HBCDD:n analysointiin soveltuu esimerkiksi GS-MS, nestekromatografi-massaspektrometri (LC-MS) ja tandem-massaspektrometriaa (UHPLC-ESI-MS/MS). Lisäksi polystyreenivaahtojen analysointiin voidaan käyttää kaasukromatografi yhdistettynä liekki-ionisaatiotektoriin (GC-FID) menetelmää. HBCDD voidaan tunnistaa usein muiden bromattujen palonsuoja-aineiden yhteydessä. SCCP:n analysoimiseen soveltuvat GC-MS sekä GC-ECNI-MS. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös kaksidimensionaalista kaasukromatografiaa (GCxGC-

ECD) tai korkean resoluution TOF-MS-menetelmiä. PFAS-yhdisteiden analytiikka kehittyi jatkuvasti, ja nykyiset menetelmät keskittyvät pääasiassa vesipohjaisiin nesteisiin, tekstiileihin ja nahkaan. Kiinteiden jätemateriaalien analyysitekniikat ovat kehitysvaiheessa, ja referenssimateriaalien puute vaikeuttaa pitoisuuksien luotettavaa määrittämistä. (Ympäristöministeriö 2023, 50–53.)

5.4 Alkuaineiden perusteella tunnistaminen

Röntgenfluoresenssi (XRF) on tehokas analysaattori metallipitoisuuksien nopeaan analysointiin esimerkiksi maaperänäytteistä. Alun perin teollisuuden metalliseosten tutkimiseen kehitetty XRF-laitteisto on sittemmin laajentunut ympäristöanalytiikkaan, mahdollistaen myös hyvin pienten metallimäärien havaitsemisen. Laitte voidaan kalibroida eri näytematriiseille ja sen etuna on, ettei näyte vahingoitu mittauksen aikana, joten se voidaan käyttää myöhemmin tarkempaan laboratoriotutkimukseen, kuten HBCD-analyysiin. Mittauksen perusidea on havaita näytteestä tulevaa fluoresoivaa säteilyä. Kun röntgensäde osuu atomiin, se vapauttaa elektronin ja tilalle tulee toinen, jolla on enemmän energiaa. Jokaisella alkuaineella on oma tunnusomainen säteilyaallonpituutensa, joka mahdollistaa niiden erottelun. Koska mittausalue on pieni niin tarkkuutta parannetaan ottamalla useita mittauksia ja laskemalla niiden keskiarvo. Analysaattorin käyttö vaatii kuitenkin asianmukaisen perehdytyksen, sillä röntgensäteily voi olla terveydelle haitallista. Käytön yhteydessä on aina noudatettava säteilyturvallisuusmääräyksiä ja valmistajan ohjeita turvallisen työskentelyn varmistamiseksi. (Viskari, Kauranen, Nieminen, Nippala, Tuominen & Honkala 2018, 30–33.)

SSS-spektroskopia (sliding spark spectrometry SSS) on käsikäyttöinen analyysimenetelmä, jolla voidaan tunnistaa materiaalien bromi- ja klooripitoisuuksia. Tämä tekniikka muistuttaa XRF-mittausta, ja sitä sovelletaan erityisesti jätteiden erotteluprosesseissa. Mittauslaitte asetetaan tutkittavan esineen pinnalle, ja analyysi valmistuu sekunneissa. Jotta menetelmä tuottaisi tarkkoja tuloksia pinnoitettujen tai maalattujen kappaleiden kohdalla, pinta täytyy ensin rikkoa. Vaikka menetelmän teoreettinen määrittäysraja on 1 000 mg/kg, käytännössä raja asetetaan usein 10 000 mg/kg:aan, mikä riittää tunnistamaan ne muoviosat, joissa on tarkoituksellisesti käytetty bromattuja palonestoaineita. (Myllymaa ym. 2015, 60; Kauppi ym. 2019, 101.)

Röntgentransmissio (XRT) teknologia perustuu materiaalien optisten tiheyksien eroihin, joita hyödynnetään erottelussa. XRT on suunniteltu osaksi automaattista lajittelulinjaa, joka voi käsitellä jopa 1 000 kg jätettä tunnissa. Laitetta käytetään erottelemaan bromattuja palonestoaineita sisältävät muovit niistä, joissa niitä ei esiinny. (Kauppi ym. 2019, 103.)

LIB-spektroskopia (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy LIBS) on menetelmä, jossa laserpulssi suunnataan materiaalin pintaan muodostaen plasmapiilven, jonka säteilemä valo hajautetaan spektrometrissä ja analysoidaan kuva-anturilla. Tämä monipuolinen teknologia soveltuu erilaisten materiaalien alkuainekoostumuksen tunnistamiseen ja määrittämiseen, kattaen kiinteät aineet, nesteet ja kaasut. Vaikka LIBS on erityisesti suunniteltu kevyiden alkuaineiden analysointiin, sitä voidaan hyödyntää myös bromin tunnistamiseen muoveista, mukaan lukien mustat ja läpinäkyvät muovit. Menetelmä ei kuitenkaan ole tarkka bromipitoisuuksien määrittämisessä. Mittauksen herkkyyttä vaihtelee käytettävän laitteen mukaan, ja parhaimmillaan määrittäysraja voi olla jopa 1 mg/kg. (Norin, Oskarsson, Brodin, Halling & Sallermo 2020, 37.)

Tiheyserottelu / upotuskellutus menetelmä hyödyntää materiaalien tiheyseroja erottelussa sopivassa väliaineessa, kuten vedessä. Esimerkiksi muovien lajittelussa voidaan käyttää suolaliuoksia, joissa

eri suolapitoisuudet vaikuttavat muovien kelluvuuteen. Muovit uppoavat pohjalle, jos niiden tiheys ylittää liuoksen tiheyden, kun taas kevyemmät jäävät pinnalle. Tätä tekniikkaa voidaan soveltaa myös bromia sisältävien muovien erottamiseen murskeesta. (Ympäristöministeriö 2024, 133.)

Lähi-infrapuna-analyysin (NIR) avulla voidaan parantaa bromipitoisten muovien erottelua XRT, SSS-spektroskopia ja upotuskellutus menetelmissä. NIR pystyy tunnistamaan muovilaadun analysoimalla, miten eri polymeerit imevät ja heijastavat infrapunavaloa. Tämä mahdollistaa muovien automaattisen erottelun ilmavirran avulla käsittelylinjalla. Menetelmä soveltuu jatkuvatoimiseen lajitteluun ja auttaa tunnistamaan bromia sisältäviä muoveja, erityisesti POP-yhdisteitä sisältäviä laatuja, kuten PUR-, ABS- ja HIPS. Sen sijaan mustan muovin tunnistaminen NIR-menetelmällä on haastavaa. (Ympäristöministeriö 2016, 69.)

Fourier-muunnosinfrapunaspektroskopia (FTIR) tunnistaa molekyylien kemiallisia sidoksia analysoimalla niiden infrapuna-absorptiospektriä. Menetelmä perustuu kalibrointispektrien hyödyntämiseen, mikä mahdollistaa tiettyjen yhdisteiden tunnistamisen. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi palonestoainesten seulontaan. Lisäksi FTIR-menetelmää on kehitetty ftalaattien havaitsemiseen muovimateriaaleista. (Kauppi ym. 2019, 103.)

Raman-spektroskopia on menetelmä, jota hyödynnetään raaka-aineiden tunnistamisessa. Se perustuu molekyylien rakenteellisten ominaisuuksien analysointiin, mikä mahdollistaa myös bromia sisältävien palonestoaineiden havaitsemisen muovimateriaaleissa. (Kauppi ym. 2019, 103.)

6 POP-YHISTEET PURKU- JA SANEERAUSTYÖMAILLA

6.1 POP-jäte

POP-jätteillä tarkoitetaan jätteitä, joiden POP-yhdiste pitoisuudet ylittävät niille asetetut raja-arvot eli kaikki jätteet, jotka sisältävät POP-yhdisteitä eivät välttämättä ole POP-jätteitä. POP-asetuksessa on määritetty POP-yhdisteitä sisältäville jätteille kaksi eri pitoisuusrajaa, joista alempi pitoisuusraja on määritetty taulukossa 1. sarakkeessa IV ja ylempi pitoisuusraja sarakkeessa V. Mikäli jätteille asetettu alempi pitoisuusraja IV täyttyy tai ylittyy, on jätteet käsiteltävä menetelmillä, jotka POP-asetuksessa on määritetty. Jos ylempi pitoisuusraja V ylittyy, tulee jätteille lisärajoituksia asetuksen mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2024, 20.)

Taulukko 1. POP-yhdisteet ja niiden CAS-numerot sekä pitoisuusrajat jätteissä. Taulukossa esitetään liitteiden IV ja V sisältämät POP-yhdisteet ja niiden pitoisuusrajat. (Ympäristöministeriö 2024.)

Pysyvä orgaaninen yhdiste	CAS-numero	Alempi pitoisuusraja (POP-asetuksen liite IV) ≥	Ylempi pitoisuusraja (POP-asetuksen liite V) >
Aldriini	309-00-2	50 mg/kg	5 000 mg/kg
DDT	50-29-3	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Dikofoli	115-32-2	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Dieldriini	60-57-1	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Endosulfaani	115-29-7; 959-98-8; 33213-65-9	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Endriini	72-20-8	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Heksabromibifenyylä (HBB)	36355-01-8	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Heksabromisykloodekaani (HBCDD)	25637-99-4; 3194-55-6; 134237-50-6; 134237-51-7; 134237-52-8	500 mg/kg	1 000 mg/kg
Heksaklooribentseeni (HCB)	118-74-1	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Heksaklooributadieeni (HCBd)	87-68-3	100 mg/kg	1 000 mg/kg
Heksakloorisykloheksaanit (ml. lindaani) (HCH)	58-89-9; 319-84-6; 319-85-7; 608-73-1	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Heptakloori	76-44-8	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Kloridaani	57-74-9	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Klordekoni	143-50-0	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Lyhytketjuiset klooratut parafiinit (SCCP) (alkaanit C10-C13)	85535-84-8 ja muut	1 500 mg/kg	10 000 mg/kg
Mireksi	2385-85-5	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Pentaklooribentseeni	608-93-5	50 mg/kg	5 000 mg/kg
Pentakloorifenoli (PCP) ja sen suolat ja esterit	87-86-5 ja muut	100 mg/kg	1 000 mg/kg
Perfluoriheksaanisulfonihappo (PFHxS) ja sen suolat	355-46-4 ja muut	1 mg/kg	50 mg/kg
PFHxS:n kanssa samankaltaiset yhdisteet, pitoisuuksien summa		40 mg/kg	2 000 mg/kg
Perfluorioktaanihappo (PFOA) ja sen suolat	335-67-1 ja muut	1 mg/kg	50 mg/kg
PFOA:n kanssa samankaltaiset yhdisteet, pitoisuuksien summa		40 mg/kg	2 000 mg/kg
Perfluorioktaanisulfonihappo (PFOS) ja sen johdannaiset	1763-23-1; 2795-39-3; 29457-72-5; 29081-56-9; 70225-14-8; 56773-42-3; 251099-16-8; 4151-50-2; 31506-32-8; 1691-99-2; 24448-09-7; 307-35-7 ja muut	50 mg/kg	50 mg/kg
Polyklooratut bifenyylit (PCB)	1336-36-3 ja muut	50 mg/kg	50 mg/kg
Polyklooratut dibentso-para-dioksiinit ja dibentsofuraanit ja dioksiinien kaltaiset PCB-yhdisteet (PCDD/PCDF + DL-PCB)	Ei CAS-numeroa	5 µg TEQ/kg ¹⁾	5 000 µg TEQ/kg
Polyklooratut naftaleenit (PCN)	70776-03-3 ja muut	10 mg/kg	1 000 mg/kg
Tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja dekabromidifenyyleetteri (BDE), pitoisuuksien summa	tetra-BDE: 40088-47-9 ja muut penta-BDE: 32534-81-9 ja muut heksa-BDE: 36483-60-0 ja muut hepta-BDE: 68928-80-3 ja muut deka-BDE: 1163-19-5	500 mg/kg 30.12.2025 alkaen 350 mg/kg ¹⁾ 30.12.2027 alkaen 200 mg/kg ¹⁾	10 000 mg/kg
Toksafeeni	8001-35-2	50 mg/kg	5 000 mg/kg

POP-jätteiden luokittelussa olennaista on paitsi sen pitoisuusrajojen ylittäminen, myös se onko jäte luokiteltu jäteluettelossa vaaralliseksi vai vaarattomaksi. Vaikka jotkin jäteluettelon nimikkeet koskevat POP-jätettä ja ovat luokiteltu vaarattomiksi, niiden käsittelyyn sovelletaan silti EU:n POP-asetusta. Asetus koskee kaikkea POP-jätettä riippumatta sen virallisesta luokittelusta. Mikäli POP-

jätteen pitoisuus ylittää asetuksen liitteen IV raja-arvon, on se käsiteltävä määräysten mukaisesti siten, että haitalliset yhdisteet joko hävitetään kokonaan tai muunnetaan palautumattomasti vaarattomaan muotoon. POP-jätteen kierrättäminen on kokonaan kielletty, ja sen käsittelyssä on noudatettava tiukkoja ympäristöturvallisuusvaatimuksia. (Ympäristöministeriö 2019, 44.)

6.2 Rakennusmateriaaleissa yleisimmin esiintyvät POP-yhdisteet

Pysyviä orgaanisia yhdisteitä esiintyy erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, joissa on rakentaessa tai saneeratussa käytetty laajalti eri rakennusmateriaaleja, jotka sisältävät POP-yhdisteitä. Näihin lukeutuvat muun muassa eristeet, saumausmassat, palotiivisteet sekä erilaiset sähkö- ja elektroniikkalaitteet. POP-yhdisteitä voi löytyä vielä 2020 vuonna rakennettujen talojen muovisista eristemateriaaleista. (Ympäristöministeriö 2023, 27–28.) Tämän osion alaluvuissa käsitellään yleisimmin rakennusmateriaaleissa esiintyviä POP-yhdisteitä. Lisäksi käsitellään yhdisteiden tyypillisiä käyttötarkoituksia sekä esiintymiskohteita rakennuksissa. Yhdisteitä koskevat pitoisuusrajat IV ja V esitetään taulukossa 1.

POP-yhdisteitä todennäköisesti sisältävä rakennusten purkujäte	Mahdollinen POP-yhdiste	Jäteluettelon jätenimike
Betonielementtien sekä ikkunoiden ja ovien saumausmassat:		
• 1950–1970-luvuilla rakennetuista ja julkisivusaneeratuista rakennuksista	PCB	17 09 02*
• 1960–1990 luvuilla rakennetuista ja julkisivusaneeratuista rakennuksista	SCCP	17 06 03*, 17 06 04
EPS- ja XPS-eristeet (lukuun ottamatta routaeristeitä) 1980–2017 rakennetuista rakennuksista	HBCDD	17 06 03*, 17 06 04, (sandwich-elementit: 17 01 01)
Rakennuksista puretut muut muovit:		eristeet:
• 1970–2020 rakennetuista rakennuksista:	BDE-yhdisteet	17 06 03*, 17 06 04
– Muoviset eristemateriaalit; esimerkiksi lämpöeristeet (muut kuin EPS ja XPS), lämmitysputkien ja ilmastointijärjestelmien eristeet		sähkö- ja elektroniikkalaitteiden muoviosat:
– Puuta matkivat materiaalit		16 02 15*, 16 02 16
– Äänieristeet		muut muovit:
– Sähköjohtojen ja kaapelien läpivientikanavat, ilmanvaihtokanavat	BDE-yhdisteet	17 02 03,
• Rakennusten sähkö- ja elektroniikkalaitteiden muoviosat, kuten johdot ja jakorasiat	HBCDD	17 02 04*
• Rakennusten sähkö- ja elektroniikkalaitteiden PVC-muovista valmistetut osat, ennen vuotta 2013 valmistetut	SCCP	
Ennen vuotta 2016 valmistetut teollisuuden hihnakuljettimet (erityisesti kaivosteollisuudesta)	SCCP	16 02 13*, 16 02 14
Patotiivisteet (ennen vuotta 2016 valmistetut)	SCCP	17 06 03*, 17 06 04

Kuva 4. Yhteenveto rakennusten purkujätteistä, jotka tulisi lähtökohtaisesti erotella POP-jätteeksi, ellei muuta tietoa ole saatavilla materiaalien yhdiste pitoisuuksista. (Ympäristöministeriö 2024, 160)

6.2.1 BDE

BDE eli bromidifenyylieetteriyhdisteet ovat muovipohjaisia materiaaleja, joista 5 eri yhdistettä luokitellaan POP-yhdisteiksi (tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja dekabromidifenyylieetterit) yhdisteet eroavat toisistaan liittyneiden bromiatomien määrän perusteella, mikä määrittää niiden luokittelun eri BDE-kongeneeriryhmiin. (Ramboll 2019, 55.)

Yhdisteitä on hyödynnetty palonsuoja-aineina monissa rakennusmateriaaleissa, sitä on lisätty muun muassa puuta jäljitteleviin komposiittimateriaaleihin, äänieristyslevyihin sekä eristeisiin kuten polyeteenivaahtoon ja PVC-nitriilikumiseoksiin, joita käytetään lämmitysputkien ja ilmanvaihtojärjestelmien eristämässä. Rakennusten sähkö- ja elektroniikkalaitteissa BDE-yhdisteitä on käytetty johtojen, jakorasioiden ja erilaisten muoviosien palonsuojauksessa. BDE-yhdisteitä alettiin käyttää 1960-luvulla, ja niiden käyttöajat vaihtelivat yhdistetyypin mukaan. Tetra-, penta-, heksa- ja heptabromidifenyylieetteri yhdisteiden käyttö rakennusmateriaaleissa päättyi vuonna 2004, kun taas deka-BDE:n käyttö jatkui vuoteen 2019 asti. Dekabromidifenyylieetterin käyttö kuitenkin lopetettiin aikaisemmin rakennusten SE-laitteistoissa vuonna 2008. Rakennusten pitkäikäisyyden takia muovipohjaisissa purkumateriaaleissa arvioidaan olevan deka-BDE-yhdistettä vielä 2060-luvulle asti. (Ympäristöministeriö 2024, 164; Ympäristöministeriö 2023, 31–32)

6.2.2 HBB

Heksabromibifenyliä (HBB) käytettiin aiemmin palonestoaineena muun muassa lämpöä kestävässä muoveissa, kuten ABS-muovissa, elektroniikkaosissa, ajoneuvojen pinnoitteissa sekä polyuretaanivaahdoissa. Lisäksi sitä on voinut esiintyä myös lakoissa. HBB:n käyttö kuitenkin väheni merkittävästi jo 1980-luvulla, kun se korvattiin bromidifenyylieettereillä. EU:n POP-asetus kielsi HBB:tä sisältävien tuotteiden markkinoille tuonnin vuonna 2004, eikä yhdistettä nykyään enää tavallisesti esiinny esimerkiksi romuajoneuvoissa tai elektroniikkaromussa. POP-asetuksen liitteessä I ei ole määritetty HBB:lle erityistä tahattoman jäämän pitoisuusrajaa, ja aineen käyttö on kokonaan kielletty. (Ympäristöministeriö 2024, 114; Ympäristöministeriö 2016, 38).

6.2.3 HBCDD

Heksabromisyklododekaani (HBCDD) on bromattu palonsuoja-aine, jota on käytetty rakennuksissa palonsuojaukseen erityisesti eristemateriaaleissa. Ainetta on hyödynnetty laajasti muun muassa EPS- ja XPS-eristeissä, pakkauksissa, muoveissa, kuten HIPS-muovissa sekä erilaisissa tekstiileissä. HBCDD tuli markkinoille 1960-luvun lopulla, mutta Suomessa sen käyttö aloitettiin kuitenkin vasta vuonna 1980, ja sen käyttö lopetettiin vuosien 2015 ja 2016 välillä. Aineen on todettu aiheuttavan vakavia terveyshaittoja, kuten häiriöitä hormonitoiminnassa ja vaurioita kilpirauhasen sekä maksan toimintaan. Näiden vaikutusten vuoksi HBCDD kiellettiin maailmanlaajuisesti Tukholman yleissopimuksen päätöksellä vuonna 2013. EU:ssa HBCDD:n käyttöä rajoitettiin vuonna 2016, mutta sen käyttö rakennusten EPS-eristeissä sallittiin siirtymäajalla REACH-asetuksen luvalla elokuuhun 2017 saakka. Muu käyttö oli korvattu jo aiemmin polymeeripohjaisella palonsuoja-aineella. EU:n arvion mukaan HBCDD:tä sisältävää jätettä syntyi vuoteen 2017 mennessä noin 23 miljoonaa tonnia, ja se tulee käsitellä pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevien vaatimusten mukaisesti POP-jätteenä. (Viskari ym. 2018, 11–13.)

Mikäli bromattuja palonsuoja-aineita sisältävien muoviosien manuaalinen erottelu on tarpeen, on suositeltavaa kohdistaa tämä etenkin rakennuksiin, jotka on valmistettu vuosina 1980–2017, koskien

erityisesti EPS- ja XPS-eristeitä, sekä vuosien 1970–2020 rakennusten muihin muovisiin purkuosiin. Eristemateriaalit, jotka sisältävät HBCDD-yhdistettä, on lajiteltava erilleen muista rakennusjätteistä ja toimitettava suoraan polttolaitokseen, jolla on virallinen hyväksyntä tämän tyyppisten jätteiden käsittelyyn. Käsittelyn ja lajittelun kannalta haasteellisia ovat niin sanotut sandwich-elementit, joissa pa-loeriste on kiinnitetty betonikuoreen. Näistä EPS- ja XPS-eristeistä muodostuu merkittävin jätevirta, joka sisältää heksabromisyklododekaania kuvassa 5. on esitetty kyseisten eristeiden käyttöä erilaisissa rakennuksissa ja rakenneosissa. POP-asetuksen liitteen I mukaisesti aineet, seokset ja palonsuojaukseen tarkoitetut osat saavat sisältää HBCDD:tä tahattomana jäämänä korkeintaan 75 mg/kg (0,0075 % painosta). Kyseistä yhdistettä on käytetty laajasti paisutetun ja suulakepuristetun polystyreeni eristeissä, joita on hyödynnetty muun muassa seinä- ja julkisivueristeinä betonirakenteissa, harkko- ja tiilirakenteissa sekä betoni-sandwich-elementeissä, tuulettuvan alapohjan tuulettustilaa vasten asennetuissa eristeissä ja kattoeristeinä sekä tuulettuissa että tuulettumattomissa yläpohjarakenteissa. (Viskari ym. 2018, 14–21, 24, 57–58; Ympäristöministeriö 2024, 95–96, 114, 160, 163; Asetus 2019/1021/EU, artikla 4, liite I.)

Talotyyppi/ rakennusosa	Ala- pohja	Väli- seinät	Ylä- pohja	Ulko- seinä	Sokkeli- eriste	Routa- eriste
Omakotitalot	0	0	0	0	0	0
Rivitalot	0	0	0	0	0	0
Asuinkerrostalot	0	0	*	0	0	0
Liike	0	-	***	***	0	0
Toimisto	0	-	**	**	0	0
Hoitoala	0	0	*	**	0	0
Kokoontumistilat	0	0	*	**	0	0
Opetus	0	0	*	**	0	0
Teollisuus	0	0	***	***	0	0
Varasto	0	0	***	***	0	0
Liikenteen	0	0	***	***	0	0
Muut	0	0	0	*	0	0

merkkien selitys:

- 0 = ei käytetty
- * = vähäinen käyttö
- ** = käytetään
- *** = merkittävä käyttö
- = ei tietoa

Kuva 5. Suomessa vuosina 1980–2016 HBCDD palonsuojattujen XPS- ja EPS-eristeiden käyttö eri talotyypeissä/rakennusosissa. (Viskari ym. 2018, 21.)

6.2.4 PCB

Polyklooratut bifenyylit tunnetummin PCB:lle voi altistua erityisesti vanhojen rakennusten purku- ja kunnostustöissä, joissa käsitellään saumausmassoja ja muita PCB:tä sisältäviä materiaaleja. Näitä yhdisteitä on käytetty laajasti eri rakennusmateriaaleissa, kuten betoneissa, ikkunoiden- ja ovenkarmiivisteissä, maaleissa, lakoissa, liimoissa ja laasteissa aina vuodesta 1929 vuoteen 1990, jolloin yhdisteen käyttö kiellettiin. (Zhu, Lonka, Tähtinen, Anttonen, Isokääntä, Knuutila, Lahdensivu, Mahiout, Mäntylä, Raimovaara, Rantio, Santonen & Teittinen 2022, 81–82.)

PCB-yhdisteet ovat huonosti haihtuvia ja niille altistuminen voi tapahtua ihon, hengityksen tai ruuansulatuskanavan kautta erityisesti silloin kun materiaaleja työstetään, kuitenkin suurin altistuminen tulee ravinnon kautta. Pitkäaikainen altistus voi vaikuttaa haitallisesti terveyteen esimerkiksi heikentämällä immuunijärjestelmää ja häiritsemällä hormonitoimintaa. Yhdisteet ovat erityisen ongelmallisia, koska ne kertyvät elimistöön ja niiden puoliintumisaika voi olla useita vuosia. PCB-yhdisteet on luokiteltu todennäköisesti syöpää aiheuttaviksi ihmisille Kansainvälisen syövätutkimusjärjestön (IARC) toimesta. (Kauppi ym. 2019, 43; Zhu ym. 2022, 81–82.)

6.2.5 PFAS

PFAS-yhdisteet eli per- ja polyfluoratut alkylyiyhdisteet muodostavat laajan kemikaaliryhmän, joka sisältää tuhansia erilaisia rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan vaihtelevia aineita. Näihin yhdisteisiin kuuluu sekä täysin fluorattuja (per-) että osittain fluorattuja (poly-) orgaanisia kemikaaleja. Fluoripolymeerit, jotka ovat yksi PFAS-yhdisteiden pääluokista, jaetaan kolmeen alaryhmään: fluoripolymeerit, sivuketjulliset polymeerit sekä perfluoripolyeetterit. Erityisen tunnettuja PFAS-aineita ovat perfluorialkylihapot (PFAA), joihin kuuluvat muun muassa PFOS (perfluorioktaanisulfonihappo) ja PFOA (perfluorioktaanihappo). Näiden yhdisteiden käyttö yleistyi 1940- ja 1950-luvuilla, ja ne olivat pitkään laajassa teollisessa käytössä. Sitten on tunnistettu, että niillä voi olla merkittäviä terveysvaikutuksia, esimerkiksi maksaan ja munuaisiin kohdistuvaa myrkyllisyyttä, lisääntymis- ja kehityshäiriöitä, immuunijärjestelmän ja kilpirauhasen toiminnan häiriöitä sekä yhteyttä kohonneeseen kolesterolitasoon ja tiettyihin syöpiin. (Perkola, Mehtonen, Juntila, Reinikainen, Ahkola, Seppälä, Fjäder & Juonen. 2023, 3, 7.)

PFAS-yhdisteitä on hyödynnetty laajalti, erityisesti niiden kemiallisen ja lämpötilakestävyyden sekä vettä, rasvaa ja likaa hylkivien ominaisuuksiensa vuoksi. Näitä aineita on käytetty muun muassa rakennusmateriaaleissa, kaapeleissa, johdoissa sekä useissa teollisuuden ja kuluttajien tuotteissa. Terveys- ja ympäristöriskien vuoksi PFOS lisättiin vuonna 2009, ja PFOA vuonna 2019 kansainvälisesti rajoitettavien aineiden listalle osana Tukholman yleissopimusta. PFAS-yhdisteitä säädellään myös EU:n kemikaalilainsäädännön, kuten REACH-asetuksen ja eri direktiivien kautta. Rajoitusten seurauksena valmistajat ovat alkaneet siirtyä käyttämään lyhytketjuisia PFAS-yhdisteitä alkuperäisten tilalla. (Perkola ym. 2023, 11–12; Kauppi ym. 2019, 28.)

6.2.6 SCCP

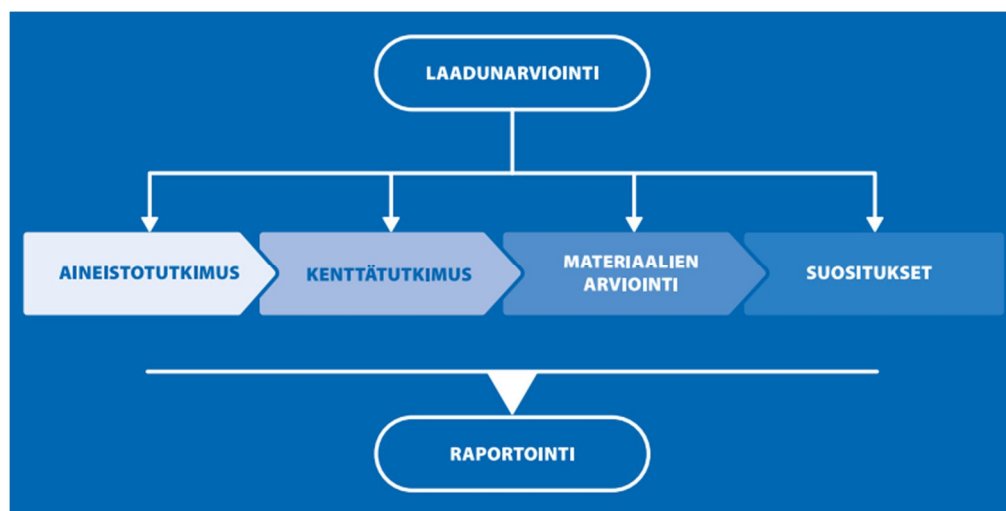
Lyhytketjuiset klooriparafiinit eli SCCP-yhdisteitä on hyödynnetty monipuolisesti eri materiaaleissa ja tuotteissa, erityisesti niiden paloa hidastavien ominaisuuksien vuoksi. Näitä yhdisteitä on käytetty muun muassa muoveissa, kumituotteissa, tekstiilimateriaaleissa, liimoissa, saumausmassoissa, maaleissa ja erilaisissa pinnoitteissa. Sähkö- ja elektroniikkalaitteissa SCCP:tä on lisätty esimerkiksi

PVC-pohjaisiin kaapeleihin ja sähkörasioihin, joissa se on toiminut sekä pehmentimenä että palon-
suoja-aineena. Lisäksi sitä on esiintynyt tietyissä polymeerituotteissa, kuten polyuretaani-, polyakry-
laatti- ja polysulfidimateriaaleissa. POP-asetuksen liitteessä I säädetään, että SCCP-yhdisteitä sisäl-
tävien aineiden ja seosten käyttö, valmistus ja myynti on sallittua, jos yhdisteen tahattoman määrän
pitoisuus on alle yksi prosentti kokonaispainosta. Vastaavasti esineiden osalta nämä toiminnot ovat
sallittuja, kun SCCP:n määrä ei ylitä 0,15 prosentin rajaa. (Ympäristöministeriö 2024, 119, 164.)

SCCP-yhdisteet todettiin POP-yhdisteiksi ja lisättiin POP-asetukseen vuonna 2012. SCCP-yhdis-
teillä korvattiin sauma-aineissa aikaisemmin käytettyä PCB-yhdistettä, joka poistettiin myös niiden
haitallisuuden ja POP-yhdisteiksi luokittelun takia. Suomessa on havaittu historiallisen korkeat pitoi-
suudet, jopa 30 % (300 000 mg/kg) erityisesti 1970–1980-luvuilla rakennettujen elementtirakennus-
ten julkisivujen ja ikkunakarmien saumaussmassoissa. EU:ssa SCCP:n käyttö saumaussaineissa ole-
tetaan päättyneen 2000-luvulla, mutta edelleen 1960–1990-luvuilla valmistetuissa rakenteissa kuten
betonielementtien saumaussmassoissa ja lämpölasi ikkunoiden liimoissa voi olla jäljellä merkittäviä
määriä. Lisäksi SCCP:tä on käytetty myös pinnoitteissa, jotka parantavat tuotteiden elastisuutta
sekä tarjoavat veden-, sään- ja korroosionkestävyyttä. Terveysriskien osalta SCCP-yhdisteiden on
todettu olevan syöpävaarallisia, ja eläinkokeissa on havaittu haitallisia vaikutuksia erityisesti mak-
saan, munuaisiin, kilpirauhaseen sekä todettu sikiövaurioita. (Kauppi ym. 2019, 31; Ympäristöminis-
teriö 2024, 161.)



6.3 Ennakkoselvitykset ja riskien arviointi ennen purku- ja saneeraustöitä

Purkutyöt kuuluvat rakennusalan riskialtimpiin työvaiheisiin, ja niiden turvallinen toteutus edellyttää
huolellista suunnittelua sekä vaarojen ja riskien tunnistamista. Turvallisuuden varmistaminen alkaa
jo hankkeen alkuvaiheessa, ja siihen osallistuvat sekä tilaaja että päätoteuttaja yhdessä purkutyötä
suorittavien kanssa. Tilaajan vastuulla on tuoda esiin hankkeeseen liittyvät tunnetut vaaratekijät, kun
taas päätoteuttajan tehtävänä on varmistaa, että purkutyöt suunnitellaan ja toteutetaan turvallisesti
kaikissa olosuhteissa. (Lehtonen 2019, 10).



Kuva 6. Purkukartoitukseen sisältyvät vaiheet. (Hradil ym. 2019, 19.)

Ennen kohdekäyntiä tai sen aikana on tärkeää perehtyä huolellisesti purettavan rakennuksen dokumentaatioon. Erityisesti suunnitteluasiakirjoista, kuten teknisistä piirustuksista ja materiaaliuutteista, voi saada arvokasta tietoa. Tavoitteena on muodostaa alustava käsitys käytetyistä materiaaleista, niiden määristä ja mahdollisista haitta-aineista, arvioida rakennuksen ikää, rakennustapaa ja liitoksia. Lisäksi asiakirjojen avulla voidaan suunnitella kenttätutkimuksen sisältö ja laajuus tehokkaammin. Merkittävä osa purkuprosessin turvallisuutta ja laatua on kattava purkukartoitus, joka sisältää haitta-ainekartoituksen ja -tutkimukset sekä selvityksen syntyvistä purkumateriaaleista. Kartoituksen avulla voidaan ennakoida riskejä, havainnoida mahdolliset haitta-aineet rakenteissa ja materiaaleissa ennen purkutöiden aloittamista. Osana tätä prosessia käytetään kenttäanalysointoreita mahdollisten vaarallisten aineiden tunnistamiseen, ja kerätään tarvittaessa näytteitä laboratoriotesteihin. (Hradil ym. 2019, 13, 20, 23.) Asbesti- ja haitta-ainetutkimuksista/kartoituksista sekä erilaisista kenttätutkimusmenetelmistä on kerrottu tarkemmin osiossa 5. POP-yhdisteiden tunnistus.

Hankkeen vaihe	Hankesuunnittelu	Rakennesuunnittelu	Työvaihesuunnittelu		Toteutusvaihe	
 Suunnitelma tai selvitys	Purkukartoitus <ul style="list-style-type: none"> Asbesti- ja haitta-ainekartoitus ja -tutkimukset Purkumateriaaliselvitys 	Purkutyöselostus <ul style="list-style-type: none"> Rakenteiden purkutapaselostus Suojasuunnitelmat Ympäristöhaittojen ehkäisy Purkupiirustukset 	RAKENNUS- TAI PURKAMISLUVAN HAKEMINEN	Purkus suunnitelma <ul style="list-style-type: none"> Purkutyösuunnitelma <ul style="list-style-type: none"> Purkutapasuunnitelmat Suojaukset Pölyn- ja meluntorjunta 	Työvaiheikataulu	
	Purku-urakan urakkaohjelma	Erikoissuunnitelmat <ul style="list-style-type: none"> LVIS-suunnitelmat 		Työmaan aluesuunnitelma <ul style="list-style-type: none"> Tehtäväsuunnitelmat 		
	Turvallisuusasiakirja			Jätehuoltosuunnitelma (laatija voi olla päätoteuttaja tai purku-urakoitsija)		
 Suunnitelman laatija/ selvityksen tilaaja	Rakennuttaja, hankkeeseen ryhtyvä	Rakennesuunnittelija, erikoissuunnittelijat		Yleisaikataulu	Selvitys purkujätteistä	
				Päätoteuttaja	Purku-urakoitsija	Purku-urakoitsija (pätoteuttaja)

Kuva 7. Purkutöitä edeltävä valmistelu ja taustaselvitykset. (Lehtonen 2019, 27.)

Rakennus- tai purkutöihin ryhtyvän on ennen työn aloittamista laadittava selvitys, jossa esitetään arvio syntyvistä purkumateriaaleista ja jätteistä. Selvitys liitetään osaksi purkamisilmoitusta tai -lupaa paitsi silloin kun kyseessä on niin pieni hanke, ettei merkittäviä määriä purkujätettä synny. Työn päätyttyä alkuperäinen selvitys on täydennettävä lopullisilla tiedoilla, joista ilmenee kuinka paljon jätettä syntyi, minne se toimitettiin ja miten se käsiteltiin. Velvollisuus näiden tietojen ilmoittamisesta valtakunnalliseen rekisteriin kuuluu rakentamishankkeeseen ryhtyvälle, ja ilmoitus tehdään Suomen ympäristökeskuksen tietojärjestelmään. (Rakentamislaki 751/2023 16 §.)

6.4 POP-jätteiden purkaminen ja käsittely työmaalla

Purkutöitä toteutetaan rakennesuunnittelijan laatiman purkutyöselostuksen mukaisesti, jossa on arvioitu rakennuksen nykytila, määritelty purettavat osat sekä valittu sopivat ja turvalliset purkumenetelmät. Selostuksessa otetaan huomioon rakenteiden kantavuus purkutöiden aikana sekä turvallisuusnäkökohdat, niin työmaan henkilöstön kuin ympäristön osalta. Näiden suunnitelmien avulla varmistetaan, että purkutöitä voidaan suorittaa turvallisesti ja voimassa olevien säädösten mukaisesti. (Kauppi ym. 2019, 38.)

Haikka-aineiden poistaminen rakennuksista tulisi suorittaa ennen itse rakenteiden purkamista, tai vaihtoehtoisesti purkutyöalue tulisi eristää muulta työskentelyltä purkamisen ajaksi. Tällaisten purkutöiden suorittamisesta, kuuluu tehdä ilmoitus työsuojeluviranomaisille. Purkaminen täytyy suorittaa haikka-aineita sisältäville rakenteille ja materiaaleille haikka-aineita koskevilla purkumenetelmillä. Purkutyön menetelmät tulee valita sen mukaan, minkä tyyppisistä rakenteista/materiaaleista on kyse, sekä kohteen koosta ja purkutyön ympäristön vaikutuksista. Työskentelyssä tulee ottaa huomioon paitsi purkutöitä tekevä henkilöstö myös rakennuksen muut käyttäjät ja mahdollisesti ympäristön muut kohteet, jotka voivat altistua haitallisille aineille. Purkutyön aikana voi kuitenkin ilmetä haikka-aineita, joita ei ole havaittu haikka-ainekartoituksissa, joten purkutyön suunnittelussa on syytä varautua tällaisiin mahdollisiin yllätyksiin aikataulujen ja toimintatapojen osalta. Purkutyön aikana on aina käytettävä asianmukaisia suojavausteita, kuten suojavaatteita ja hengityssuojaimia, joiden osalta varmistettava niiden kunto ja suojaustaso koko työn ajan. Haitallisia aineita sisältävien rakenteiden purkamisessa yleinen menetelmä on osastointi, mutta käytössä voi olla myös muita vaihtoehtoja, kuten purkupussimenetelmä tai rakenteen poistaminen kokonaisuudessaan. Pölynpoisto ja ympäristön suojaaminen valitaan sen mukaan, kuinka paljon haitallisia aineita purkamisesta vapautuu ja millainen ympäristö on kyseessä. Purkutyön onnistuminen tulee varmistaa tarvittaessa mittauksilla, jotta mahdolliset riskit voidaan minimoida. (Lehtonen 2019, 42–43, 52.)

Erialaisten rakenteiden purkaminen vaatii oikeanlaiset purkumenetelmät esimerkiksi purettaessa PCB-yhdisteitä sisältäviä saumaussmassoja on käytettävä menetelmää, joka ei aiheuta pölyämistä. Saumaussmassan poisto pyritään toteuttamaan mahdollisimman ehjinä kappalein. Mikäli saumaussmassat joudutaan kuitenkin hiomaan elementtien reunoista, tulee hiomakoneessa olla tehokas kohdepoistomuri käytössä. Purettaessa on käytettävä suojaimina kemikaalisuojakäsineitä, koska PCB-yhdisteet ovat erittäin myrkyllisiä ja imeytyvät ihon läpi. Hiottaessa käytössä oltava suojavaate ja P3+A3 suodattimella varustettu hengityssuojain. (RatuTT 08-00495 Rakennusalan kemikaalien turvallinen käsittely 2005.)

Asbestipurkumenetelmä valitaan purkutyön kohteena olevan rakenteen mukaan, ottaen huomioon esimerkiksi materiaalin laatu, koko, sijainti, muoto, asbestipitoisuus ja pölyävyys. Purkutyö pyritään toteuttamaan mahdollisimman vähäpölyisesti altistumisen ehkäisemiseksi. Asbestia sisältävät materiaalit poistetaan yleensä ennen muiden purkutöiden aloittamista. Jos työmaan aikana havaitaan asbestia, purkutöitä keskeytetään ja tilanne käsitellään asbestipurkutyön vaatimusten mukaisesti ennen töiden jatkamista. Asbestipurkutöissä käytettäviä menetelmiä ovat osastointimenetelmä, purkupussimenetelmä, kohdepoistomenetelmä, ehjinä poistaminen ilman ilmanvaihtoa, koko rakennuksen purku sekä upotusmenetelmä. Purkupussimenetelmää käytetään yleensä pienissä, rajatuissa, lyhytaikaisissa ja ennakoimattomissa asbestipurkutöissä. Kohdepoistomenetelmä sopii pieniin ja lyhytkestoisiin purkutöihin, joissa pöly ja hienojakoinen purkujäte kerätään suoraan työalueelta. Sitä hyödynnetään myös pölyn keräämiseen osastointimenetelmän aikana, ja kohdepoistomenetelmät jaetaan matala- ja korkeapaineisiin alipainejärjestelmiin laitteiden ja alipaineen mukaan. Asbestituotteiden poistaminen ehjinä ilman ilmanvaihtoon perustuvaa eristystä on käyttökelpoista vain rajatuissa ulkopurkutöissä. Pölyn leviämistä rajoitetaan suihkuttamalla vesisumua tai vaahtoa, johon on lisätty pintajännitystä alentavia lisäaineita. Irrotetut asbestikappaleet pakataan ehjinä tiiviisiin jäteastioihin. Koko rakennuksen purku, jossa asbestia on, tehdään erityiskohteissa, joissa poistetaan kokonainen rakennus. Pölyn leviämisen estämiseksi käytetään vesisumua tai vaahtoa, joihin on lisätty

pintajännitystä alentavia kostutus- tai pölynsidonta-aineita. Uputusmenetelmässä irrotettu asbestirakenne suojataan ja kuljetetaan upotusaltaaseen, jossa asbesti poistetaan. Altaassa on kohdepoisto, ja ilmanvaihto estää pölyn leviämisen. Kostutuksessa käytetään pinta-aktiivisuutta alentavaa ainetta. (RatuTT 09-00847 Asbestia sisältävien rakenteiden purku 2010.)

Asbestia sisältävän julkisivumaalin ja -pinnoitteen poistossa työt tehdään peitetyiltä telineiltä siten, että asbestipitoiset hiukkaset eivät pääse leviämään ympäristöön. Alapuolinen alue suojataan tiiviisti, ikkunat peitetään ja julkisivuvarusteet suojataan tai irrotetaan. Pinnat kostutetaan pölyn leviämisen estämiseksi, ja rakennuksen ilmanvaihto suljetaan puhdistustyön ajaksi, jotta pöly ei leviäisi sisätiloihin. Sopivia poistomenetelmiä ovat märkähiekkapuhallus, piikkaaminen ja poistaminen maalinpoistoaineella. Märkähiekkapuhalluksessa alue pidetään työvapaana muilta, eikä suojaamattomia henkilöitä saa liikkua siellä. Työ tehdään ylhäältä alas, ja puhallettu pinta huuhdellaan painepesulla. Märkä puhallushiekka kerätään tiiviisti astioihin tai jätelavalle ja toimitetaan asbestijätteenä kaatopaikalle. Telineet sekä alapuolinen alue puhdistetaan vedellä, eikä kuivaharjausta käytetä. Piikkaus voidaan tehdä käsin tai käyttämällä paineilma- tai sähköllä toimivaa piikkausvasaraa. Työssä pölyn leviämisen estämiseksi käytetään tehokasta kohdepoistoa, johon kuuluu korkeapaineinen imuri varustettuna esierottimella ja HEPA-suodattimella. Irrotettu asbestipitoinen materiaali imuroidaan suoraan tiiviiseen säiliöön, jossa pöly pysyy hallinnassa. Maalinpoistoaineita käytettäessä noudatetaan aina valmistajan ohjeita työn turvallisuuden ja ympäristön suojaamiseksi. Ennen laajempaa käsittelyä tehdään koepoisto aineen toimivuuden ja olosuhteiden varmistamiseksi. Poistoaine levitetään pinnalle, ja pehmennyt pinnoite poistetaan kuumalla painevedellä. Tarvittaessa pesutehoa tehostetaan hiekan avulla. (RatuTT 09-00847 Asbestia sisältävien rakenteiden purku 2010.)

Jätteen tuottajalla sekä haltijalla on velvollisuus estää, mikäli mahdollista jätteen saastuminen pysyvillä orgaanisilla yhdisteillä. Tämän vuoksi POP-jätteen käsittelyn tulee ensisijaisesti olla järjestetty siten, että käsittelyprosessissa syntyvä muu jäte ei missään vaiheessa saastu POP-yhdisteillä. (Ympäristöministeriö 2024, 27). Laadultaan tai lajiltaan erilaiset jätteet on jätehuollossa pidettävä erillään silloin, kun se on tarpeen terveyden tai ympäristön suojelemiseksi, jätehuollon etusijajärjestyksen toteuttamiseksi tai jätehuollon asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi, edellyttäen että erottelu on teknisesti toteutettavissa ja taloudellisesti järkevää. Jätteiden käsittelyssä tulee noudattaa jätehierarchyä aina kun se on mahdollista. Ensisijaisena tavoitteena on minimoida syntyvän jätteen määrä sekä sen mahdolliset haitalliset vaikutukset. Mikäli jätettä syntyy, sen ensisijainen käsittelyvaihtoehto on valmistella se uudelleenkäyttöön. Toisena vaihtoehtona on kierrätys, ja jos kierrätys ei ole toteutettavissa jäte tulisi hyödyntää muilla tavoin esimerkiksi energiantuotannossa. Viimeisenä vaihtoehtona on jätteen toimittaminen asianmukaiseen loppukäsittelyyn, jos sen hyödyntäminen ei ole mahdollista. (Jätelaki 8 §, 15§.)

6.5 POP-jätteitä koskevia velvoitteita

Kansallisessa lainsäädännössä on olemassa velvoitteita, jotka koskevat POP-jätteiden käsittelyä. Näillä pyritään varmistamaan, ettei jätteistä koidu haittaa ihmisille tai ympäristölle.

Selvällä olovelvollisuudesta säädetään jätelaissa, ja sillä tarkoitetaan velvoitetta tuntea jätteen sellaiset ominaisuudet, joilla on merkitystä jätehuollon järjestämisen kannalta. Tämä kattaa myös tiedon siitä, sisältääkö jäte POP-yhdisteitä, koska niiden jätehuolto eroaa muista jätteistä erityisvaatimusten vuoksi. POP-yhdisteiden esiintyminen jätteessä on näin ollen yksi niistä keskeisistä ominaisuuksista,

joista jätteen haltijan tulee olla selvillä. Lain mukaan jätteen haltijalla tarkoitetaan henkilöä tai tahoa, jonka hallussa jäte kulloinkin on tämä voi olla esimerkiksi jätteen alkuperäinen tuottaja, kiinteistön haltija tai muu ketjun toimija. Selvilläolovelvollisuus koskee siten jokaista tahoa, joka jossakin vaiheessa käsittelee jätettä. Jokaisen osapuolen vastuulla on tunnistaa mahdollinen POP-jäte tarkasti omassa toiminnassaan, jotta se voidaan ohjata asianmukaiseen käsittelyyn. Tarkka tunnistaminen ei ainoastaan edistä turvallista jätehuoltoa vaan auttaa myös välttämään tilanteet, joissa suuria määriä POP-yhdisteistä vapaata jätettä ohjautuu tarpeettomasti loppukäsittelyyn, tai käsitellään samoin kuin varsinainen POP-jäte. (Ympäristöministeriö 2024, 39; Jätelaki 12 §.)

Kirjanpito- ja tiedonantovelvollisuus jätelain mukaan koskee useita toimijaryhmiä, kuten jätteen tuottajia, jätteen ammattimaisia tai laitospohjaisia käsittelijöitä, ympäristöluvanvaraista toimintaa harjoittavia tahoja sekä jätteen kuljettajia, kerääjiä ja välittäjiä. Tämä velvoite kattaa myös elintarviketeollisuuden toimijat, jotka toimivat ilmoituksenvaraisesti, mutta ei kuitenkaan ulotu kotitalouksiin. Kirjanpidossa on oltava toiminnan laajuuden ja luonteen mukaisesti yksityiskohtaiset tiedot muun muassa jätteiden lajista, laadusta, määrästä, alkuperästä ja toimituspaikasta sekä jätteen kuljetus- ja käsittelytiedoista. POP-jätteisiin liittyvää kirjanpitovelvoitetta on tarkennettu jäteasetuksen luvuissa, joissa 33 § käsitellään -tuottajan, 36 § -käsittelijän ja 38 § jätteen kuljettajan näkökulmista. Näissä edellytetään, että kirjanpitoon merkitään edellä mainittujen tietojen lisäksi myös tarkat tiedot siitä, mitä pysyviä orgaanisia yhdisteitä jäte sisältää, sekä jokaisen luvun omat vaatimukset. Näin varmistetaan POP-jätteen asianmukainen seuranta koko jätehuoltoketjun ajan, ja täytetään lain edellyttämät raportointivaatimukset. (Ympäristöministeriö 2024, 41–42; Jätelaki 118–119 §; Asetus 2021/978 33 §, 36 §, 38 §.)

Siirtoasiakirjavelvollisuus koskee POP-jätteitä, ja sen mukaan jätteen haltijan on laadittava siirtoasiakirja aina, kun tällaista jätettä siirretään ja luovutetaan eteenpäin vastaanottajalle. Jäte voidaan luovuttaa vain taholle, jolla on lain edellyttämä lupa, rekisteröinti tai muu edellytys, kuten riittävä asiantuntemus ja kyky järjestää jätehuolto asianmukaisesti. Asiakirjassa on esitettävä kaikki valvonnan ja seurannan kannalta olennaiset tiedot, kuten jätteen laji, määrä, laatu, alkuperä, kuljetuksen ajankohta ja lähtöpaikka sekä kuljettajan tiedot. Siirtoasiakirjan on oltava mukana koko kuljetuksen ajan, ja se on annettava vastaanottajalle siirron päättyessä. Vastaanottajan vastuulla on vahvistaa jätteen vastaanotto allekirjoittamalla asiakirja, mikä samalla vahvistaa vastaanotetun jätteen määrän. Siirtoasiakirja voidaan toteuttaa myös sähköisessä muodossa, kunhan se on sähköisesti allekirjoitettu ja kuljetuksen aikana tarkasteltavissa. Sekä jätteen haltijan että vastaanottajan on säilytettävä allekirjoitettu siirtoasiakirja tai sen kopio vähintään kolmen vuoden ajan. Jos POP-jäte kerätään kotitaloudesta, siirtoasiakirjan laatimisesta, toimittamisesta ja säilyttämisestä vastaa tällöin jätteen kuljettaja. Kansainvälisissä siirroissa noudatetaan siirtoasiakirjojen osalta jätteensiirtoasetuksen määräyksiä. (Jätelaki 29 §, 121 §.)

Siirtoasiakirjassa on ilmoitettava yksilöidysti kaikki tarvittavat tiedot, jotta jätteen kuljetusta ja käsittelyä voidaan valvoa asianmukaisesti. Näihin kuuluvat jätteen haltijan, kuljettajan ja vastaanottajan tiedot, kuljetuksen ajankohta sekä sen lähtö- ja päätepiste. Lisäksi asiakirjaan tulee sisällyttää jätteen nimike, kuvaus jätelajista, määrä ja tyyppi sekä tieto siitä, millaisessa toiminnassa jäte on syntynyt. Mikäli mahdollista, mukaan merkitään myös ajoneuvon rekisteritunnus. Toimituspaikassa tapahtuva jätteen käsittelytapa ja siirtoasiakirjaan on sisällytettävä vahvistus jätteen haltijalta, jolla varmistetaan tietojen oikeellisuus, kuljettajan vahvistus jätteen vastaanottamisesta kuljetettavaksi, sekä

vastaanottajan vahvistus jätteen vastaanotosta ja tiedot lopullisesta jätteen määrästä. POP-jätteiden osalta on erityisesti ilmoitettava jätteen sisältämät pysyvät orgaaniset yhdisteet sekä sen pakkaus- ja kuljetustapa. (Asetus 2021/978 40 §.)

Käsittelyn seuranta- ja tarkkailusuunnitelman mukaan toiminnanharjoittajan velvollisuuksiin kuuluu jätehuollon jatkuva järjestelmällinen seuranta ja tarkkailu sen varmistamiseksi, että toiminta täyttää kaikki sitä koskevat lakisääteiset vaatimukset sekä viranomaismääräykset. Samalla on huolehdittava siitä, että jätehuollosta vastaavat työntekijät saavat riittävän perehdytyksen ja tarvittavat tiedot seurantaan ja tarkkailuun liittyen. Mikäli toiminnassa havaitaan puutteita, on niihin puututtava mahdollisimman nopeasti. Mikäli jätteenkäsittelytoiminta edellyttää ympäristölupaa, on lupaviranomaiselle toimitettava erillinen suunnitelma, jossa esitetään, miten seuranta ja tarkkailu aiotaan järjestää. Tämän suunnitelman on katettava kaikki tarvittavat tiedot toiminnan valvomiseksi. Mikäli jätteenkäsittelyyn liittyvissä tekijöissä, kuten jätteen laadussa, määrissä tai käsittelymenetelmissä tapahtuu muutoksia, tulee tarkastella vastaako aiemmin laadittu suunnitelma edelleen muuttunutta tilannetta. Tarvittaessa suunnitelmaa on muokattava, ja tehdyt muutokset on saatettava valvontaviranomaisen tietoon. (Jätelaki 120 §.) Toimijoiden omavalvonnan tueksi seuranta- ja tarkkailusuunnitelma on keskeinen työkalu jätteiden laadun ja käsittelyn hallintaan. Sen avulla valvotaan sekä vastaanotettujen jätteiden että toiminnassa muodostuvien jätteiden ominaisuuksia ja käsittelytapojen asianmukaisuutta. Jäteasetuksen 41 §:ssä määritellään tarkemmin, mitä tietoja suunnitelmaan on sisällytettävä. Osana suunnitelmaa tulee myös esittää, millä tavoin laitoksella on toteutettu POP-jätteen tunnistamiseen liittyvät toimenpiteet. (Asetus 2021/978 41 §; Ympäristöministeriö 2024, 43.)

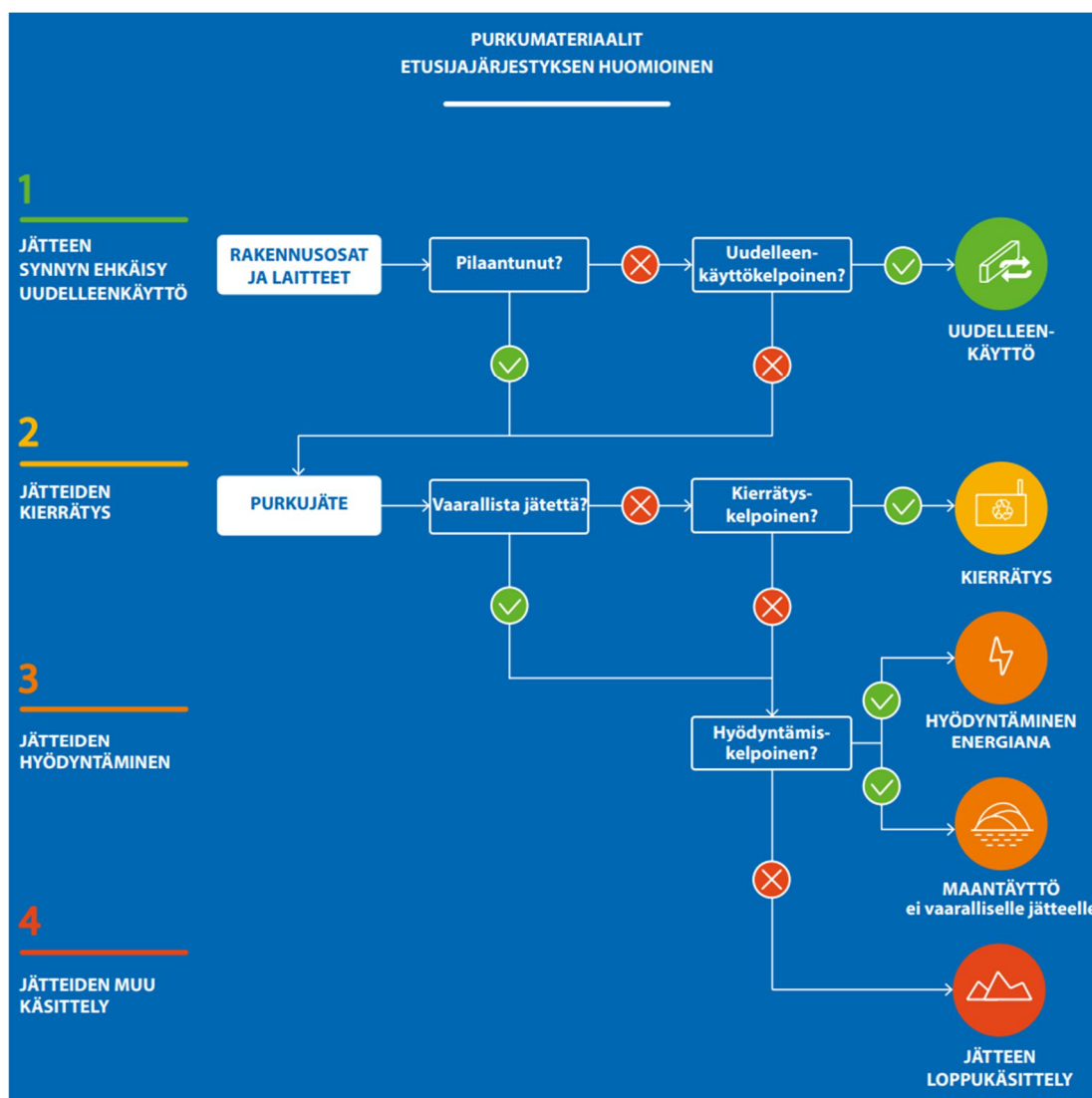
6.6 POP-jätteiden jatkokäsittely

Jos jäte tai esikäsittelyssä syntynyt jae sisältää POP-yhdisteitä yli sallitun pitoisuusrajan, se on käsiteltävä tavalla, joka tuhoaa kyseiset yhdisteet tai muuttaa ne pysyvästi muotoon, jossa ne eivät enää omaa POP-yhdisteille tyypillisiä ominaisuuksia. POP-asetus kieltää menetelmät, joissa nämä yhdisteet voisivat päätyä uudelleen käyttöön, talteenottoon tai kierrätykseen tavalla, joka ylläpitäisi niiden haitallisia vaikutuksia. (Kauppi ym. 2019, 105.)

Jätettä, jonka yhdistepitoisuus jää liitteen IV pitoisuusrajan alle, voidaan käsitellä myös muilla EU-lainsäädännön sallimilla tavoilla. Tällaisen jätteen pitoisuutta ei kuitenkaan saa tarkoituksella laimentaa raja-arvon alittamiseksi. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä sisältävä jäte tai jäte, joka on POP-yhdisteillä saastunut, tulee erottaa muusta jätteestä POP-asetuksen liitteen V mukaisesti. Erotettu osa käsitellään POP-asetuksen vaatimusten mukaisesti, kun taas POP-yhdisteistä eroteltu muu jäte voidaan käsitellä muun jätelainsäädännön mukaisesti. Tarkka erottelu edistää kierrätystä ja tukee jätelain etusijajärjestyksen toteutumista. (Ympäristöministeriö 2024, 26–27.)

POP-asetus sallii jätteen esikäsittelyn ennen varsinaista hävittämistä tai muuntamista vähemmän vaaralliseen ja pysyvästi haitattomaan muotoon. POP-asetuksessa sallitaan myös POP-jätteen uudelleenpakkaaminen sekä jätteen tilapäinen varastointi ennen sen esi- tai lopullista käsittelyä. POP-jätteet tulee kerätä ja säilyttää erillään muista jätteistä ja materiaaleista kuivassa tilassa, joka on suojattu sateelta sekä tilan pohja estää veden läpäisyn. Varastointialue tulee olla rakennettu niin ettei yhdisteet pääsisi leviämään vesistöihin, maaperään tai ilmaan. Lisäksi tiloissa tulee minimoida mahdollisuus yhdisteiden haihtumiseen. Säilytyspaikka ja -astiat tulee merkitä selkeästi POP-yhdis-

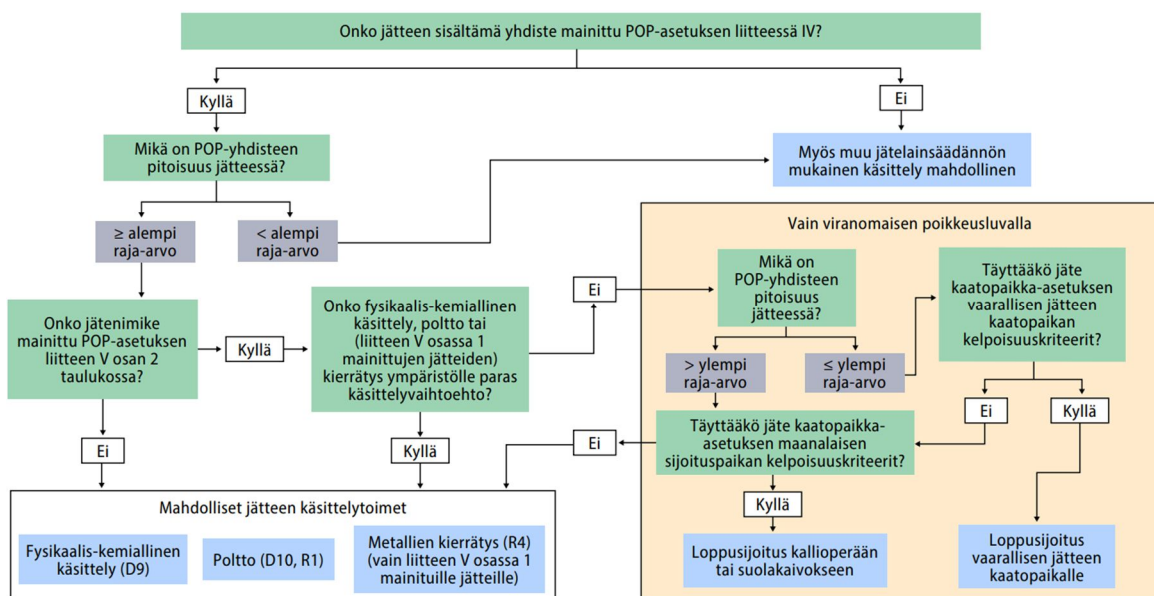
teitä sisältävillä varoitusmerkinnöillä, ja ulkopuolisilta on estettävä pääsy varastointialueelle. Esikäsittely voi olla tarpeen suorittaa tehostamaan käsittelyprosessia, sen avulla parannetaan lopullisen käsittelyn toimivuutta. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi mekaanisia menetelmiä, kuten erottelua, paloittelua tai murskausta, jotta jäte saadaan käsittelyyn sopivaan kokoon. Lisäksi voidaan hyödyntää menetelmiä, kuten homogenisointia, pH:n säätöä, höyrytämistä tai veden poistamista. Haitallisia aineita voidaan myös erotella jätteestä erilaisilla tekniikoilla, kuten adsorptiolla, absorptiolla, desorptiolla, membraanisuodatuksella ja liuotinpesulla. (Ympäristöministeriö 2024, 64–65.)



Kuva 8. Materiaalien ja jätteiden käsittelyyn liittyvien menetelmien valinta. Purkukohteen ulkopuolista jätteenkäsittelyä koskien voidaan ehdottaa esimerkiksi ekologisempia hyödyntämiskäytöksiä tai käsittelylaitosten sijainteja. (Hradil ym. 2019, 29.)

POP-jätteiden käsittelyssä ensisijaisia menetelmiä ovat poltto sekä fysikaalis-kemiallinen käsittely, jotka on määritelty sallituiksi POP-asetuksessa. Tämänhetkisen tiedon mukaan fysikaalis-kemiallisia menetelmiä ei ole kuitenkaan vielä Suomessa käytössä. Tutkimusten mukaan edellytys kaikenlaisten POP-yhdisteiden hävitykseen on 1 100 °C lämpötila. Korkeanlämpötilanpolttolaitokset sekä sementtiuunit sopivat täten kaikenlaisten POP-jätteiden loppukäsittely ratkaisuksi, mutta Suomessa sementtiuunien ympäristöluvut rajoittavat toistaiseksi vastaanoton vain vaarattomiksi luokiteltuihin

jätteisiin. POP-jätteiden käsittelyyn soveltuvista muista termisistä menetelmistä on olemassa kattava tutkimustietoa vain tiettyjen POP-yhdisteiden osalta. Esimerkiksi jätteenpolto- ja rinnakkaispolto- laitosten on osoitettu pystyvän hajottamaan tehokkaasti muoveissa esiintyviä bromattuja palonsuoja-aineita, kuten BDE-yhdisteitä ja HBCDD:tä, sekä puunsuojauksessa hyödynnettyä pentakloorifenolia. Fysikaalis-kemiallisia käsittely menetelmiä POP-jätteille on kehitelty monia erilaisia, joista kuitenkin monet soveltuvat yleensä vain tietyntyyppisille yhdisteille. Menetelmien käyttökelpoisuutta rajoittavat esimerkiksi POP-yhdisteen pitoisuus, jätteen fyysinen muoto, raekoko, koostumuksen epätasaisuus tai muut vastaavat ominaisuudet. Usein tehokas käsittely edellyttää myös esikäsittelyä ennen varsinaista käsittelyvaihetta. Metalliteollisuudessa vain tietyille metallipitoisille jätteille kierrätys on sallittua POP-jätteiden osalta. Termiset prosessit, joita hyödynnetään metallien tuotannossa, ovat osoittautuneet tehokkaiksi dioksiinien, furaanien ja BDE-yhdisteiden hajottamisessa, minkä vuoksi niitä voidaan käyttää esimerkiksi bromattuja palonsuoja-aineita sisältävien muovien käsittelyyn. Mikäli kumpikaan pääasiallisista käsittelytavoista ei ole ympäristön kannalta paras mahdollinen vaihtoehto, eikä jätteestä voida poistaa POP-yhdisteitä, pystyy aluehallintovirasto myöntämään poikkeusluvan jätteiden loppusijoittamiseen vaarallisen jätteen kaatopaikalle tai syvälle kallioperään. (Ympäristöministeriö 2024, 76, 107–108.)



Kuva 9. EU:n POP-asetuksessa on määritelty hyväksyttävät käsittelyvaihtoehdot POP-yhdisteitä sisältäville jätteille. (Ympäristöministeriö 2024, 29.)

Vaarallisen jätteen kaatopaikoille, kallioperään tai suolakaivokseen poikkeustapauksissa voidaan loppusijoittaa POP-jäte, jonka pitoisuus ylittää POP-asetuksen liitteen IV pitoisuusrajan. Mikäli jätteen pitoisuus ylittää liitteen V pitoisuusrajan, jätteen sijoitukselle vaarallisen jätteen kaatopaikalle ei voida myöntää lupaa. Tällainen POP-jäte tulisi sijoittaa syvälle kallioperään tai suolakaivokseen, mutta tällä hetkellä Suomessa ei ole maanalaista loppusijoituspaikkaa, johon POP-jätteitä voitaisiin turvallisesti sijoittaa. Erityistilanteissa on kuitenkin mahdollista hakea lupaa jätteiden viemiseksi toiseen EU- tai ETA-alueen maahan, jossa POP-jätteet voidaan sijoittaa esimerkiksi suolakaivokseen tai syvälle kallioperään. (Ympäristöministeriö 2024, 78, 82.)

6.7 Materiaalien uudelleenkäyttö

POP-yhdisteitä sisältävän esineen jatkuva käyttö on mahdollista, mikäli sitä ei ole koskaan merkitty jätteeksi sen jälkeen, kun POP-asetus on otettu käyttöön. Mikäli esine on kuitenkin ollut jätteenä ja se otetaan uudelleenkäyttöön vasta valmisteluvaiheen jälkeen, sen on noudatettava juuri sillä hetkellä voimassa olevia POP-yhdisteisiin liittyviä määräyksiä. (Ympäristöministeriö 2024, 36.) Uudelleenkäyttöön valmistelu tarkoittaa sitä prosessia, jossa käytöstä poistettua tuotetta tai sen osaa tutkitaan, puhdistetaan ja tarvittaessa kunnostetaan siten, että se palautetaan suoraan käyttökelpoiseksi ilman erillistä esikäsittelyä. (Jätelaki 6 §).

Rakennusmateriaalien uusiokäyttö edellyttää tarkkaa selvitystä niiden sisällöstä. Monet vanhemmat rakennusmateriaalit voivat sisältää POP-yhdisteitä tai muita haitta-aineita. Näiden uudelleenkäyttöä rajoitetaan esimerkiksi EU:n REACH- ja POP-asetuksilla, joten materiaalien hyödyntäminen uudessa kohteessa ei välttämättä ole lain puitteissa sallittua. Lisäksi on tärkeää tarkastella, onko materiaalien pintaan tai rakenteisiin lisätty muita aineita, kuten saumausmassoja, pinnoitteita, kyllästeitä tai laastia. Mikäli materiaalit sisältävät terveydelle tai ympäristölle haitallisiksi luokiteltuja, säädelyjä yhdisteitä, eikä niitä voida tehokkaasti poistaa, voi tämä estää materiaalien jatkokäytön kokonaan. Uudelleenkäytettävien rakennusosien ja -materiaalien turvallisuuden varmistamiseksi tarvitaan laajempaa tutkimusta kuin perinteinen haitta-ainetutkimus. Tutkimuksessa tulisi huomioida paitsi käytetyt raaka-aineet ja valmistuksen yhteydessä käytetyt lisäaineet, kuten bromatut ja organofosfaattiset palonsuoja-aineet, rajoitetut ftalaatit sekä klooriparafiinien rakennusmateriaaleista, joissa näitä aineita on voitu hyödyntää, myös materiaalien käytön aikana mahdollisesti kertyneet epäpuhtaudet ja käsittelyjäännökset. Tutkimuksen tekijältä edellytetään perinteisten haitta-aineiden tunnistamisen taidon lisäksi syvällistä ymmärrystä eri raaka-aineista, materiaalivaurioista ja rakennusmateriaalien historiasta. Tekijän on myös tunnettava, miten erilaiset haitta-aineet vaikuttavat sisäilman laatuun ja voivat mahdollisesti heikentää tilan käyttäjien terveyttä. Näin voidaan varmistaa, että uudelleenkäyttö ei aiheuta terveydellistä riskiä tulevassa käyttökohteessa. (Zhu ym. 2022, 103–107.)

Rakennustuotteiden uudelleenkäytössä sekä rakennusmuovijätteen hyödyntämisessä on tärkeää huomioida, ettei materiaalien laatu heikkene niin, että se vaarantaisi turvallisuuden uudessa käyttötarkoituksessa. Materiaalien on säilytettävä ominaisuutensa niin, että ne soveltuvat luotettavasti uuteen käyttöympäristöön. (Kauppi ym. 2019, 119.)

7 POHDINTA

Tämän työn perusteella voidaan todeta, että POP-yhdisteiden hallinta rakennusten purku- ja saneeraushankkeissa on monivaiheinen prosessi, jossa yhdistyvät lainsäädännön noudattaminen, asiantuntemus ja käytännön työmaatoiminta. On selvää, että onnistunut POP-yhdisteiden hallinta edellyttää tarkkoja tutkimuksia, ennakkointia sekä eri osapuolten vastuullista toimintaa.

Tällä hetkellä POP-yhdisteitä sisältäville rakenteille ei ole säädetty tarkkoja tai sitovia purkumenetelmiä suomalaisessa lainsäädännössä. Lainsäädäntö, kuten valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) ja jäteasetus (978/2021), ohjaavat kyllä haitta-aineiden kartoitukseen, purkujätteen lajitteluun ja vaarallisen jätteen käsittelyyn, mutta ne eivät määrittele, miten POP-yhdisteitä sisältävä rakenne tulisi konkreettisesti purkaa. Tämä puute jättää purkutyön käytännön toteutuksen suurelta osin työmaan tai urakoitsijan vastuulle, mikä voi johtaa vaihtelevaan käytäntöön ja epäyhdenmukaiseen turvallisuustasoon. POP-yhdisteet ovat erittäin pysyviä ja myrkyllisiä aineita, ja ne voivat aiheuttaa vakavaa haittaa sekä ympäristölle että ihmisten terveydelle, mikäli niitä ei käsitellä asianmukaisesti. Koska purkumenetelmille ei ole omia virallisia ohjeistuksia, voidaan POP-yhdisteitä sisältävien rakenteiden purussa hyödyntää asbestipurkutyössä käytettyjä menetelmiä. Näiden menetelmien käyttö voi olla perusteltua erityisesti tilanteissa, joissa materiaalit ovat pölyäviä tai altistumisriski on suuri. Tästä syystä olisi perusteltua laatia yhtenäiset, velvoittavat ohjeistukset tai säädökset POP-yhdisteitä sisältävien materiaalien purkumenetelmistä. Yhtenäisten purkumenetelmien puuttuminen voi johtaa tilanteisiin, joissa POP-yhdisteiden käsittely toteutetaan puutteellisesti tai riskialttiilla tavoilla. Selkeät ja viranomaisten ohjeistamat purkumenetelmät loisivat yhteiset pelisäännöt kaikille toimijoille ja varmistaisivat sen, että vaarallisten aineiden käsittely tapahtuu turvallisesti ja ympäristön kannalta kestäväällä tavalla. Lisäksi yhtenäiset käytännöt parantaisivat purkutyön laatua ja sujuvuutta, sekä tukisivat koulutuksen ja valvonnan kehittämistä rakennus- ja purkualalla.

POP-yhdisteet eivät yleensä aiheuta erityisiä toimenpiteitä silloin, kun niitä sisältävät rakennusmateriaalit ovat alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan rakennuksen osana, ellei yhdisteet aiheuta käyttäjissä oireita. Tilanne muuttuu haastavaksi, kun rakennus tai sen osa on poistumassa käytöstä, esimerkiksi peruskorjauksen tai purkamisen yhteydessä. Tällöin on tärkeää selvittää, sisältävätkö purettavat rakenteet POP-yhdisteitä ja ylittävätkö näiden pitoisuudet säädetyt raja-arvot. Rakennuksen omistajan tai purkutyön toteuttajan tulisi mahdollisuuksien mukaan tietää, sisältävätkö purettavat rakenteet POP-yhdisteitä ja ylittävätkö pitoisuudet raja-arvot. Näiden aineiden tunnistaminen on kuitenkin haastavaa, sillä niitä esiintyy monissa materiaaleissa, ja analytiikka vaatii usein asiantuntemusta ja laboratoriotutkimuksia, jotka eivät ole aina helposti tai kustannustehokkaasti saatavilla.

Haitta-ainetutkimuksissa ja purkusuunnittelussa hyviä yhteneväisiä käytäntöjä ovat muun muassa varhainen ja kattava haitta-ainekartoitus rakennukselle, joka tulisi tehdä ennen purkusuunnittelun aloittamista. Kartoituksen tulee olla asiantuntevan ja koulutetun ammattilaisen tekemä, jotta haitta-aineiden tunnistaminen on luotettavaa ja kattavaa. Tunnistamisessa hyödynnetään rakennuksen olemassa olevia dokumentteja, kuten rakennuspiirustuksia, materiaaliluetteloita ja aiempia tutkimuksia, jotka auttavat kohdentamaan näytteenoton ja arvioimaan POP-yhdisteitä mahdollisesti sisältäviä rakenteita. Erityistä huomiota suunnataan materiaaleihin, joiden tiedetään yleisimmin sisältävän POP-yhdisteitä. Tällaisia ovat muun muassa EPS- ja XPS-eristeet, vanhojen betonielementtien sekä ikkunoiden saumaussmassat, ja lisäksi vanhat maalit, liimat ja lakat, joita on käytetty laajasti raken-

nuksissa ennen haitta-aineiden käytön rajoituksia. Kartoitusraportin on oltava selkeä ja sisältävä yksityiskohtaiset havainnot, valokuvat, paikkatiedot sekä suositukset tarvittavista toimenpiteistä. Näiden tietojen tulee siirtyä saumattomasti purkusuunnitteluun ja urakoitsijoille, jotta purkutyö voidaan toteuttaa turvallisesti ja ympäristömääräysten mukaisesti. Yhtenäiset toimintatavat varmistavat, että haitta-aineet tunnistetaan ajoissa ja käsitellään asianmukaisesti koko purkuprosessin ajan.

LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/1021 muuttamisesta heksabromisyklododekaanin osalta 2024/2555/EU. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202402555. Viitattu 15.4.2025.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1021 pysyvistä orgaanisista yhdisteistä uudelleenlaadittu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R1021>. Viitattu 6.3.2025.

Hradil Petr, Wahlström Margareta, Teittinen Tuuli & Lehtonen Katja 2019. Purkukartoitus - opas laatijalle. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:30. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161883/YM_2019_30.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 29.3.2025.

Jätelaki 646/2011. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2011/646>. Viitattu 26.2.2025.

Jätelaki 714/2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646#>. Viitattu 26.2.2025.

Kauppi Sari, Bachér John, Laitinen Sirpa, Kiviranta Hannu, Suomalainen Kati, Turunen Topi, Kautto Petrus, Mannio Jaakko, Räisänen Milja, Lautala Katri, Porrás Simo, Rantio Tiina, Salminen Jani, Santonen Tiina, Seppälä Timo, Teittinen Tuuli & Wahlström Margareta 2019. Kestävä ja turvallinen kiertotalous - Selvitys POP-yhdisteiden ja SVHC-aineiden hallinnasta kiertotaloudessa. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161838/VNTEAS_19_58.pdf. Viitattu 20.2.2025.

Kemikaalilaki 2013/599. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130599#>. Viitattu 26.2.2025.

Lehtonen Katja 2019. Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjille. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:29. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161884/YM_2019_29.pdf. Viitattu 29.3.2025.

Mannio Jaakko, Rantakokko Panu, Kyllönen Katriina, Anttila Pia, Kauppi Sari, Ruokojärvi Päivi, Hakola Hannele, Kiviranta Hannu, Korhonen Markku, Salo Simo, Seppälä Timo, Viluksela Matti 2016. Kaukokulkeutuvat ympäristömyrkyt Suomen pohjoisilla alueilla – LAPCON. <https://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/Kaukokulkeutuvat%20ymp%C3%A4rist%C3%B6myrkyt%20Suomen%20pohjoisilla%20alueilla%20%E2%80%93%20LAPCON.pdf/f76a683e-abe6-47bf-aada-48d2b38c5ef7/Kaukokulkeutuvat%20ymp%C3%A4rist%C3%B6myrkyt%20Suomen%20pohjoisilla%20alueilla%20%E2%80%93%20LAPCON.pdf>. Viitattu 10.3.2025.

Myllymaa Tuuli (toim.), Moliis Katja, Häkkinen Eveliina & Seppälä Timo 2015. Pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP) esiintyvyys, tunnistaminen ja erottaminen muovijätteistä. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/157416/YMra_25_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 19.2.2025.

Norin Helena, Oskarsson Hanna, Brodin Malin, Halling Maja & Sallermo Rickard 2020. Control of Substances of Very High Concern in Recycling. Control of Substances of Very High Concern in Recycling. <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6900/978-91-620-6938-4.pdf>. Viitattu 15.3.2025.

Perkola Noora, Mehtonen Jukka, Junttila Ville, Reinikainen Jussi, Ahkola Heidi, Seppälä Timo, Fjäder Päivi & Juvonen Janne 2023. PFAS-yhdisteet ympäristössä – tietopaketti. Suomen ympäristökeskus. https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/PFAS_tietopaketti.pdf. Viitattu 11.4.2025.

Pitkäranta Miia Toim. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Viitattu 1.4.2025.

Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus 2006. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:22006A0731\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:22006A0731(01)) Viitattu 7.3.2025.

Rakentamislaki 751/2023. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2023/751>. Viitattu 6.5.2025.

Ramboll 2019. Study to support the review of waste related issues in Annexes IV and V of Regulation (EC) 850/2004, Final report. Ramboll Environment & Health GmbH. https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/Study_POPS_Waste_final.pdf. Viitattu 27.3.2025.

Ratu 09-01116 Haitta-ainespitoisten rakennusjätteiden jäteluokitus ja purkutapa. 2014. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 18.5.2025.

RatuTT 08-00495 Rakennusalan kemikaalien turvallinen käsittely. 2005. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 20.5.2025.

RatuTT 09-00847 Asbestia sisältävien rakenteiden purku 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 30.5.2025.

RT 103500 Haitalliset aineet rakennuksissa. Tilaajan ohje. 2022. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 8.5.2025.

Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021. <http://data.finlex.fi/eli/sd/2021/978/ajantasa/2022-06-30/fin>. Viitattu 17.3.2025.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. <https://finlex.fi/eli?uri=http://data.finlex.fi/eli/sd/2009/205/ajantasa/2013-06-27/fin>. Viitattu 6.5.2025.

Viskari Eeva-Liisa, Kauranen Hannu, Nieminen Mika, Nippala Eero, Tuominen Eeva-Leena & Honkala Inka 2018. Palonsuoja-aine HBCD rakennuseristeissä ja pakkausmateriaaleissa – esiintyminen, tunnistaminen ja turvallinen käsittely. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/356226/HBCD-valmis_3.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 17.3.2025.

Wallenius Kaisa, Korkalainen Merja, Porras Simo, Hovi Hanna, Holma Siri, Ahtinen Suvi, Koponen Jani, Huttunen Kati & Rantakokko Panu 2023. Työterveyslaitos Sisäympäristöissä esiintyvät puoli-haihtuvat orgaaniset yhdisteet (SVOC) väestön altistuminen ja terveystriskit. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/146697/TTL-978-952-391-114-7.pdf?sequence=8>. Viitattu 10.3.2025.

Ympäristöministeriö 2016. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyvaatimukset. EU:n POP-asetuksen jätteitä koskevat määräykset ja niiden soveltaminen sähkölaiteromuun ja romuajoneuvoihin. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75462/OH_4_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 19.3.2025.

Ympäristöministeriö 2019. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:2. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161316/YM_2019_02.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Viitattu 1.4.2025.

Ympäristöministeriö 2024. POP-jätteen käsittelyopas. Ympäristöministeriön julkaisuja 2024:24. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165706/YM_2024_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 19.2.2025.

Ympäristöministeriö, 2019:2. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas. Ympäristöministeriö. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161316/YM_2019_02.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Viitattu 19.3.2025.

Ympäristönsuojelulaki 2014/527. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>. Viitattu 26.2.2025.

Zhu Ying, Lonka Harriet, Tähtinen Katja, Anttonen Markku, Isokääntä Päivi, Knuutila Anssi, Lahdensivu Jukka, Mahiout Selma, Mäntylä Anne-Marie, Raimovaara Markku, Rantio Tiina, Santonen Tiina & Teittinen Tuuli 2022. Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisuuden näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoimikunnan julkaisusarja 2022:15. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163832/VN_Teas_2022_15.pdf. Viitattu 24.3.2025.