

Työperäinen haitta-ainealtistuminen kiertotaloudessa (HAKiTa)

-TUTKIMUSPROJEKTIN LOPPURAPORTTI



**Selma Mahiout
Johanna Hättinen
Sirpa Laitinen
Jouko Remes
Tiina Rantio
Kukka Aimonen
Tiina Santonen**

Työperäinen haitta-ainealtistuminen kiertotaloudessa (HAKiTa) -tutkimusprojektin loppuraportti

Selma Mahiout, Johanna Hätinen, Sirpa Laitinen, Jouko Remes, Tiina Rantio, Kukka Aimonen, Tiina Santonen

Työterveyslaitos
PL 40
00251 Helsinki
www.ttl.fi

© 2023 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Hanke on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-391-105-5 (pdf)

Tiivistelmä

Kiertotalous on kasvava toimiala, johon liittyvissä työtehtävissä voidaan altistua terveydelle haitallisille aineille. Tutkimuksen tavoitteena oli saada uutta tietoa altistumisesta kiertotalouden työpaikoilla, arvioida altistumiseen liittyviä terveysriskejä ja niin suojella työntekijöiden terveyttä. Tavoitteena oli lisäksi edistää terveydelle vaarallisten altisteiden riskinhallintaa työpaikoilla ja siten varmistaa kierrätettävien jätelajien kestävä käsittely sekä lisätä yritysten toimintaedellytyksiä ja tuottavuutta kiertotaloudessa.

Mittasimme työntekijöiden altistumista kemiallisille ja biologisille haitta-aineille rakennuspurkujätteen, sähkö- ja elektroniikkaromun (SER) ja tekstiilien kierrätyksessä sekä rakennuspurkutyössä. Tutkimuksen kohteena olivat erityisesti sellaiset terveydelle tunnetusti vaaralliset aineet, joiden käyttö on nykyään kiellettyä tai rajoitettua, mutta joita voi esiintyä vanhemmissa kierrätettäväksi tulevilla materiaaleilla. Näitä olivat useat metallit, palonestoaineet, ftalaatit, PFAS-yhdisteet ja PCB-yhdisteet. Mittasimme myös mikrobeja, bakteerien endotoksiineja ja homeiden mykotoksiineja, joiden epäillään voivan aiheuttaa terveysriskejä.

Työympäristöissä esiintyviä altisteita tutkimme työhygieenisillä mittauksilla ilmasta ja pinnoille laskeutuneesta pölystä. SER-kierrätykseen liittyen keräsimme myös pyyhintänäytteitä työntekijöiden käsistä. Lisäksi tutkimme työntekijöiden altistumista biomonitroimalla eli mittaamalla altisteiden pitoisuuksia työntekijöiden virtsa- ja verinäytteistä. Terveysriskejä arvioimme toksikologisella riskinarvioinnilla.

Pääasiassa emme havainneet terveydelle haitallista altistumista. Poikkeuksena oli kuitenkin rakennuspurkujätteen kierrätystyö, jossa epäorgaanisen pölyn, mikrobien ja endotoksiinien pitoisuudet nousivat usein niin korkeiksi, että terveyshaittoja voi esiintyä, jos käytössä ei ole riittäviä riskinhallintakeinoja. Lisäksi havaitsimme SER-kierrätykseen liittyen lyijyaltistumista, jota on syytä pyrkiä minimoimaan työpaikoilla, sillä lyijy on elimistöön kertyvää ja liian suurina pitoisuuksina terveydelle haitallista. Lyijyaltistumista olisikin hyvä seurata SER-kierrätykseen liittyvillä työpaikoilla biomonitroimalla. Tulosten perusteella työpaikoilla on syytä kiinnittää erityistä huomiota käsistä suun kautta tapahtuvaan lyijyaltistumiseen, joka saattaa olla merkittävä altistumisreitti. Tekstiilien kierrätystyössä ei havaittu terveysriskejä. Aineisto jäi kuitenkin pieneksi ja ainoassa tekstiilikierrätystä tehneessä tutkimuskohteessa oli jo käytössä useita riskinhallintatoimenpiteitä. Lisätutkimusta tarvitaan siis vielä, jotta tekstiilikierrätykseen liittyen voidaan tehdä johtopäätöksiä.

Tutkimus tuotti ajantasaista tietoa altistumisesta suomalaisilla työpaikoilla, joilla tehdään rakennuspurku-, SER-jätteen tai tekstiilien kierrätystä tai rakennuspurkutyötä. Tulosten perusteella laadimme avoimesti saatavilla olevan malliratkaisun *Haitta-aineet SER- ja rakennuspurkujätteen kierrätystyössä – terveyshaittojen torjuminen*. Sen ohjeilla työpaikat voivat tunnistaa mahdollisesti olennaisia altisteita sekä vähentää niille altistumista ja altistumisen aiheuttamia terveysriskejä.

Abstract

The circular economy is a growing industry in which employees may be exposed to substances that are harmful to health. The aim of this study was to gain new knowledge about occupational exposure in workplaces related to the circular economy, assess the health risks associated with exposure and thus protect workers' health. The aim was also to promote the risk management of occupational exposures hazardous to health, thereby ensuring the sustainable treatment of recyclable waste and increasing the operating conditions and productivity of companies in the circular economy.

We measured workers' exposure to chemical and biological contaminants in the recycling work of construction demolition waste, of waste electrical and electronic equipment (WEEE) and of textiles, and in the construction demolition work. The research focused particularly on substances known to be hazardous to health and the use of which is currently prohibited or restricted, but which may be present in older materials that are recycled. These included several metals, flame retardants, phthalates, PFASs and PCBs. We also measured microbes, bacterial endotoxins and mycotoxins in moulds, which are suspected to pose health risks. We studied exposures in working environments with occupational hygienic measurements of air and dust settled on surfaces. Related to WEEE recycling, we also collected wipe samples from workers' hands. In addition, we studied workers' exposure by biomonitoring, i.e. by measuring the concentrations of selected compounds or their metabolites in workers' urine and blood samples. We performed toxicological risk assessment to assess health risks.

Mainly, we did not observe exposures harmful to health. However, the recycling of construction demolition waste was an exception, where the concentrations of inorganic dust, microbes and endotoxins were often high enough to cause health risks, if adequate risk management measures are not in place. In addition, we observed lead exposure related to WEEE recycling, which should be minimised at workplaces, as lead accumulates in the body and is harmful to health at high concentrations. Lead exposure should therefore be biomonitoring at workplaces related to WEEE recycling. Based on the results, workplaces should pay particular attention to hand-to-mouth exposure of lead, which may be an important route of exposure. No health risks were identified in textile recycling work. However, the dataset collected was small, and the only study site that carried out textile recycling already had several risk management measures in place. Further research is therefore needed to draw conclusions regarding textile recycling.

The study produced up-to-date information on exposure in Finnish workplaces that recycle construction demolition waste, WEEE or textiles, or carry out construction demolition work. Based on the results, we produced an openly available document entitled *Harmful substances in WEEE and construction demolition waste recycling work – preventing health risks* (only available in Finnish). Its instructions allow workplaces to identify potentially relevant exposures and reduce exposure to them and the health risks caused by exposure.

Alkusanat ja kiitokset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli saada uutta tietoa siitä, mille haittatekijöille ja minkälaisille määrille työntekijät altistuvat nykyään kiertotalouteen liittyvillä työpaikoilla. Tutkimuskohteina oli suomalaisia yrityksiä, joissa käsitellään rakennuspurkujätettä, sähkö- ja elektroniikkaromua (SER) tai kierrätettäviä tekstiilejä, tai tehdään rakennuspurkutöitä. Lisäksi tarkoituksena oli arvioida, pystytäänkö yritysten nykyisillä turvallisuus- ja seurantatoimilla suojelemaan työntekijöitä terveydelle haitalliselta altistumiselta. Tavoitteena oli tunnistaa mahdollisia tarpeita kiertotalouden työpaikkojen työhygieenisten käytäntöjen parantamiseksi ja siten työntekijöiden terveyden suojelemiseksi.

Tutkimusprojekti toteutettiin Työsuojelurahaston ja Työterveyslaitoksen rahoituksella (Työsuojelurahaston hankenumero 200345). Lisäksi tutkimuskohteina toimineet yritykset osallistuivat kustannuksiin pienellä omarahoitusosuudella. Projektin puitteissa tehtiin yhteistyötä yhteiseurooppalaisen HBM4EU-tutkimusprojektin^a kanssa koskien SER-kierrätystyötä, jota tutkittiin samalla tutkimusasetelmalla Suomen lisäksi seitsemässä muussa Euroopan maassa (Alankomaat, Belgia, Iso-Britannia, Latvia, Luxemburg, Portugali ja Puola).

Tässä loppuraportissa on kuvattu tutkimuksen toteutus ja tulokset yleisellä tasolla. Yksityiskohtaisemmin tutkimuksesta raportoidaan tieteellisissä julkaisuissa. Useita SER-jätteen kierrätystyöhön liittyviä julkaisuja on valmisteilla yhteistyössä HBM4EU-hankkeen kanssa. Lisäksi valmisteilla on julkaisu HAKiTa-projektin rakennuspurkujätteen kierrätystyön ja rakennuspurkutöiden tuloksiin liittyen. Tekstiilien kierrätystyöstä ei ole valmisteilla tieteellistä julkaisua. Siihen liittyen HAKiTa-projektin puitteissa kerätty näytemäärä jäi alhaiseksi ja kuvastaa olosuhteita vain yhdessä yrityksessä, jossa oli jo toteutettu useita riskinhallintatoimenpiteitä, joten lisätutkimusta tarvitaan vielä.

Raportin kirjoittajien vastuualueet jakautuivat seuraavasti: työhygieeniset ilmamittaukset mikrobit ja endotoksiinit Sirpa Laitinen, muut työhygieeniset ilmamittaukset Johanna Hättinen, pinnoille laskeutunut pöly, käsien pyyhintänäytteet ja työn koordinointi Selma Mahiout, biomonitoointi Selma Mahiout ja Tiina Santonen, statistiikka Jouko Remes, Työterveyslaitoksen laboratorioanalyysimenetelmät Tiina Rantio, vaikutusbiomarkkerit Kukka Aimonen. Kirjoittajien lisäksi projektin toteuttamiseen Työterveyslaitoksella osallistuivat Riitta Velin, Marjo Vänskä, Sanna Pesonen, Anna-Kaisa Viitanen ja laboratorioiden puolelta Aboubakr Hekmatyar, Outi Kammonen, Kanlaya Le, Tatyana Lyman, Heli Napari-Hytttilä, Jenna Nordström sekä Evgeny Parshintsev.

Lämmin kiitos kaikille tutkimukseen osallistuneille yrityksille ja työntekijöille korvaamattomasta panoksestanne tutkimuksen toteutumiseksi. Kiitos myös ohjausryhmälle projektin seurantaan osallistumisesta sekä hyödyllisistä keskusteluista.

^a HBM4EU (www.hbm4eu.eu) toteutettiin vuosina 2017–2022 Euroopan Unionin Horisontti 2020 ohjelmassa tutkimusapurahalla numero 733032

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat ja kiitokset.....	5
Sisällys.....	6
1 Johdanto.....	8
2 Tutkimusasetelma, aineisto ja menetelmät.....	10
2.1 Tutkimuksen osallistujat.....	12
2.1.1 Tutkimuskohteet.....	12
2.1.2 Tutkimukseen osallistuneet työntekijät.....	14
2.2 Työhygieeniset mittaukset.....	14
2.2.1 Ilmanäytteet.....	14
2.2.2 Käsien pyyhintänäytteet.....	15
2.2.3 Pinnoille laskeutuneen pölyn näytteet.....	16
2.3 Biomonitorointimittaukset.....	16
2.3.1 Altistumisen arviointi veri- ja virtsanäytteistä.....	16
2.3.2 Vaikutusbiomarkkerit verinäytteistä.....	17
2.4 Tilastollinen tarkastelu.....	18
2.5 Tulosten tulkinnassa käytetyt vertailuarvot.....	18
2.5.1 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot).....	18
2.5.2 Työterveyslaitoksen tavoitetasot.....	19
2.5.3 Pinnoille laskeutunut pöly.....	19
2.5.4 Biologiset tekijät eli mikrobiologiset altisteet.....	20
2.5.5 Biomonitorointi.....	20
3 Tulokset ja niiden tarkastelu.....	21
3.1 SER-jätteen kierrätystyö.....	21
3.1.1 Pöly.....	21
3.1.2 Metallit.....	22
3.1.3 Ftalaatit.....	28
3.1.4 Palonestoaineet.....	29
3.1.5 PCB-yhdisteet.....	29
3.1.6 Vaikutusbiomarkkerit.....	29
3.2 Rakennuspurkujätteen kierrätystyö.....	30
3.2.1 Pöly.....	30
3.2.2 Metallit.....	32
3.2.3 Ftalaatit.....	36

3.2.4	Palonestoaineet	36
3.2.5	PFAS-yhdisteet	37
3.2.6	PCB-yhdisteet	38
3.2.7	Mikrobit, endotoksiinit ja mykotoksiinit	38
3.3	Rakennuspurkutyö.....	39
3.3.1	Pöly	40
3.3.2	Metallit	40
3.3.3	Ftalaatit.....	43
3.3.4	Palonestoaineet	43
3.3.5	PFAS-yhdisteet	44
3.3.6	PCB-yhdisteet	44
3.3.7	Mikrobit, endotoksiinit ja mykotoksiinit	45
3.4	Tekstiilien kierrätystyö.....	46
3.4.1	Pöly	47
3.4.2	Ftalaatit.....	49
3.4.3	Palonestoaineet	49
3.4.4	PFAS-yhdisteet	50
3.4.5	PCB-yhdisteet	50
3.4.6	Mikrobit, endotoksiinit ja mykotoksiinit	51
4	Pohdinta.....	53
4.1	SER-jätteen kierrätystyö	53
4.2	Rakennuspurkujätteen kierrätystyö	54
4.3	Rakennuspurkutyö.....	54
4.4	Tekstiilien kierrätystyö.....	55
4.5	Yleisiä riskinhallintakeinoja.....	55
4.5.1	Ilmanvaihto ja kohdepoistot.....	55
4.5.2	Siivous ja muu hygienia	56
4.5.3	Henkilönsuojaimet.....	56
4.5.4	Työkoneissa työskentelyssä huomioitavaa	56
4.5.5	CMR-aineille altistumiselta suojaaminen.....	57
5	Johtopäätökset ja tulosten hyödyntäminen.....	58
	Lähteet	59
	Liitteet	61
	Liite 1. Mittausmenetelmät: Biologiset tekijät eli mikrobiologiset altisteet ilmassa.....	61
	Liite 2. Mittausmenetelmät: Työhygieeniset ilmanäytteet, kemialliset tekijät	63

1 Johdanto

Materiaalien kiertotalous on voimakkaasti kasvava ala. Kasvun myötä myös alan työllistävä vaikutus lisääntyy, jolloin työsuojeluun liittyvät kysymykset koskettavat yhä laajenevaa työntekijäjoukkoa (Euroopan komissio 2020). Työterveyden osalta kiertotalouteen siirryttäessä on osattava huomioida mm. materiaalivirtojen haitalliset aineet, jotta voidaan varmistaa kierrätettävien jätelajien kestävä käsittely ja siten myös lisätä yritysten toimintaedellytyksiä ja tuottavuutta kiertotaloudessa.

Kierrätettävien materiaalien mahdollisesti aiheuttamat työterveysriskit ovat huonosti tunnettuja. Uuden tiedon tarve liittyy etenkin haitallisten aineiden tunnistamiseen, aineiden terveys- ja ympäristöriskien hallintaan sekä näihin liittyvien lainsäädännöllisten ja muiden ohjauskeinojen kehittämiseen. Vuonna 2019 valmistuneen, valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan rahoittaman Kestävä ja turvallinen kiertotalous SIRKKU -selvityshankkeen mukaan tietoa puuttuu erityisesti terveydelle haitallisille aineille altistumisen luonteesta ja suuruudesta materiaalien kierrätystyössä (Kauppi ym. 2019). Huolenaiheena ovat varsinkin sellaiset terveydelle tunnetusti vaaralliset aineet, joiden käyttö on nykyään kiellettyä tai rajoitettua, mutta joita esiintyy vanhemmissa kierrätettäväksi tulevilla materiaaleilla. Tutkimustietoa tarvitaan myös altisteista, joiden vasta epäillään voivan aiheuttaa terveyshaittoja, kuten rakennuspurku- ja tekstiilijätteen kierrätyksessä esiintyvistä mikrobeista ja niiden toksiineista.

Em. SIRKKU-hankkeessa todettiin, ettei jätettä käsittelevillä toimijoilla usein ole tarkkaa tietoa materiaalin kemiallisesta koostumuksesta johtuen sen hankalasta määrittävyydestä, vaihtelevasta alkuperästä ja mahdollisesta myöhemmästä saastumisesta haitallisilla aineilla (Kauppi ym. 2019). Vanhojen tuotteiden materiaalit voivat sisältää nykyään kiellettyjä vaarallisia kemikaaleja varsinkin sellaisissa tuotteissa, joiden elinkaari on pitkä. Tällaisia aineita ovat mm. pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP) ja EU:n REACH-asteuksen mukaiset erityistä huolta aiheuttavat aineet (SVHC, substances of very high concern), jotka voivat vaikuttaa mm. lisääntymisterveyteen tai perimään ja aiheuttaa syöpää. SIRKKU-hankkeen mukaan tarvitaan kvantitatiivista tietoa näistä aineista jätevirroissa ja niiden kulkeutumisesta ihmiseen. Lisäksi hankkeessa todettiin, että muun muassa purkurakentamisan työturvallisuutta on kehitettävä. Vuonna 2022 valmistuneessa, valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan rahoittamassa PURATER-hankkeessa (Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisyysnäkökulmasta) havaittiin, että nykyisenlainen haitta-ainetutkimus ei riitä uudelleenkäytettävien rakennusmateriaalien ja -osien haitta-aineiden ja epäpuhtauksien tutkimiseen (Zhu ym. 2022). Lisäksi todettiin, että tarvitaan uutta osaamista uudelleenkäytettävien rakennusmateriaalien mahdollisesti sisältämien haitta-aineiden ja epäpuhtauksien tunnistamisessa, määrittelemisessä ja tutkimustulosten tulkinnessa.

Aiemmin Suomessa SER-kierrätystyössä on mitattu merkittäviä pöly-, lyijy-, nikkeli-, mangaani- ja kobolttipitoisuuksia sekä useita palonestoaineita ja ftalaatteja (Rosenberg ym. 2011). Myös rakennuspurkualalla voi esiintyä useita terveydelle haitallisia tekijöitä. Kemiallisten altisteiden lisäksi esimerkiksi homesieni- ja kosteusvaurioituneiden rakennusten materiaaleissa voi esiintyä biologisia tekijöitä, kuten bakteereita, homesieniä ja niiden erittämiä toksiineja (Bloom ym. 2009; Fromme ym. 2016; Skrobot III ym. 2017; Tuomi ym. 2000). Myös rakennuspurkumateriaalien välivarastointi ulkona tai muuten kosteissa olosuhteissa voi johtaa näiden esiintymiseen.

Mykotoksiinit ovat homesienten tuottamia yhdisteitä, joista osa on tunnettuja karsinogeneja. Mykotoksiinien on myös epäilty häiritsevän immuunijärjestelmän toimintaa, ja useissa eläinlajeissa ne ovat haitallisia lisääntymiselle. Niitä esiintyy myös elintarvikkeissa ja eläinten rehuissa; altistumisesta ravinnon välityksellä on runsaasti tutkimustietoa. Haittavaikutukset, kuten syövän kehittyminen, ilmenevät tyypillisesti vasta vuosien kuluttua. Mykotoksiineille voidaan altistua kuitenkin myös hengitysteiden ja ihon kautta, ja hengitystiealtistumisen on epäilty olevan ravinnon kautta altistumista haitallisempaa (Fromme ym. 2016). Mykotoksiineja tuottavat homesienet elävät poikkeuksetta samoissa ekosysteemeissä bakteerien kanssa.

Bakteerit sisältävät mm. endotoksiineja (Täubel ym. 2011), joilla voi olla yhteisvaikutuksia mykotoksiinien kanssa (Hirvonen ym. 2005; Korkalainen ym. 2017). Työperäisestä mikrobi- ja toksini-altistumisesta tarvitaan lisätietoa. Rakennuspurkutyöntekijöiden lisäksi tekstiilikierrätystyöntekijät voivat altistua biologisille altisteille mm. materiaalien lajittelutyössä, sillä kotitalouksien tekstiilijäte pilaantuu herkästi kosteissa varastointi- ja keräysolosuhteissa.

Tässä tutkimuksessa mitattiin SER-, tekstiili- ja rakennuspurkujätteen kierrätystyössä sekä rakennuspurkutyössä tapahtuvaa altistumista kemiallisille ja biologisille haitta-aineille. Menetelminä olivat työhygieeniset mittaukset ja työntekijöiden biomonitorointi. Selvitimme, mille altisteille ja millaisille pitoisuuksille em. kiertotalouden toimialojen työpaikoilla nykyään altistutaan ja onko työntekijöille odotettavissa terveydellisiä haittoja.

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä EU-rahoitteisen HBM4EU e-waste -tutkimuksen kanssa (Scheepers ym. 2021). HBM4EU e-waste-tutkimus toteutettiin yhteensä kahdeksassa eri Euroopan maassa käyttäen harmonisoituja tutkimusmenetelmiä. Fokuksena oli SER-jätteen kierrätys kattaen paitsi kotitalouksien (pien)elektroniikan myös esimerkiksi akkujen kierrätyksen. Tutkimuksessa kerättiin tietoa sekä altistumisesta että mahdollisista varhaisista vaikutuksista tutkimalla varhaisia genotoksisuuden ja tulehdusvasteen biomarkkereita sekä tekemällä ei-suunnattua metabolomiikkaa altistumisen aiheuttamien aineenvaihdunnallisten muutosten tunnistamiseksi. Myös HAKiTa-hankkeen SER-työntekijöiden näytteistä analysoitiin näitä markkereita osana HBM4EU-hanketta.

2 Tutkimusasetelma, aineisto ja menetelmät

Työntekijöiden altistumisen arvioimiseksi kerättiin työhygieenisia ja biomonitorointinäytteitä yhteensä viiden yrityksen useassa eri toimipisteissä. Näistä kahdessa tehtiin SER-kierrätystä (tutkimuskohteet 1 ja 2) ja kolmessa rakennuspurkujätteen kierrätystä (kohteet 3–5). Rakennuspurkutyöhön liittyviä näytteitä kerättiin useilla eri purkutyömailla (kohde 6). Lisäksi yhdessä kohteessa tehtiin kotitalouksista peräisin olevien poistotekstiilien manuaalista lajittelua sekä tekstiilien kierrätystä (kohde 7).

Työhygieenisissä mittauksissa selvitettiin eri työtehtävistä mahdollisesti työympäristöön vapautuvien yhdisteiden laatua ja mitattiin niiden pitoisuuksia. Ilmanäytteitä kerättiin työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä tai kiinteistä mittauspisteistä. Lisäksi kerättiin pinnoille laskeutunutta pölyä ja SER-kierrätystyöhön liittyen työntekijöiden käsien pyyhintänäytteitä. Biomonitorointinäytteistä (virtsa ja veri) tutkittiin työntekijöiden altistumista. Mitatut altisteet on esitetty alla (Taulukko 1). Kaikkia yhdisteitä ei mitattu kaikista tutkimuskohteista, vaan valinta tehtiin kierrätettävien materiaalien perusteella.

Tutkituista ftalaateista DEHP, DnBP, DiBP ja BBzP ovat EU:ssa vahvasti säädeltyjä, eikä niitä saa enää käyttää uusissa tuotteissa. DiNP taas on edelleen käytössä oleva ftalaatti, jonka käyttöä on EU:ssa rajoitettu lähinnä tietyissä käytöissä kuten leluissa. Palonestoaineista tutkittiin altistumista sekä organofosforipohjaisille että bromatuille palonestoaineille. Tutkituista bromatuista palonestoaineista HBCD ja, PBDE-yhdisteet ovat nykyään rajoitettuja pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevassa Tukholman yleissopimuksessa. TCEP:n käyttö puolestaan on EU:n REACH-lainsäädännön mukaisesti nykyään luvanvaraista sen lisääntymismyrkyllisten vaikutusten takia. Myös PCB-yhdisteet ovat rajoitettuja Tukholman yleissopimuksessa, mutta niitä käytettiin ennen vuotta 1990 sähkölaitteiden kondensaattoreissa, minkä takia niitä saattaa vielä löytyä sähkö- ja elektroniikkaromusta. Tutkituista PFAS-yhdisteistä PFOS ja PFOA ovat rajoitettuja Tukholman yleissopimuksen nojalla, ja myös PFHxS tulee kyseisen sopimuksen piiriin vuoden 2023 lopulla. C9-C14 perfluoratut karboksyylihapot (PFCA), sisältäen esim. PFNA:n (C9) ovat olleet rajoitettuja EU:ssa REACH-asetuksen alla helmikuusta 2023 lähtien. Parhaillaan EU:ssa on käsittelyssä laaja, kaikkia PFAS-yhdisteitä koskeva rajoitusehdotus (ECHA 2023).

Taulukko 1. Tutkitut altisteet, kaikkia näistä ei mitattu kaikista tutkimuskohteista.

Matriisi Aineryhmä	Työhygieeniset mittaukset			Biomonitorointimittaukset	
	Ilma	Pinnoille laskeutunut pöly	Käsien pyyhintä- näytteet	Veri	Virtsa (mitattu metaboliitti)
Metallit	alumiini, beryllium, elohopea, indium, kadmium, koboltti, kromi, litium, lyijy, nikkeli	alumiini, antimoni, arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, kupari, litium, lyijy, mangaani, nikkeli, rauta, titaani, seleeni, sinkki, , telluuri, tina	alumiini, beryllium, kadmium, koboltti, kromi, indium- 115, litium, lyijy, nikkeli	kadmium, lyijy	alumiini, beryllium, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, indium- 115, litium, lyijy, nikkeli
Ftalaatit	BBzP ^b , DEHP ^c , DiBP ^d , DiDP ^e , DiNP ^f , DMP ^g , DnBP ^h	BBzP, DEHP, DEP ⁱ , DMP, DnBP, DOP ^j	–	–	BBzP (<i>MBzB</i>), DEHP (<i>5-OH</i> <i>MEHP</i> , <i>5cx-MEPP</i>), DiBP (<i>MiBP</i>), DiNP (<i>cx-MiNP</i>), DnBP (<i>MnBP</i>),
Palonestoaineet	–	Bromatut: PBDE-yhdisteet ^k BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154, 183, 209 Organofosfaatit: EHDPP ^l , TBEP ^m , TBP ⁿ , TCEP ^o , TCIPP ^p , TDCIPP ^q , TEHP ^r , TPHP ^s	–	Bromatut: BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154, 183, 209 HBCD ^t α, β, γ -isomeerit	Organofosfaatit: TCEP (<i>BCEP</i>), TCIPP (<i>BCIPP</i>), TDCIPP (<i>BDCIPP</i>), TPHP (<i>DPHP</i>)
PCB-yhdisteet	–	PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180	–	PCB 138, 153, 180	–
PFAS-yhdisteet	–	–	–	PFOA ^u , PFOS ^v , PFNA ^w , PFHxS ^x	–
Mikrobiologiset altisteet eli biologiset tekijät	Mesofiiliset aktinomykeetit, bakteerit ja homesienet sekä bakteerien endotoksiinit	–	–	–	–
Homeiden mykotoksiinit	–	AF ^y , DON ^z , FB ^ä , NIV ^ä , OT ^ö -α, ROQ C ^{aa} , STE ^{bb}	–	AF, DON, FB, NIV, OT, ROQ C, STE ^{cc} , TEA ^{dd} , ZEN ^{ee}	AF, DON, FB, NIV, OT, STE, TEA, ZEN

^b BBzP=butyylibentsyyliftalaatti, CAS 85-68-7

^c DEHP=di-(2-etyyliheksyyli)ftalaatti, CAS 117-81-7

^d DiBP=di-isobutyyliftalaatti, CAS 84-69-5

^e diisodekyyliftalaatti, CAS 26761-40-0

^f DiNP=di-isononyyliftalaatti, CAS 28553-12-0

^g DMP= dimetyyliftalaatti, CAS 131-11-3

^h DnBP=di-n-butyyliftalaatti, CAS 84-74-2

ⁱ DEP= dietyyliftalaatti, CAS 84-66-2

^j DOP=dioktyyliftalaatti, CAS 117-84-0

^k PBDE-yhdisteet=polybromattuja difenyyliettereitä

^l EHDPP= 2-etyyliheksyyliidifenyylifosfaatti, CAS 1241-94-7

^m TBEP=tris(2-butoksietyyli)fosfaatti, CAS 78-51-3

ⁿ TBP=tributyylifosfaatti, CAS 126-73-8

^o TCEP=tris-2-kloorietyylifosfaatti, CAS 115-96-8

^p TCIPP=tris(1-kloori-2-propyyli)fosfaatti, CAS 13674-84-5

^q TDCIPP=tris(1,3-dikloori-2-propyyli)fosfaatti, CAS 13674-87-8

^r TEHP=tris(2-etyyliheksyyli)fosfaatti, CAS 78-42-2

^s TPHP=trifenyylifosfaatti, CAS 115-86-6

^t HBCD=heksabromisyklododekaani, CAS 3194-55-6, 25637-99-4, 1093632-34-8

^u PFOA=perfluoro-oktaanihappo, CAS 335-67-1

^v PFOS=Perfluoriooktaanisulfonaatti, CAS 1763-23-1

^w PFNA=perfluorononaanihappo, CAS 375-95-1

^x PFHxS=perfluoriheksaanisulfonihappo, CAS 355-46-4

^y AF=aflatoksiinit

^z DON=deoksinivalenoli

^ä FB=fumonisiinit

^ä NIV=nivalenoni

^ö OT=okratoksiinit

^{aa} ROQ C=roquefortiini C

^{bb} STE=sterigmatokystiini

^{cc} STE=sterigmatokystiini

^{dd} TEA=tenuatsoonihappo, virtsan TEA-pitoisuutta ei kvantifioitu, ainoastaan mitattu esiintykö mykotoksiinia näytteissä vai ei

^{ee} ZEN=zearalenoni

–=ei tutkittu tästä matriisista

2.1 Tutkimuksen osallistajat

2.1.1 Tutkimuskohteet

SER-kierrätystä tutkittiin kahdessa yrityksessä (tutkimuskohteet 1 ja 2).

Tutkimuskohteessa 1 ilmamittauksia tehtiin SER-lajittelusta, kaapeligranulaattilinjalla sekä akkujen purusta. SER-lajittelussa kierrätettiin mittauspäivänä sekalaista kotitalouksien SER-jätettä. Linjalla työskenteli kolme työntekijää, joista kaksi teki käsinpurkua ja eri jakeiden lajittelua ja kolmas ajoi trukkia, jolla SER-jätettä kaadettiin syöttökaukaloon. Kaapelilinjalla murskattiin mittauspäivänä valokuituferaalia, joka sisältää rakenteessaan muovikuidun. Prosessin lopputuotteena oli eri jakeita. Työhygieenisten mittausten kohteena olleiden kahden työntekijän tehtävänä oli prosessin toiminnan seuranta ja täyttyvien jaelaatikoiden tyhjennys. Akkupuolella ilmanäytteitä kerättiin kolmelta henkilöltä. Kaksi työntekijää purki sähköauton akkukennostoja osiin, työ oli siistiä ja pölytöntä. Kolmas mittauksiin osallistunut työntekijä ajoi trukkia alueella.

Tutkimuskohteessa 2 ilmamittauksia tehtiin SER-jätteen lajittelussa neljän materiaalikäsitelijän, syöttökoneen kuljettajan ja murskalla olevan lajittelukopin hoitajan hengitysvyöhykkeeltä. Kaikki mittauskohteena olleet lajittelijat työskentelivät saman hihnakuljettimen ääressä, jossa kierrätettiin kotitalouksien SER-jätettä. Yhden työnä oli nostella kuvaputkinäyttöjä hihnakuljettimelle, yksi syötti pienellä pyöräkuormaajalla materiaalia lajitteluprosessiin. Lajittelulinjan alussa oli yksi työntekijä ja keskemällä linjaa toinen henkilö. Yksi työntekijä työskenteli kuvaputkinäyttöjen purkulinjalla. Lyijylasinäytön ympäriltä purettiin metalli- ja muoviosat sekä vanhoista televisioista puinen kuori. Sama työntekijä auttoi myös varsinaisessa lajittelussa, jossa tehtiin paljon työvaiheita käsityönä. Rengasmurskan valvomokopissa työskenteli mittauspäivänä yksi henkilö. Murskalla murskattiin sähkömoottoreita, jotka oli jo lajiteltu kertaalleen. Työntekijän tehtävä oli seurata hihnakuljettimen luona murskalle päätyvän materiaalin laatua ja lajitella pois sinne kuulumattomat isommat kappaleet.

Rakennuspurkujätteen kierrätystä tutkittiin kolmessa yrityksessä (tutkimuskohteet 3-5).

Tutkimuskohteessa 3 ilmamittauksia tehtiin kolmen työntekijän hengitysvyöhykkeeltä. Pyöräkoneenkuljettaja ajoi pyöräkonetta, joka liikkui pääasiassa ulkona. Pyöräkuormaajalla siirrettiin ja tiivistettiin ulkona olevaa puujättekasaa. Se osallistui myös vastaanotetun rakennusjätteen ja energijätteen tiivistykseen ja siirtelyyn sekä huolehti murskausprosessin lopputuotteiden siirtelystä. Huoltomiehen työtehtäviin kuului laaja valikoima erilaisia tehtäviä. Mittausten aikana hän huolsi kuormaajan kauhaa sekä avusti toisen huoltajan rälläköintiä ja hitsausta. Mittausaikana hän teki myös sähkötöitä, magneettierottelijan maton säätöjä sekä kuljettimen puhdistuksen ja puhdistuksen säätöjä. Mikrobinäytteenoton aikana hän teki normaalin tarkastuskäynnin murskalle, joka oli käynnissä. Materiaalikoneenkuljettaja työskenteli materiaalikoneella, joka on käytännössä kaivinkone ja erottelee energijätettä rakennuspurkujätteestä vastaanottohallissa. Halliin tuotiin jätekuormia mittauspäivän aikana. Vastaanotetusta jätteestä kone erotteli energijätteen lisäksi isommat metalliosat ja esimerkiksi isot putket. Erottelun lisäksi materiaalikone syötti murskalle purkujätettä.

Tutkimuskohteessa 4 ilmamittauksia tehtiin rakennusjätteen käsittelylaitoksessa. Neljä käsinlajittelijaa vuorottelivat kahdeksantuntisen työvuoron aikana kolmessa eri lajittelupisteessä sekä ns. kenttämiehenä, jonka töihin kuului astioiden tyhjennys trukilla (avomalli) ja ympäristön siivous ja kunnossapito. Mikrobinäytteenoton aikana kaksi käsinlajittelijoista kiersi kenttämiehen töissä ja kaksi oli lajittelupisteissä.

Tutkimuskohteessa 5 ilmamittauksia tehtiin jätteenkäsittelylaitoksella seitsemän henkilön hengitysvyöhykkeiltä. Heistä kolme oli konekuseja, kaksi operaattoreita, yksi tuotantotyöntekijä ja yksi työnjohtaja. Hallissa oli kaksi linjaa rinnakkain. Toisella kulki rakennuspurkujäte ja toisella kaupan ja teollisuuden muovi- ja kartonkipakkausjäte. Konekukset ajoivat umpikoneilla sekä ulkona että sisällä hallissa. Operaattorit hoitivat molempia linjoja sekä valvomossa että prosessin puolella. Prosessi oli välillä

pysähdyksissä. Pölynpoistojärjestelmä, josta laskeutuneen pölyn näyte kerättiin, tyhjennettiin puolen tunnin välein.

Rakennuspurkutyötä tutkittiin yhdessä yrityksessä seitsemällä eri purkutyömaalla (tutkimuskohde 6). Ensimmäisenä tutkimuskohteena oli 1960-luvun kerrostalon purkutyö, jossa kerättiin sekä työhygieenisiä että biomonitorointinäytteitä. Tutkittavina oli kaksi purkutyöntekijää, joiden työpäivä sisälsi linoleum- ja muovilattiamattojen poistamista lattiolta käsin, lattioille jääneiden roskien siirtelyä lastalla ja jääkaappien siirtoa asunnoista portaikon kautta ulos pihalle. Alkuperäinen linoleum-lattiamatto sisälsi lyijyä 2890 mg/kg ja sinkkiä 1870 mg/kg. Uudet, peruskorjauksessa vuonna 1993 asennetut lattiamatot sisälsivät sinkkiä 1830 mg/kg. PAH-yhdisteitä sisältäviä materiaaleja tai PCB-pitoisia materiaaleja ei ollut havaittu haitta-ainekartoituksessa.

Toisena työkohteena oli vanhusten palvelutalona käytetty rakennus, jossa purkutyö tapahtui ulkona. Tässä kohteessa kerättiin sekä työhygieenisiä että biomonitorointinäytteitä. Tutkittavina henkilöinä oli kaksi työntekijää, joista toinen työskenteli purkukoneen ohjaamossa ja toinen kenttämiehenä.

Lopuissa purkukohteissa kerättiin pelkästään biomonitorointinäytteitä.

Kolmantena työkohteena oli koulurakennuksen purku, jossa purkutyö tapahtui ulkona. Tutkittavina oli kaksi työntekijää, joista molemmat työskentelivät kaivinkoneenkuljettajana. Mittauspäivänä työtehtävänä oli betonin lastaus autoihin, alkuviikosta oli tehty perustusten nostoa maasta.

Neljäntenä työkohteena oli toimistorakennuksen purku, jossa purkutyö tapahtui. Tutkittavina henkilöinä oli kaksi työntekijää, joista molemmat työskentelivät koneenkuljettajana. Mittauspäivänä työtehtävänä oli toisella betonipurku ja toisella puutikkujen erottelu betonikasasta koneen kouralla.

Viidentenä työkohteena oli satama-/varastorakennuksen purku, jossa purkutyö tapahtui ulkona. Tutkittavina henkilöinä oli kaksi työntekijää, joista molemmat työskentelivät koneenkuljettajana. Mittauspäivänä työtehtävänä oli purkujätteen kerääminen ja siirtäminen kontteihin eri materiaalit lajitellen (pelti, puu, kyllästetty puu, sähkökaapeli jne.).

Kuudentena työkohteena oli liiketiläkäytössä olleen rakennuksen purku, jossa purkutyö tapahtui ulkona. Tutkittavana henkilöinä oli yksi työntekijä, joka työskenteli käsinpurkajana. Mittauspäivänä työtehtävänä oli jätteen kerääminen ja lajittelu käsin (uretaanipalasia, uretaanielementtejä sekä kylmiöiden kuljetusta sisältä ulos). Lisäksi laitteiden puhdistus ja huolto (kaivinkoneen rasvaus ja letkujen kiristys).

Seitsemäntenä työkohteena oli toimistorakennuksen purku, jossa purkutyö tapahtui ulkona. Tutkittavana henkilöinä oli yksi työntekijä, joka työskenteli kaivinkoneenkuljettajana. Mittauspäivänä työtehtävänä oli eri jätelajien lajittelu omiin kasoihinsa (betoni, huopa, painekyllästetty puu, pelti).

Tekstiilien kierrätystä tutkittiin yhdessä yrityksessä (tutkimuskohde 7), jossa tehtiin tekstiilien manuaalista lajittelua ja kierrätystä poistotekstiilien kierrätyslaitoksessa. Lajittelutyöntekijöiden tehtävänä oli lajitella kotitalouksien poistotekstiilejä, jotka ulkoisesti näyttivät puhtailta. Yksi työntekijä lajitteli tekstiilierää, jossa osa tekstiileistä oli lievästi homehtuneita. Biomonitorointinäytteet kerättiin eri päivänä kuin työhygieeniset näytteet. Myös tuolloin osa työntekijöistä lajitteli tekstiilierää, jossa osa tekstiileistä oli homehtuneita. Tekstiilien kierrätyslaitoksen tuotantoprosessit olivat käynnissä noin 60 % työhygieenisen mittauksen aikana. Mittalaitteita ei sammutettu katkosten ajaksi, koska niiden kestosta ei ollut etukäteen tietoa, joten tulokset eivät kuvaa sellaisen työpäivän aikaista altistumista, jossa tuotanto olisi käynnissä ilman katkoja.

2.1.2 Tutkimukseen osallistuneet työntekijät

Tutkimukseen osallistuneet, altistavaa työtä tehneet henkilöt olivat tutkimuskohteiden vapaaehtoisia työntekijöitä. SER-kierrätystyössä osallistujien n=16 (tutkimuskohteet 1 ja 2), rakennuspurkujätteen kierrätyksessä n=14 (kohteet 3-5), rakennuspurkutyössä n=11 (kohde 6) ja poistotekstiilien kierrätyksessä n=7 (kohde 7). Verrokkiryhmä (n=23–30) koostui suomalaisista työntekijöistä, jotka eivät tehneet altistavaa työtä. Osa näistä oli saman työnantajan palveluksessa kuin altistavaa työtä tehneet tutkimushenkilöt, mutta toimistotöissä. Osa verrokeista oli tutkimukseen osallistuneiden yritysten ulkopuolella työskenteleviä.

Tutkimuksesta laadittiin henkilötietolain mukainen rekisteriseloste. Kaikille osallistujille (työntekijät ja vertailuryhmä) jaettiin kirjallinen tiedote, taustakyselylomake sekä pyydettiin kirjallisen suostumus osallistumisesta tutkimukseen. Tutkimukselle oli Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin Koordinoivan eettisen toimikunnan puoltava lausunto päivämäärällä 2.6.2021 (viite: HUS/1357/2021).

2.2 Työhygieeniset mittaukset

2.2.1 Ilmanäytteet

Ilmanäytteiden mittausmenetelmät on kuvattu alla olevassa taulukossa. Näytteiden keräys tehtiin HBM4EU e-waste -tutkimuksen standardoitujen toimintamallien mukaisesti (standard operating procedure, SOP) (Scheepers ym. 2021). Poikkeamana tästä tutkimuskohteissa 1–5 työhygieenisten ilmamittausten keräystä ei katkaistu taukojen ajaksi.

Aerosolinäytteenoton (hiukkasten ja ilman seokset sekä nestepisaroiden ja ilman seokset) pohjana ovat standardit SFS-EN 689:2018 liitteet A-D, F ja G, SFS-EN 481:1994:en ja SFS-EN 482:2015. Höyrynäytteenoton pohjana ovat standardit SFS-EN 689:2018 liitteet A-D, F ja G, SFS-EN 482:2015 ja soveltaen SFS 3861. Analyysimenetelmistä hengittävää pölyä, metallit ja endotoksiinit ovat akkreditoituja.

Taulukko 2. Ilmanäytteiden mittausmenetelmät. Tarkemmat tiedot ovat saatavilla liitteissä 1 ja 2.

Altiste	Näytteenkeräin/mittari	Näytteenkeräys-menetelmä	Analyysimenetelmä
hengittävä pöly	selluloosa-asetaattisuodatin (IOM)	SFS-EN 689:2018 liitteet A-D, F ja G, SFS-EN 481:1994:en ja SFS-EN 482:2015	gravimetria, EN 481/1993 AERO-TY-003 (Työterveyslaitoksen sisäinen ohje)
alveolijakeinen pöly	selluloosa-asetaattisuodatin (sykloni)	SFS-EN 689:2018 liitteet A-D, F ja G, SFS-EN 481:1994:en ja SFS-EN 482:2015	gravimetria, EN 481/1993 AERO-TY-003 (Työterveyslaitoksen sisäinen ohje)
metallit	selluloosa-asetaattisuodatin - hengittävä jae: IOM-keräin - alveolijae: sykloni	SFS-EN 689:2018 liitteet A-D, F ja G, SFS-EN 481:1994:en ja SFS-EN 482:2015	induktiivisesti kytketty plasmamassaspektrometria, soveltaen NIOSH 7013-7901, KEMIA-TY-707 (Työterveyslaitoksen sisäinen ohje)
ftalaatit	XAD-2 OVS	KEMIA-TY-076 (Työterveyslaitoksen sisäinen ohje)	GC (MSD)
mikrobit (bakteerit ja homesienet)	gelatiinisuo-datin Button-keräimessä (SKC)	ISO 7708:1995	viljelymenetelmä laimennossarjalla AR2304-TY-077 (Työterveyslaitoksen sisäinen ohje)
endotoksiinit	lasikuitusuodatin (IOM)	SFS-EN 689:2018 liitteet A-D, F ja G, SFS-EN 481:1994:en ja SFS-EN 482:2015	LAL-entsyymiin perustuva kineettinen kromogeeninen menetelmä, EN 14031:2003 MIKROB-TY-070 Työterveyslaitoksen sisäinen ohje)

Työterveyslaitoksen laboratoriotointa on akkreditoitu testauslaboratorio T013 (FINAS-akkreditointipalvelut, EN ISO/IEC 17025). Työhygieeninen ilmanäytteenotto on akkreditoitu. Analyysimenetelmistä hengittävä ja alveolijakeinen pöly, metallit, endotoksiinit ovat akkreditoituja. Lausunnoissa esitetyt mielipiteet ja tulokset eivät kuulu akkreditoinnin piiriin. Tulosten tulkinnaassa ja riskin arvioinnissa on huomioitu näytteenotosta, analytiikasta ja työpäivien erilaisuudesta aiheutuva epävarmuus.

2.2.2 Käsien pyyhintänäytteet

Näytteiden keräys tehtiin HBM4EU e-waste -tutkimuksen standardoitujen toimintamallien mukaisesti (Scheepers ym. 2021). Lyhyesti, käsien pyyhintänäytteitä otettiin työntekijää kohti 4–5 kappaletta yhdestä (dominoivasta) kädestä. Ensimmäinen näyte otettiin vuoron alussa, ja loput ennen taukoja sekä työpäivän päätteeksi. Vuoron alussa kädet pestiin ennen pyyhintänäytteen ottoa, mutta ei ennen muita näytteenottoja. Tulokset suhteutettiin käden keskimääräiseen pinta-alaan (535 cm² miehillä ja 445 cm² naisilla).

Näytteiden keräykseen käytettiin Lead WipeTM -pyyhkeitä ja analysoinnissa sovellettiin NIOSH 9102 (Elements on Wipes) -menetelmää.

2.2.3 Pinnoille laskeutuneen pölyn näytteet

Näytteiden keräys tehtiin HBM4EU e-waste -tutkimuksen standardoitujen toimintamallien mukaisesti (Scheepers ym. 2021). Lyhyesti, pölynäytteet kerättiin joko imuroimalla n. 1 m² pinta-alalta käyttäen Museum Vac® -imuria, tai keräämällä suurempia pölymääriä suoraan muovipussiin.

Näytteistä analysoitiin mykotoksiinit ostopalveluna belgialaisessa laboratoriossa käyttäen LC-MS/MS -laitteistoa. PCB-yhdisteet, palonestoaineet ja ftalaatit analysoitiin ostopalveluna luxemburgilaisessa laboratoriossa GC-MS -laitteistoa. Myös metallit analysoitiin samassa luxemburgilaisessa laboratoriossa käyttäen ICP-MS -laitteistoa.

2.3 Biomonitorointimittaukset

Näytteiden keräys ja käsittely ennen analysointia tehtiin HBM4EU e-waste -tutkimuksen standardoitujen toimintamallien mukaisesti (Scheepers ym. 2021). Lyhyesti, työntekijät ottivat virtsanäytteet itse Työterveyslaitoksen ohjeiden mukaisesti välttämällä näytteen kontaminoitumista. Verinäytteet otti koulutettu laboratorionhenkilö. Osa näytteistä varastoitettiin ennen analysointia -20°C lämpötilassa.

Näytteiden keräysajankohdat:

SER-kierrätystyössä (tutkimuskohteet 1 ja 2) virtsanäytteet kerättiin maanantaiaamuna ennen työvuoroa ja torstaina työvuoron lopussa. Verinäytteet kerättiin torstaina työvuoron loppupuolella.

Rakennuspurkujätteen kierrätystyössä (tutkimuskohteet 3–5) virtsanäytteet kerättiin maanantaiaamuna ennen työvuoroa ja torstaina tai perjantaina työvuoron lopussa. Verinäytteet kerättiin torstaina tai perjantaina työvuoron loppupuolella.

Rakennuspurkutyoissa (tutkimuskohde 6) virtsanäytteet kerättiin maanantaiaamuna ennen työvuoroa ja keskiviikkona tai torstaina työvuoron loppupuolella. Verinäytteet kerättiin keskiviikkona tai torstaina työvuoron loppupuolella.

Tekstiilien kierrätystyössä (tutkimuskohde 7) virtsanäytteet kerättiin maanantaiaamuna ennen työvuoroa ja torstaina työvuoron lopussa. Verinäytteet kerättiin torstaina työvuoron loppupuolella.

Verrokeilta kerättiin yksi virtsa- ja yksi verinäyte työpäivän kuluessa (ajankohdat vaihtelivat aamupäivästä iltapäivään).

Elohopea-analyysiä ajatellen virtsanäytteenoton ajankohta ei ollut suosituksen mukainen (suositus työvuoron jälkeisenä aamuna), mutta tällä tuskin on merkittävää vaikutusta tuloksen tulkintaan, sillä elohopealla on pitkä puoliintumisaika.

2.3.1 Altistumisen arviointi veri- ja virtsanäytteistä

Altisteiden pitoisuuksien analysointi veri- ja virtsanäytteistä tehtiin alla olevassa taulukossa kuvatun mukaisesti. Virtsanäytteistä mitattiin myös virtsan kreatiniinipitoisuus. Suhteuttamalla alkuperäinen mittaustulos virtsan kreatiniinipitoisuuteen voitiin korjata virtsan laimeudesta johtuvia pitoisuuseroja.

Taulukko 3. Mittausmenetelmät (biomonitorointi)

Mitattu altiste	Näytematriisi	Analyysi-/mittaus-menetelmä
metallit: alumiini, beryllium, elohopea, indium, kadmium, koboltti, kromi, litium, lyijy, nikkeli	virtsa	Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen laboratoriossa käyttäen ICP-MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,0024–0,088 µg/l.
metallit: kadmium, lyijy	veri	Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen laboratoriossa käyttäen ICP-MS/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,21–0,23 µg/l.
bromatut palonestoaineet	veri	Näytteet analysoitiin joko ostopalveluna luxemburgilaisessa laboratoriossa tai belgialaisessa HBM4EU tutkimushankkeen yhteistyölaboratoriossa (tutkimuskohteet 1–2) käyttäen Luxemburgissa seuraavia laitteistoja: HBCDD:t LC-MS/MS. Määrittäysraja 0,002 µg/l. PBDE:t: GC-MS/MS. Määrittäysraja 0,005–0,1 µg/l. Belgiassa käytettiin GC-ECNI/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,002–0,1 µg/l.
organofosfaatti-palonestoaineet	virtsa	Näytteet analysoitiin ostopalveluna tai HBM4EU tutkimushankkeen yhteistyönä (kohteet 1–2) saksalaisessa laboratoriossa GC-EI-MS/MS tai GC-PCI-MS -laitteistolla. Määrittäysraja 0,1–0,3 µg/l.
PFAS-yhdisteet	veri	Näytteet analysoitiin ostopalveluna saksalaisessa laboratoriossa käyttäen LC-MS/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,1–0,3 µg/l.
PCB-yhdisteet	veri	Näytteet analysoitiin joko ostopalveluna luxemburgilaisessa laboratoriossa tai HBM4EU tutkimushankkeen yhteistyönä (kohteet 1–2) belgialaisessa laboratoriossa käyttäen: Luxemburgissa GC-MS/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,002–0,01 µg/l. Belgiassa GC-ECNI/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,001–0,1 µg/l.
ftalaatit	virtsa	Näytteet analysoitiin joko ostopalveluna saksalaisessa laboratoriossa tai HBM4EU tutkimushankkeen yhteistyönä (kohteet 1–2) belgialaisessa laboratoriossa käyttäen: Saksassa LC-MS-MS - laitteistoa. Määrittäysraja 0,5–2 µg/l.. Belgiassa LC-MS/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,2–0,4 µg/l.
mykotoksiinit	virtsa	Näytteet analysoitiin ostopalveluna belgialaisessa laboratoriossa käyttäen LC-MS/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,10–9,10 µg/l.
	veri	Näytteet analysoitiin ostopalveluna belgialaisessa laboratoriossa käyttäen LC-MS/MS -laitteistoa. Määrittäysraja 0,09–14,80 µg/l.

2.3.2 Vaikutusbiomarkerit verinäytteistä

Mikrotumataso veren retikulosyyteissä kertoo n. kolme vuorokautta ennen näytteenkeräystä tapahtuneesta systeemisestä perimämyrkyllisestä altistuksesta. Menetelmää on aiemmin käytetty tutkittaessa kuudenarvoisen kromin aiheuttamia varhaisia terveysvaikutuksia (Tavares ym. 2022). Retikulosyytien mikrotuma-analyysiä varten SER-kierrätystyöntekijöiltä ja verrokeilta otetuista verinäytteistä eristettiin nuoret retikulosyytit käyttäen kaupallista eristyskittiä (CELLlection™ Pan Mouse IgG Kit, Invitrogen, Thermo Fisher Scientific, MA, USA) ja vasta-ainetta (FITC Mouse Anti-human CD71 antibody, BD Biosciences, CA, USA). Näytteet säilöttiin

paraformaldehydiliuokseen ja ennen virtaussytometrianalyysiä solujen DNA värjättiin fluoresoivalla värillä (Hoechst 33342, Invitrogen, Thermo Fisher Scientific, MA, USA). Virtaussytometrianalyysin perusteella määritettiin kromosomivaurioista kertovien mikrotumien osuus suhteessa normaalien retikulosyyttien määrään. Koska yksittäisen henkilön mikrotumatasoon vaikuttavat työperäisen altistumisen lisäksi myös ravintotekijät, sukupuoli ja ikä, tuloksista ei voida tehdä yksilötason päätelmiä esimerkiksi syöpäriskiä liittyen. Retikulosyyttien mikrotumatuloksia tarkasteltaessa on suositeltavaa verrata riittävän suurta altistuneiden joukkoa (>50 yksilöä) taustatekijöiltä vastaavaan verrokkijoukkoon (>25 yksilöä).

SER-kierrätystyöntekijöiltä kerättyjä biomonitorointinäytteitä toimitettiin myös HBM4EU-hankkeen yhteistyölaitoksiin, joissa niistä analysoitiin vaikutusbiomarkkereita solumuutoksiin, perimämyrkyllisyyteen, oksidatiiviseen stressiin ja tulehdusvaikutuksiin liittyen.

2.4 Tilastollinen tarkastelu

Tilastollista tarkastelua tehtiin ainoastaan biomonitorointituloksille. Aineisto jaettiin viiteen ryhmään: SER-jätteen kierrätys, rakennuspurkujätteen kierrätys, rakennuspurkutyö, tekstiilien kierrätys ja verrokkit. Tämän enempää aineistoa ei pilkottu (esimerkiksi työtehtäväkohtaisesti), koska n:t olisivat jääneet pieniksi. Aineistosta laskettiin kaikille ryhmille aritmeettiset ja geometriset keskiarvot sekä vastaavat 95 %:n luottamusvälit. Lisäksi laskettiin 25., 50., 75., 90. ja 95. persentiiliarvot, jotka kuvaavat jakauman osuuspisteitä eli ilmoittavat sen arvon, jonka alapuolelle ko. osuus tapauksista jää. Näistä tunnusluvusta on tuloksissa esitetty mediaanit ja 90. persentiilit (tai 75. persentiilit niissä tapauksissa, joissa pienen n:n vuoksi 90. persentiilejä ei voitu laskea). Geometriset keskiarvot olivat tyypillisesti hyvin lähellä mediaaneja.

Koska aineisto ei ollut normaalisti jakautunut, testattiin tilastollisesti Mann-Whitneyn testillä eri ryhmien eroja verrokkeihin. Tämän tarkastelun mielekkyyttä vähensi kuitenkin melko pienet ryhmäkoot, joiden seurauksena useissa tapauksissa altistavaa työtä tehneillä ryhmillä havaittiin myös tilastollisesti merkitsevästi verrokkeja alhaisempia pitoisuustasoja. Tästä syystä tilastollista tarkastelua ei ole sisällytetty tulosten raportointiin. Sen sijaan on tarkasteltu Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajat ylittävien osuuksia eri ryhmissä silloin, kun altistumattomien viiteraja oli saatavilla (metalleille sekä PCB-yhdisteille).

Lisäksi testasimme Wilcoxonin testillä eri ryhmittäin virtsanäytemuuttujien eroa ennen ja jälkeen työvuoron otetuille näytteille (pre-shift vs. post-shift). Tilastollisesti merkitsevästi pidettiin p-arvoa, joka on pienempi kuin 0,05. Kaikkein tilastotieteelliseen laskentaan käytimme SPSS- ja SAS-tilasto-ohjelmistoja.

2.5 Tulosten tulkinnessa käytetyt vertailuarvot

2.5.1 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot)

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 24/2020 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on annettu ilman epäpuhtauksille ohjeraja-arvoja kahdeksan tunnin (HTP_{8h}) ja 15 minuutin (HTP_{15min}) keskipitoisuuksina sekä hetkellisinä pitoisuuksina (kattoarvo). HTP-arvot ovat arvoja, jotka työnantajan on otettava huomioon ja joiden alapuolella ei olemassa olevan tiedon valossa pääsääntöisesti aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijöille. HTP-arvoja asetettaessa ei yleensä ole huomioitu vaikutuksia herkkiin työntekijöihin, lieviä vaikutuksia eikä vakavampiakaan vaikutuksia silloin, kun niiden ilmaantumisen todennäköisyys on pieni.

Valtioneuvosto on työturvallisuuslain nojalla antamissaan päätöksissä ja asetuksissa määrännyt työpaikan ilman epäpuhtauksille myös joukon sitovia raja-arvoja. Lyijyn sitova raja-arvo on 0,1 mg/m³. Huomattava kehon kokonaiskuormituksen lisääntyminen ihon kautta altistumalla on mahdollista.

Lyijyn osalta on syytä huomioida, että nykyinen sitova raja-arvo (0,1 mg/m³) on päivittymässä. Euroopan komission on ehdottanut uudeksi sitovaksi raja-arvoksi 0,03 mg/m³. Myös kadmiumille on valmisteilla aiempaa matalampi raja-arvo, mutta sen suuruusluokasta ei vielä ole tietoa.

2.5.2 Työterveyslaitoksen tavoitetasot

Työterveyslaitos on tutkimustensa perusteella antanut joillekin aineille tai seosten indikaattoriyhdisteille tavoitetasosuosituksia, jotka auttavat yrityksiä tavoittelemaan lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä.

Kromi: Kromi esiintyy eri hapettumisasteilla, joista tärkeimmät ovat 0, +III ja +VI. Ympäristössä suurin osa kromista esiintyy kolmenarvoisena. Kromin eri hapettumisasteilla on erilaisia terveysvaikutuksia. Kuudenarvoisen kromin karsinogeenisuudesta on saatu vahva näyttö ja kromi(VI)-yhdisteet on luokiteltu syöpävaarallisiksi aineiksi.

Kromi(III)-yhdisteiden terveysvaikutukset liittyvät selkeimmin paikallisiin keuhkovaikutuksiin, joita on havaittu eläinkokeissa sekä liukoisten että huonosti liukenevien kromi(III)-yhdisteiden osalta. Metallisen kromin ja epäorgaanisten kromi(III)-yhdisteiden tavoitetaso perustuu hyviin työtapoihin ja olemassa olevaan toksikologiseen tietoon, jonka perusteella voidaan olettaa, että lievempienkin terveyshaittojen riski näillä pitoisuuksilla on olematon.

Työterveyslaitoksen tavoitetaso metalliselle kromille ja epäorgaanisille kromi(III)-yhdisteille on 0,010 mg/m³ (8h).

Pöly: Pölyn tavoitetasot on tarkoitettu vähentämään hiukkasten epäspesifisiä, kaikille hengitysteihin ja keuhkoihin pääseville partikkeleille yhteisiä terveyshaittoja. Niukkaliukoisten, vähätoksisten pölyjen merkityksellisimmät terveysriskit liittyvät pääasiassa alveolijakeiselle pölylle altistumiseen. Niukkaliukoisten partikkeleiden poistuminen keuhkoista on hidasta. Hengittyvän pölyn tavoitetaso puolestaan perustetaan ensisijaisesti hyviin työtapoihin liittyviin näkökohtiin, sillä selkeää terveysperusteista rajaa ei ole tunnistettavissa. Hengittyvä pöly voi aiheuttaa mm. ylähengitysteissä mekaanista ärsytystä.

Työpaikoilla esiintyvä pöly voi sisältää kuitenkin myös komponentteja, joilla on erityisiä toksisia ominaisuuksia, joiden arviointiin tavoitetasot eivät sovellu.

Työterveyslaitoksen tavoitetaso hengittyvälle pölylle on 2 mg/m³ ja alveolijakeiselle pölylle 0,5 mg/m³.

2.5.3 Pinnoille laskeutunut pöly

Pinnoille laskeutuneesta pölystä voidaan tutkia suuntaa-antavasti työympäristössä esiintyviä altisteita. Koska kyse on tavallisesti yhtä työpäivää pidemmän ajan kuluessa laskeutuneesta pölystä, tulokset saattavat antaa yhden työvuoron kuluessa tehtyjen ilmamittausten tuloksia laajemman kuvan työympäristössä ainakin satunnaisesti esiintyvistä altisteista. Pinnoille laskeutuneelle pölylle ei ole kuitenkaan saatavilla raja-arvoja. Tässä tutkimuksessa vertailutuloksina käytettiin tavanomaisesta kotiympäristöstä kerättyjä näytteitä, mutta kokonaisuudessaan saatavilla oleva vertailuaineisto on vähäistä, joten tuloksia on tulkittava suuntaa-antavina.

2.5.4 Biologiset tekijät eli mikrobiologiset altisteet

Bakteerit ja virukset, sienten ja homeiden itiöt sekä näiden vapauttavat muut biologisesti aktiiviset aineet kuuluvat erityistä sairauden vaaraa aiheuttaviin biologisiin tekijöihin (VNp 1485/2001). Työympäristön bakteri- ja homesienipitoisuuksille ei ole olemassa terveystasoisia ohjeraja-arvoja, kuten HTP-arvoja, joten mikrobituloksia on tulkittava työpaikkakohtaisesti. Puhtaissa työympäristöissä (esim. toimistot) mikrobipitoisuudet ovat yleensä tasolla 10^1 – 10^2 pmy/m³. Työympäristöissä, joissa on tuotannollisia mikrobilähteitä (esim. jätemateriaalien käsittelyä), voivat mikrobipitoisuudet olla tasolla 10^3 – 10^7 pmy/m³.

Mikrobien aiheuttamat terveyshaitat ovat yksilöllisiä ja niihin vaikuttavat mikrobimäärän lisäksi mikrobilaji, altistuneen henkilön vastustuskyky ja muu terveydentila. *Aspergillus* -suvun homesienet luokitellaan sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 748/2020 mukaan biologisten tekijöiden ryhmään 2, jolla voi olla allergisia vaikutuksia ja joka voi aiheuttaa ihmiselle sairauden. Lisäksi jotkut mikrobit voivat tuottaa mikrobimyrkkyjä eli toksineja, jotka ovat haitallisia ihmisille.

Lyhytaikaisessa mikrobialtistumisessa terveyshaittoja voivat olla hengitysteiden ärsytysoireet kuten yskä, limannousu, nuha ja hengenahdistus, sekä silmien ärsytysoireet ja ruuansulatuskanavan oireet. Yleisoreina voi esiintyä vilunväreitä, kuumetta, väsymystä, päänsärkyä sekä lihas- ja nivelkipuja. Lyhytaikaiseen altistumiseen liittyviä sairauksia ovat mikrobien aiheuttamat akuutit infektiot ja orgaanisten pölyjen aiheuttama toksinen oireyhtymä (ODTS). Pitkäaikaiseen mikrobialtistumiseen liittyviä sairauksia ovat esim. astma, allerginen alveoliitti (esim. homepölykeuhko), allerginen nuha ja krooninen bronkiitti (pitkäaikainen keuhkoputkitulehdus).

Bakteerien aiheuttaman terveystariskin todennäköisyyttä voidaan arvioida suuntaa antavasti endotoksiinimittausten avulla. Endotoksiinit ovat gram-negatiivisten bakteerien soluseinämän osasia, jotka vapautuvat ympäristöön bakteerien hajotessa tai bakteerien lisääntymisen aikana. Kansainvälinen asiantuntijaryhmä on ehdottanut terveystasoiseksi, ilman endotoksiinipitoisuuden kahdeksan tunnin viitearvoksi 90 EU/m³. Tämän viitearvopitoisuuden ylittyessä terveyshaittojen ilmeneminen on todennäköistä.

2.5.5 Biomonitorointi

Erilaisille yhdisteille altistumista voidaan tutkia yksilöllisesti mittaamalla niiden pitoisuuksia virtsassa ja veressä. Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut biomonitorointinäytteille ohje-raja-arvoja joidenkin HAKiTa-projektissa tutkittujen metallien ja niiden yhdisteiden pitoisuuksille virtsassa tai veressä (liite 2 kirjassa Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisu 24/2020 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet"). Muille tutkituille altisteryhmille ei ole STM:n asettamia ohjeraja-arvoja.

Tuloksien raportoinnin yhteydessä on mainittu Työterveyslaitoksen asettamat altistumattomien viiterajat niille altisteille, joille ne ovat olemassa. Kunkin altisteen altistumattomien viiteraja kuvaa ei-työperäisesti altistuvan väestön mittausten 95. persentiiliä (P95). Se on siis pitoisuus, jonka alapuolelle 95 % mittauksista jää, eli jota suomalaiset eivät yleensä ylitä ilman ylimääräistä altistumista tietyille kemikaalille (yleensä työperäinen altistuminen). Altistumattomien viiterajan ylitys kertoo henkilön altistuneen tavanomaista runsaammin kyseiselle kemikaalille, mutta ei vielä sitä, onko altistumisesta odotettavissa terveydellistä haittaa.

Monille HAKiTa:ssa tutkituille altisteille ei ole saatavilla myöskään Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajoja. Siksi kaikkien tulosten yhteydessä on raportoitu HAKiTa-tutkimuksen vertailuryhmän viiterajat. Vertailuryhmä koostui suomalaisista työntekijöistä, jotka eivät tee altistavaa työtä. Myös vertailuryhmän viiterajan ylitys kertoo henkilön todennäköisesti altistuneen tavanomaista runsaammin kyseiselle kemikaalille, mutta ei vielä sitä, onko altistumisesta odotettavissa terveydellistä haittaa.

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 SER-jätteen kierrätystyö

SER-jätteen kierrätystyössä mitattiin työhygieenisillä ilmamittauksilla altistumista hengittävälle ja alveolijakeiselle pölylle, useille metalleille ja ftalaateille (Taulukko 1). Ilmanäytteitä kerättiin työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä. Ilmamittauksia tehtiin tutkimuskohteessa 1 SER-lajittelusta (3 hlö), kaapeligranulaattilinjalla (2 hlö) sekä akkujen purusta (3 hlö) ja tutkimuskohteessa 2 neljän materiaalinkäsittelijän hengitysvyöhykkeiltä sekä syöttökoneen kuljettajan ja murskalla olevan lajittelukopin hoitajan hengitysvyöhykkeeltä.

Tutkimuskohteista kerättiin myös laskeutunutta pölyä, josta analysoitiin useita metalleja, ftalaatteja, PCB-yhdisteitä ja palonestoaineita (Taulukko 1). Työntekijöiden käsien pyyhintänäytteistä analysoitiin useita metalleja. Biomonitorointinäytteistä (veri ja virtsa) analysoitiin useita metalleja, ftalaatteja, palonestoaineita ja PCB-yhdisteitä.

Lisäksi HBM4EU-hankkeen e-waste -tutkimuksen puitteissa analysoitiin näytteistä vaikutusbiomarkkereita liittyen perimämyrkyllisyyteen (mikrotumat), oksidatiiviseen stressiin ja tulehdusvaikutuksiin. Näistä Työterveyslaitoksella analysoitujen mikrotumatasojen tulokset on raportoitu lyhyesti alla, mutta niiden tarkemmat tulokset sekä kokonaisuudessaan muiden vaikutusbiomarkkereiden tulokset raportoidaan vain tieteellisissä julkaisuissa muiden maiden tulosten kanssa kyseisten tulosten valmistuttua.

3.1.1 Pöly

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Alveolijakeiselle pölylle altistuminen oli vähäistä tutkituissa SER-jätteen kierrätyskohteissa, jääden selkeästi alle Työterveyslaitoksen tavoitetason ($0,5 \text{ mg/m}^3$). Pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä ollen $<0,045\text{-}0,14 \text{ mg/m}^3$. Maksimipitoisuus ($0,14 \text{ mg/m}^3$) mitattiin kuvaputkinäyttöjen purkulinjalla.

Hengittävälle pölylle altistuminen oli korkeintaan kohtalaista molemmissa tutkimuskohteissa. Pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä ollen $0,31\text{-}3,4 \text{ mg/m}^3$, mikä vastaa 3-34 % HTP_{8h}-arvosta (10 mg/m^3). Pitoisuudet olivat pääosin alle Työterveyslaitoksen tavoitetason (2 mg/m^3).

Pinnoille laskeutuneesta pölystä tehdyt mittaukset

Alla olevassa taulukossa on esitetty pinnoille laskeutuneesta pölystä analysoitujen altisteiden pitoisuudet. Molempien tutkimuskohteiden kaikkien näytteiden tuloksissa nousi esiin erityisesti lyijy (Taulukko 4).

Taulukko 4. Pinnoille laskeutuneesta pölystä mitatut pitoisuudet SER-kierrätystyössä.

Altiste-ryhmä	Analysoitu aine	Tutkimuskohde 1		Tutkimuskohde 2		Vertailuarvo, kotiympäristö (µg/g pölyä)
		Keräyspiste: SER-linja (µg/g pölyä)	Keräyspiste: Kaapelilinja (µg/g pölyä)	Keräyspiste: lajittelulinja (µg/g pölyä)	Keräyspiste: rengasmurskan valvomokoppi (µg/g pölyä)	
Metallit	Kromi	62	15	163	292	13
	Kadmium	7	0,8	42	44	<MR
	Elohopea	18	<MR	16	4	<MR
	Lyijy	1665	517	2095	3162	0,8
Ftalaatit	DEHP	–	410	334	–	31
	DnBP	–	<MR	23	–	5
	BBzP	–	<MR	9	–	3
	DiNP	–	141	289	–	–
PCB-yhdisteet	PCB 138	–	<MR	<MR	–	<MR
	PCB 153	–	<MR	<MR	–	<MR
	PCB 180	–	<MR	<MR	–	<MR
Palonesto-aineet	TCEP	–	<MR	2	–	<MR
	TCIPP	–	<MR	29	–	5
	TDCIPP	–	<MR	5	–	<MR
	TPHP	–	<MR	23	–	<MR
	PBDE-yhdisteet (summa BDE 28+47+99+100+153+154+183+209)	–	<MR	15	–	<MR

<MR = Alle menetelmän määrittäysrajan
–=ei analysoitu

3.1.2 Metallit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Hengittävistä pölystä analysoiduille metalleille (alumiinille, berylliumille, kadmiumille, koboltille, kromille, indiumille, litiumille, lyijylle ja nikkelille) altistuminen oli pääosin vähäistä molemmista tutkimuskohteissa. Pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä, ollen 0,1-17 % HTP_{8h}-arvoista.

Alumiinin pitoisuudet olivat 0,0127-0,2606 mg/m³ eli 1-17 % HTP_{8h}-arvosta (1,5 mg/m³). Alumiinin liukoisille yhdisteille altistuminen oli korkeimmillaan kohtalaista tutkimuskohteen 1 kaapelilinnan prosessinhoitajalla (0,26 mg/m³, 17 % HTP_{8h}-arvosta).

Kadmiumin pitoisuudet olivat <0,00002-0,00084mg/m³ eli <0,5-21 % HTP_{8h}-arvosta (0,004 mg/m³). Kadmiumille altistuminen oli korkeimmillaan kohtalaista (0,00084 mg/m³, 21 % HTP_{8h}-arvosta) tutkimuskohteen 2 kuvaputkinäyttöjen purkamisessa työskentelevällä työntekijällä.

Berylliumin pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan (<0,00003 mg/m³; HTP_{8h}-arvo 0,0001 mg/m³).

Koboltin pitoisuudet olivat <0,00003-0,00075 mg/m³, <4 % HTP_{8h}-arvosta (0,02 mg/m³).

Kolmenarvoisen kromin pitoisuudet olivat $<0,00029-0,00085 \text{ mg/m}^3$, $<0,2 \%$ HTP_{8h}-arvosta ($0,5 \text{ mg/m}^3$).

Indiumin pitoisuudet olivat $<0,00002-0,001 \text{ mg/m}^3$, $<1 \%$ HTP_{8h}-arvosta ($0,1 \text{ mg/m}^3$).

Litiumin pitoisuudet olivat $<0,00003-0,00029 \text{ mg/m}^3$.

Nikkelin pitoisuudet olivat $<0,00009-0,0011 \text{ mg/m}^3$, $<2 \%$ HTP_{8h}-arvosta ($0,05 \text{ mg/m}^3$).

Lyijyn pitoisuudet olivat $0,00008-0,0313 \text{ mg/m}^3$ mikä oli $0,1-31 \%$ nykyisestä sitovasta raja-arvosta ($0,1 \text{ mg/m}^3$). Kuvaputkinäyttöjen purkamisessa työskentelevän työntekijän altistuminen lyijylle oli kohtalaista ($0,0313 \text{ mg/m}^3$, 31% nykyisestä sitovasta raja-arvosta) ja ylitti niukasti EU-komission ehdottaman uuden sitovan raja-arvon tason ($0,03 \text{ mg/m}^3$).

Elohopean ilmapitoisuudet jäivät alle määritysrajan ($<0,00068 \text{ mg/m}^3$) molemmissa tutkimuskohteissa (HTP_{8h}-arvo $0,02 \text{ mg/m}^3$).

Alveolijakeisesta pölystä analysoiduille metalleille (kadmium, nikkeli) altistuminen oli vähäistä molemmissa tutkimuskohteissa jääden alle 1% voimassa olevista HTP-arvoista. Kadmiumin pitoisuudet olivat $<0,00001-0,000014 \text{ mg/m}^3$, ja nikkelin pitoisuudet olivat alle määritysrajan ($<0,00003 \text{ mg/m}^3$).

Käsien pyyhintänäytemittaukset

Mitatut metallipitoisuudet käsien pyyhintänäytteissä olivat pääasiassa pieniä. Berylliumia lukuun ottamatta kaikkia mitattuja metalleja kuitenkin esiintyi käsissä työpäivän kuluessa (Taulukko 5 ja Taulukko 6). Metallit eivät imeydy ihon läpi, mutta käsien välityksellä saattaa tapahtua altistumista käsistä suuhun -reittiä, esimerkiksi tupakoinnin ja ruokailun yhteydessä, joka voi lisätä metallien kuormaa elimistössä. Erityisesti tämä altistumisreitti voi olla merkityksellinen alumiinin, kadmiumin ja lyijyn osalta, jotka ovat elimistöön kertyviä metalleja.

Taulukoissa näkyvien tulosten lisäksi analysoitiin elohopean pitoisuus yhden SER-linjalla työskennelleen työntekijän käsien pyyhintänäytteistä, joista ei löytynyt elohopeaa. Tätä analyysiä ei tehty muiden työntekijöiden näytteistä, sillä elohopeapitoisuuden analysoiminen olisi vaatinut erilliset käsien pyyhintänäytteet.

Lisäksi molemmista tutkimuskohteista kerätyistä näytteistä analysoitiin indium-115, mutta käytetty metallien analyysi ei mahdollistanut indiumin separoimista siihen soveltuvalle hajotusmenetelmällä, joten tulokset eivät olleet todenmukaisia. Etenkin, kun kaikki tulokset olivat lähellä määritysrajaa, voidaan olettaa, ettei indium ollut hajonnut kunnolla eikä tuloksia ole siksi raportoitu tässä.

Taulukko 5. Käsien pyyhintänäytetulosten geometriset keskiarvot (GM) tutkimuskohteen 1 SER-linjalla, kaapelilinjalla ja akkupuolella työskennelleillä. Ensimmäinen näyte otettiin ennen työvuoron alkua ja loput ennen taukoja sekä työpäivän päätteeksi, niistä on tässä esitetty kaikkien näytteiden yhteenlasketut pitoisuudet. Tulokset on suhteutettu käden keskimääräiseen pinta-alaan. Käsien pyyhintänäytteistä analysoiduille metalleille ei ole olemassa vertailuarvoja.

Altiste	SER-linja (n=2)		Kaapelilinja (n=2)		Akkupuoli (n=3)	
	Ennen työvuoron alkua	Työvuoron kuluessa (yhteensä)	Ennen työvuoron alkua	Työvuoron kuluessa (yhteensä)	Ennen työvuoron alkua	Työvuoron kuluessa (yhteensä)
	GM, ng ^{ff} /cm ²	GM, ng/cm ²	GM, ng/cm ²	GM, ng/cm ²	GM, ng/cm ²	GM, ng/cm ²
Kadmium	<MR ⁹⁹	<MR	<MR	<MR	<MR	0,2
Kromi	0,3	8	0,2	7	0,1	19
Lyijy	1	8	1	15	0,1	35
Alumiini	37	520	23	1659	12	2428
Beryllium	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
Koboltti	<MR	3	<MR	0,9	0,4	25
Litium	<MR	1	<MR	4	0,2	25
Nikkeli	0,2	13	0,1	9	0,4	63

MR=25 ng/näyte

Taulukko 6. Käsien pyyhintänäytetulosten GM tutkimuskohteen 2 SER-lajittelussa (n=5). Ensimmäinen näyte otettiin ennen työvuoron alkua ja loput ennen taukoja sekä työpäivän päätteeksi, niistä on tässä esitetty kaikkien näytteiden yhteenlasketut pitoisuudet. Tulokset on suhteutettu käden keskimääräiseen pinta-alaan. Käsien pyyhintänäytteille ei ole olemassa vertailuarvoja.

Altiste	Ennen työvuoron alkua	Työvuoron kuluessa (yhteensä)
	GM, ng/cm ²	GM, ng/cm ²
Kadmium	0,2	1
Kromi	1	15
Lyijy	10	226
Alumiini	89	1429
Beryllium	<MR	<MR
Koboltti	0,3	6
Litium	0,1	4
Nikkeli	2	35

MR=25 ng/näyte

^{ff} 1 ng=0,000 000 001 g

⁹⁹ <MR=Tulos on alle mittausmenetelmän määrittäysrajan (MR)

Biomonitorointimittaukset

SER-kierrätystyötä tekevien työntekijöiden metallien biomonitorointitulokset on esitetty alla olevassa taulukossa. Tarkasteltaessa altistumattomien viiterajan ylittävien työntekijöiden osuutta, tuloksista nousee esiin virtsan beryllium ja litium, veren kadmium sekä veren ja virtsan lyijy (Taulukko 7).

Virtsan beryllium: Kierrätystyötä tehneistä 21 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan ennen työvuoroa otettujen näytteiden osalta ja 31 % työvuoron jälkeen otettujen näytteiden osalta. Verrokeista kuitenkin valtaosa, 77 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan. Myös kierrätystyötä tekevien tulosten mediaanit ja P90-arvot jäivät vertailuryhmän vastaavia matalammiksi. Näin ollen tulokset eivät viittaa työperäiseen altistumiseen kierrätystyötä tekevien osalta. Syy tässä tutkimuksessa havaittuun sekä SER-työntekijöiden että verrokkien altistumattomien viiterajan ylityksiin jää epäselväksi. Työterveyslaitoksen altistumattomien viiteraja on vastikään päivitetty pohjautuen uuteen noin 150 työssään altistumattoman henkilön aineistoon (Porras ym. 2023). Päivityksen yhteydessä viiterajaa laskettiin arvoon 0,02 µg/l. Voi olla, että nyt havaitut ylitykset liittyvät normaaliin variaatioon väestössä, koska joka tapauksessa liikutaan hyvin matalissa pitoisuuksissa.

Virtsan litium: Kierrätystyötä tehneistä 13 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan, mutta myös verrokeista 17 % ylitti sen. Kierrätystyötä tekevien tulosten mediaanit ja P90-arvot olivat samansuuruisia kuin vertailuryhmällä eivätkä tulokset siis viittaa ainakaan ryhmätasolla olennaiseen työperäiseen altistumiseen. Ennen työvuoroa ja sen jälkeen otetuissa virtsanäytteissä havaittiin kuitenkin tilastollisesti merkitsevä ero ($p=0,041$), joten lievää työperäistä altistumista osalla työntekijöistä ei voida poissulkea. Kaikki mitatut pitoisuudet jäivät kuitenkin sellaisten pitoisuustasojen alle, joiden voidaan arvioida aiheuttavan haitallisia terveysvaikutuksia tai ylittävän litiumille arvioidun turvallisen päiväsaannin (Ramoju ym. 2020).

Veren kadmium: 38 % SER-kierrätystyöstä tehneistä ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (joka koskee ei-tupakoivia), kun verrokeista sen ylitti odotusarvon mukaisesti 7 %. Veren kadmiumpitoisuus kuvastaa kuitenkin ainoastaan lyhytaikaista kadmiumaltistumista, jota voivat nostaa myös muut tekijät kuin työperäinen altistuminen, erityisesti tupakointi. Tämän takia Työterveyslaitoksen uusien suositusten mukaan veren kadmiumpitoisuuden määrittystä ei suositella käytettäväksi tupakoitsijoilla. Kaikki SER-kierrätystyötä tehneistä altistumattomien viiterajan ylittäneistä olivat tupakoitsijoita.

Virtsan kadmium: Virtsan kadmiumpitoisuus taas kuvastaa pidempiaikaista altistumista, ja on luotettavampi mittari työperäisen altistumisen arviointiin. SER-kierrätystä tekevien virtsan kadmiumpitoisuuksien mediaanit ja P90-arvot jäivät alle tai samalle tasolle kuin Työterveyslaitoksen altistumattomien viiteraja, eikä ennen työvuoroa ja työviikon lopulla kerättyjen näytteiden välillä ollut eroa. Kukaan kierrätystyötä tehneistä ei myöskään ylittänyt altistumattomien viiterajaa ennen tai työvuoron jälkeen otettujen näytteiden osalta. Siten työperäinen altistuminen ei ole todennäköistä eivätkä todennäköisesti myöskään em. kohonneet veren kadmiumpitoisuudet johtuneet työperäisestä altistumisesta.

Lyijy: Veressä esiintyvä pitoisuus kuvastaa pidempiaikaista lyijyaltistumista ja virtsassa esiintyvä pitoisuus lyhytaikaista. Kierrätystyötä tehneistä 69–75 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan sekä verestä että virtsasta mitattuna, tämä on selvästi suurempi osuus kuin verrokkien 17–20 %. Myös kierrätystyötä tehneiden mediaanit ja P90-arvot sekä verestä että virtsasta mitattuna olivat verrokkeja korkeammat. Lisäksi ero työvuoroa ennen ja sen jälkeen otettujen virtsanäytteiden lyijypitoisuuksissa oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0,004$). Kaikki nämä tulokset viittaavat sekä viimeaikaiseen että pidempään jatkuneeseen työperäiseen altistumiseen. Kaikki mitatut pitoisuudet jäivät kuitenkin huomattavasti nykyisen STM:n ohjeraja-arvon alle (~290 µg/l), samoin kuin sitä alemman, EU:n uudeksi sitovaksi terveysperusteiseksi raja-arvoksi ehdotetun 150 µg/l alapuolelle. Nyt mitatuilla pitoisuuksilla ei ole odotettavissa terveyshaittoja terveille aikuisille. Koska lyijy on kuitenkin elimistöön kertyvä ja terveydelle haitallinen metalli, sille altistumisen välttämiseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Jo nyt mitatuilla pitoisuustasoilla voi olla

vanhemmiten vaikutusta mm. iän mukanaan tuoman munuaisfunktion laskuun. Lisäksi on huomioitava, että lyijyn kehitysmurkyllisille vaikutuksille ei pystytä asettamaan turvallista rajaa.

Mitatut virtsan indiumpitoisuudet olivat alle määrittämissä, lukuun ottamatta 1–2 työntekijää sekä altistuneissa että verrokeissa (data ei näkyvässä).

Taulukko 7. Metallien biomonitorointitulokset verestä ja virtsasta SER-kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persenttiilit. Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajat ovat ei-työperäisesti altistuvan väestön 95. persenttilejää.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo		Ennen työvuoroa n=14		Työvuoron lopussa n=16		Altistumattomien viiteraja (Työterveyslaitos) P95	Altistumattomien viiterajan ylittävien osuus (%)		
	(verrokki, n=30, paitsi Co, Cr n=29 ^{hh}) Md	P90	Md	P90	Md	P90		Verrokki	Kierrätystyö, ennen työvuoroa	Kierrätystyö, työvuoron lopussa
Veren kadmium (µg/l)	0,1	0,4	–	–	0,2	3	0,5 ⁱⁱ	7	–	38
Virtsan kadmium (µg/g krea) ^{jj}	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3 ⁱⁱ	13	0	0
Veren lyijy (µg/l)	7	14	–	–	20	85	13	17	–	69
Virtsan lyijy (µg/g krea)	0,3	0,9	0,6	4	0,9	5	0,6 (asetettu eri yksikössä: 0,9 µg/l)	20	43	75
Virtsan kromi (µg/g krea)	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2 (asetettu eri yksikössä: 0,3 µg/l)	13	0	6
Virtsan elohopea (µg/g krea)	0,1	0,8	0,2	0,6	0,1	0,7	0,9 (asetettu eri yksikössä: 1,4 µg/l)	6	0	6
Virtsan alumiini (µg/g krea)	2	8	2	7	2	5	6 (asetettu eri yksikössä: 8 µg/l)	13	7	0
Virtsan litium (µg/g krea)	13	31	9	20	15	31	22 (asetettu eri yksikössä: 30 µg/l)	17	0	13
Virtsan beryllium (µg/g krea)	0,03	0,09	0,01	0,08	0,02	0,07	0,02 (asetettu eri yksikössä: 0,02 µg/l)	77	21	31
Virtsan nikkeli (µg/g krea)	1	4	0,8	2	0,8	2	3 (asetettu eri yksikössä: 3 µg/l)	13	0	0
Virtsan koboltti (µg/g krea)	0,3	1	0,2	0,5	0,2	0,8	0,9 (asetettu eri yksikössä: 1,5 µg/l)	14	0	0

^{hh} Yhden verrokin virtsan koboltti- ja kromitulokset poistettu ennalta määriteltyjen kriteerien mukaisesti

ⁱⁱ Ei-tupakoivat

^{jj} Krea=kreatiniini, tulos on suhteutettu virtsan kreatiniinipitoisuuteen

3.1.3 Ftalaatit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Dimetyyliftalaatille altistuminen oli vähäistä molemmissa tutkimuskohteissa (1 ja 2). Pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan (<1 µg/m³), alle 1 % HTP_{8h}-arvosta (5 mg/m³). Näytteistä löytyi myös hyvin pieniä pitoisuuksia dibutyyliftalaattia (1,5-1,8 µg/m³) ja di-isobutyyliftalaattia (2,3-3,5 µg/m³), joille ei ole määritelty HTP-arvoja.

Biomonitorointimittaukset

DnBP:n, DiBP:n ja BBzP:n metaboliittien pitoisuuksien mediaanit ja P90-arvot olivat SER-kierrätystä tekevien työntekijöiden virtsassa hieman korkeampia kuin tutkimuksen vertailuryhmässä (Taulukko 8). DiNP:n metaboliitin mediaani jäi vertailuryhmän mediaanin alapuolelle, mutta kierrätystyötä tehneillä P90-arvo ylitti huomattavasti vertailuryhmän vastaavan. Tämä johtui yksittäisestä korkeasta mittaustuloksesta.

Biomonitoroinnin raja-arvot (HBM-GV:t) on vastikään määritelty HBM4EU-hankkeessa työperäiselle altistumiselle DEHP:lle, DnBP:lle, DiBP:lle ja BBP:lle (Lange ym. 2021). Lisäksi Porras ym. (2016) raportissa olemme laskeneet terveysperusteisen raja-arvon (ns. BE-arvon) DiNP:lle. Biomonitoroinnin raja-arvot ovat DEHP:lle (cx-MEPP) 0,62 mg/l, DnBP:lle (MnBP) 3 mg/l, DiBP:lle 3,5 mg/l, DiNP:lle (cx-MiNP) 1,15 mg/l ja BBP:lle (MBzP) 3 mg/l. Nämä voidaan muuntaa kreatiniinikorjatuiksi yksiköiksi käyttämällä keskimääräistä kreatiniinipitoisuutta 1,36 g/l, jolloin edellä mainitut BE-arvot ovat: 0,46 mg/g krea cx-MEPP:lle, 2,2 mg/g krea MnBP:lle ja MBzP:lle, 2,5 mg/krea MiBP:lle ja 0,84 mg/g krea cx-MiNP:lle. Täten sekä nyt SER-kierrätystä tehneiltä mitatut mediaani- että P90- pitoisuudet jäivät <10% raja-arvoista muiden ftalaattien kohdalla ja ≤33% DiNP:n kohdalla. Näiden ftalaattien vaikutusten voidaan katsoa olevan summautuvia, mutta myöskään yhteisaltistuminen ei täten nouse terveysriskin kannalta merkittäväksi (summa jää <100% BE-tasoista).

Minkään ftalaattimetaboliitin kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa verrattaessa ennen työvuoroa ja sen jälkeen kerättyjä näytteitä toisiinsa.

Mielenkiintoisena havaintona huomattiin, että vertailuryhmän ftalaattipitoisuuksissa oli havaittavissa selkeää laskua verrattuna Työterveyslaitoksen aiempaan, vuonna 2016 julkaistuun tutkimukseen, jossa oli mitattu 70 työssään altistumattoman verrokkihenkilön ftalaattipitoisuudet (Porras ym. 2016). Tämä väestön taustapitoisuuksien lasku liittyynee ftalaattien käytön rajoitukseen viime vuosina.

Taulukko 8. Ftalaattien biomonitorointitulokset virtsasta SER-kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persenttiilit.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokki, n=30)		Ennen työvuoroa n=14		Työvuoron lopussa n=16	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
DEHP (µg/g krea; 5-OH MEHP)	4	8	5	13	6	15
DEHP (µg/g krea; 5cx-MEPP)	6	11	10	15	10	18
DnBP (µg/g krea; MnBP)	13	35	35	69	30	56
DiBP (µg/g krea; MiBP)	10	26	23	55	24	69
BBzP (µg/g krea; MBzB)	2	12	9	39	10	26
DiNP (µg/g krea; cx-MiNP)	3	21	1	280	0,4	149

3.1.4 Palonestoaineet

Biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen palonestoaineiden mitatut mediaanit ja P90-arvot olivat SER-kierrätystä tekevillä työntekijöillä samaa tasoa tai hieman korkeampia kuin verrokeilla. Ne olivat niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu ennen työvuoron alkua ja sen jälkeen otettujen virtsanäytteiden välillä, paitsi mahdollisesti TPHP:n metaboliitin kohdalla (DHPH, $p=0,048$).

Taulukko 9. Palonestoaineiden biomonitorointitulokset virtsasta ja verestä SER-kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persenttiilit.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokit, n=30, paitsi HBCD n=23)		Ennen työvuoroa n=14		Työvuoron lopussa n=16	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
TCEP virtsasta (µg/g krea; BCEP)	0,1	0,3	0,2	1	0,2	1
TCIPP virtsasta (µg/g krea; BCIPP)	0,6	2	0,3	2	0,4	1
TDCIPP virtsasta (µg/g krea; BDCIPP)	0,5	2	0,7	4	0,7	2
TPHP virtsasta (µg/g krea; DPHP)	0,9	6	0,7	2	1	5
PBDE-yhdisteet verestä (µg/l), summa: BDE 28+47+99+100+153+154+183+209	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1
HBCD verestä (µg/l), summa: α+β+γ -isomeerit	0,01	0,01	–	–	–	–

– = ei mitattu

3.1.5 PCB-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

SER-työntekijöillä PCB 138, PCB 153 ja PCB 180 summan mediaani (0,2 µg/l) ja P90-arvo (0,5 µg/l) jäivät alle Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (1,0 µg/l 50-vuotiaat ja sitä nuoremmat, 1,8 µg/l yli 50-vuotiaat), eivätkä siis viittaa työperäiseen altistumiseen.

3.1.6 Vaikutusbiomarkerit

Retikulosyyttien mikrotuma-analyysi tehtiin yhteensä 16 työntekijän ja 7 verrokkihenkilön näytteistä, mutta 4 työntekijää ja 4 verrokkia jätettiin ulos lopullisesta tarkastelusta ennalta päätettyjen kriteerien perusteella. Lisäksi kahden työntekijän näytteistä ei saatu luotettavaa tulosta. Mikrotumien keskimääräinen osuus työntekijöiden verinäytteissä oli 9,8 ‰ (vaihteluväli 3,0-15,4 ‰, n=10) ja verrokeilla 8,3 ‰ (vaihteluväli 6,8-11,1 ‰, n=3). Ryhmäkoot jäivät pieniksi ja siksi tulosten tilastollinen tarkastelu suoritetaan osana laajempaa tulosaineistoa, joka on kerätty HBM4EU-hankkeessa.

3.2 Rakennuspurkujätteen kierrätystyö

Rakennuspurkujätteen kierrätystyössä mitattiin työhygieenisillä ilmamittauksilla altistumista hengittävälle pölylle, metalleista lyijylle, kromille ja nikkelille, useille ftalaateille, useille mikrobeille sekä bakteerien endotoksiineille (Taulukko 1). Ilmanäytteitä kerättiin tutkimuskohteessa 3 rakennusjätteenkäsittelyprosessissa kolmen työntekijän hengitysvyöhykkeeltä, kohteessa 4 neljän käsinlajittelijan hengitysvyöhykkeeltä ja kohteessa 5 seitsemän henkilön hengitysvyöhykkeiltä, joista kolme oli konekuskeja, kaksi operaattoreita, yksi tuotantotyöntekijä ja yksi työnjohtaja.

Lisäksi kerättiin laskeutunutta pölyä, josta analysoitiin useita metalleja, ftalaatteja, PCB-yhdisteitä, palonestoaineita ja mykotoksiineja (Taulukko 1). Biomonitorointinäytteistä (veri ja virtsa) analysoitiin useita metalleja, ftalaatteja, palonestoaineita, PCB-yhdisteitä, PFAS-yhdisteitä ja homeiden mykotoksiineja.

3.2.1 Pöly

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Hengittävän epäorgaanisen pölyn pitoisuudet työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä vaihtelivat tutkimuskohteissa työtehtävien mukaisesti, ollen 0,8-37 mg/m³ eli 8-370 % HTP_{8h}-arvosta (10 mg/m³). Useiden työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitatut epäorgaanisen pölyn pitoisuudet ylittivät Työterveyslaitoksen tavoitetason (2 mg/m³). Kaikissa tutkimuskohteissa työntekijöillä oli käytettävissään hengityksensuojaimet, mittaukset tehtiin niiden ulkopuolelta.

Tutkimuskohteessa 3 korkein mitattu pitoisuus oli huoltomiehen hengitysvyöhykkeellä, 8,9 mg/m³ eli 89 % HTP_{8h}-arvosta. Myös materiaalikoneen kuljettajan hengitysvyöhykkeeltä mitattu epäorgaanisen pölyn pitoisuus (3,1 mg/m³) ylitti Työterveyslaitoksen antaman tavoitetason. Pyöräkoneen kuljettajan hengitysvyöhykkeeltä mitattu pitoisuus oli 0,95 mg/m³.

Tutkimuskohteessa 4 kaikkien neljän käsinlajittelua tekevän työntekijän hengitysvyöhykkeeltä mitatut epäorgaanisen pölyn pitoisuudet olivat hyvin korkeita, 21–37 mg/m³ (210–370 % HTP_{8h}-arvosta).

Tutkimuskohteessa 5 korkeimmat hengittävän epäorgaanisen pölyn pitoisuudet mitattiin operaattorin (24 mg/m³) ja yhden konekuskin (32 mg/m³) hengitysvyöhykkeiltä. Kahden muun konekuskin hengitysvyöhykkeiltä mitatut pölyn pitoisuudet olivat 5,0 mg/m³ ja 0,78 mg/m³. Myös tuotantotyöntekijän hengitysvyöhykkeeltä mitattu hengittävän epäorgaanisen pölyn pitoisuus (2,7 mg/m³) ylitti Työterveyslaitoksen antaman tavoitetason. Työnjohtajan hengitysvyöhykkeeltä mitattu pölyn pitoisuus oli 1,4 mg/m³.

Pinnoille laskeutuneesta pölystä tehdyt mittaukset

Alla olevassa taulukossa on esitetty pinnoille laskeutuneesta pölystä analysoitujen altisteiden pitoisuudet. Tutkimuskohteiden 3–5 kaikkien näytteiden tuloksissa nousi esiin erityisesti useat metallit, erityisesti tutkimuskohteessa 5, sekä muutamia palonestoaineita, erityisesti TCIPP (**Taulukko 10**). Lisäksi kahdessa tutkimuskohteessa havaittiin mykotoksiineja ROQ C ja STE.

Taulukko 10. Pinnoille laskeutuneesta pölystä mitatut pitoisuudet rakennuspurkujätteen kierrätystyössä.

Altiste-ryhmä	Analysoitu aine	Tutkimuskohde 3 Keräyspiste: murskan takaa lattialta (µg/g pölyä)	Tutkimuskohde 4 Keräyspiste: Hihnankuljettimen kotelon päältä (µg/g pölyä)	Tutkimuskohde 5 Keräyspiste: Pölynpoisto- järjestelmästä (µg/g pölyä)	Vertailuarvo, kotiympäristö (µg/g pölyä)
Metallit	Litium	2	2	24	<MR (1,0)
	Alumiini	1840	2090	22900	320
	Titaani	142	143	1410	13
	Kromi	19	18	180	13
	Magnaani	57	59	636	2
	Rauta	2210	2140	18900	55
	Nikkeli	15	8	61	<MR
	Koboltti	2	2	24	<MR
	Kupari	16	21	112	35
	Sinkki	100	109	499	98
	Arseeni	1	<MR	6	<MR (1)
	Seleeni	<MR	<MR	<MR	<MR
	Kadmium	<MR	<MR	<MR	<MR
	Tina	104	91	81	90
	Antimoni	<MR	<MR	1	4
	Elohopea	<MR	<MR	<MR	<MR
	Telluuri	<MR	<MR	<MR	<MR
Lyijy	15	21	713	1	
Ftalaatit	DEP	<MR (1)	<MR (1)	<MR (1)	1
	DMP	3	2	<MR	<MR (1)
	DnBP	4	11	4	5
	BBzP	3	11	2	3
	DEHP	80	87	32	31
	DOP	<MR	1	<MR	<MR (1)
PCB-yhdisteet	PCB 28	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 52	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 101	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 118	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 138	<MR	0.2	<MR	<MR (0,1)
	PCB 153	<MR	0.1	<MR	<MR (0,1)
	PCB 180	<MR	0.2	<MR	<MR (0,1)

Altiste-ryhmä	Analysoitu aine	Tutkimuskohde 3 Keräyspiste: murskan takaa lattialta (µg/g pölyä)	Tutkimuskohde 4 Keräyspiste: Hihnankuljettimen kotelon päältä (µg/g pölyä)	Tutkimuskohde 5 Keräyspiste: Pölynpoisto- järjestelmästä (µg/g pölyä)	Vertailuarvo, kotiympäristö (µg/g pölyä)
Palonesto- aineet	EHDPP	<MR	<MR	<MR	<MR
	TBP	<MR	<MR	<MR	<MR
Organo- fosfaatit ja bromatut	TPHP	<MR	<MR	<MR	<MR
	TBEP	2	4	1	<MR (1)
	TCEP	4	<MR	<1.0	<MR (1)
	TCIPP	256	69	8	5
	TDCIPP	<MR	<MR	<MR	<MR
	TEHP	<MR	6	<MR	<MR (1)
	BDE 28	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 47	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 99	0.2	<MR	<MR	<MR (0.1)
	BDE 100	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 153	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 154	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 183	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 209	2	3	<MR	<MR (1)
Myko- toksiinit	AF	<MR	<MR	<MR	<MR
	DON	<MR	<MR	<MR	<MR
	FB	<MR	<MR	<MR	<MR
	NIV	<MR	<MR	<MR	<MR
	OT-α	<MR	<MR	<MR	<MR
	ROQ C	<MR	10	5	<MR
	STE	<MR	8	<MR	<MR

3.2.2 Metallit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Hengittyvästä pölystä analysoiduille metalleille (kromille, nikkelle ja lyijylle) altistuminen oli vähäistä rakennuspurkujätteen kierrätystyössä. Pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä ollen 0,1-10 % HTP_{8h}-arvoista.

Kromin pitoisuudet olivat <0,00044-0,0051 mg/m³, <1 % HTP_{8h}-arvosta (0,5 mg/m³).

Nikkelin pitoisuudet olivat <0,00011-0,0026 mg/m³, <0,2-5 % HTP_{8h}-arvosta (0,05 mg/m³).

Lyijyn pitoisuudet olivat <0,000064-0,010 mg/m³, <0,1-10 % sitovan raja-arvosta (0,1 mg/m³) ja alle EU-komission ehdottaman uuden sitovan raja-arvon tason (0,03 mg/m³).

Biomonitorointimittaukset

Rakennuspurkujätteen kierrätystyötä tekevien metallien biomonitorointitulokset on esitetty alla olevassa taulukossa. Tarkasteltaessa altistumattomien viiterajan ylittävien työntekijöiden osuutta, tuloksista nousee esiin virtsan beryllium, koboltti ja litium, veren ja virtsan kadmium sekä veren lyijy (Taulukko 11).

Virtsan beryllium: Kierrätystyötä tehneistä 46 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan ennen työvuoroa otettujen näytteiden osalta ja 71 % työvuoron jälkeen otettujen näytteiden osalta. Verrokeistakin kuitenkin valtaosa, 77 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan. Kierrätystyötä tekevien tulosten mediaanit ja P90-arvot olivat samaa tasoa kuin vertailuryhmällä eikä ennen ja jälkeen työvuoron otetuissa pitoisuuksissa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p=0,116$). Näin ollen tulokset eivät viittaa työperäiseen altistumiseen kierrätystyötä tekevien osalta. Syy tässä tutkimuksessa havaittuun sekä kierrätystyöntekijöiden että verrokkien altistumattomien viiterajan ylityksiin jää epäselväksi. Kuten SER-tulostenkin kohdalla on kuvattu (luku 3.1.2 Biomonitorointimittaukset), voi olla, että nyt havaitut ylitykset liittyvät normaaliin variaatioon väestössä, koska joka tapauksessa liikutaan hyvin matalissa pitoisuuksissa.

Virtsan koboltti: Sekä verrokeista että kierrätystyötä tehneistä (työvuoron jälkeen) 14 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan. Ennen työvuoroa kierrätystyötä tehneistä kukaan ei ylittänyt viiterajaa. Ennen ja jälkeen työvuoron otettujen näytteiden kobolttipitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p=0,209$). Myöskään mediaanit ja P90-arvot eivät poikenneet toisistaan olennaisesti altistavaa työtä tehneiden ja verrokkien ryhmissä. Nämä tulokset eivät siten viittaa merkittävään altistumiseen koboltille rakennuspurkujätteen kierrätyksessä.

Virtsan litium: Kierrätystyötä tehneistä 21 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan, mutta myös verrokeista 17 % ylitti sen. Kierrätystyötä tekevien tulosten mediaanit ja P90-arvot olivat kuitenkin samansuuruisia kuin vertailuryhmällä eikä ennen työvuoroa ja sen jälkeen otettujen virtsanäytteiden pitoisuuksissa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Tulokset eivät siis viittaa työperäiseen altistumiseen.

Veren kadmium: 36 % kierrätystyötä tehneistä ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (joka koskee ei-tupakoivia), kun verrokeista sen ylitti odotusarvon mukaisesti 7 %. Veren kadmiumpitoisuus kuvastaa kuitenkin ainoastaan lyhytaikaista kadmiumaltistumista, jota voivat nostaa myös muut tekijät kuin työperäinen altistuminen, erityisesti tupakointi. Tämän takia Työterveyslaitoksen uusien suositusten mukaan veren kadmiumpitoisuuden määrittystä ei suositella käytettäväksi tupakoitsijoilla. Kaikki kierrätystyötä tehneistä altistumattomien viiterajan ylittäneistä olivat tupakoitsijoita.

Virtsan kadmium: Virtsan kadmiumpitoisuus taas kuvastaa pidempiaikaista altistumista, ja on luotettavampi mittari työperäisen altistumisen arviointiin. Rakennuspurkujätteen kierrätystä tekevästä altistumattomien viiterajan ylitti sekä ennen että jälkeen työvuoron 21–23 %, kun verrokeista viiterajan ylitti 13 %. Virtsan kadmiumpitoisuuksien mediaanit ja P90-arvot olivat samalla tasolla tai lievästi korkeampia kuin Työterveyslaitoksen altistumattomien viiteraja. Ennen työvuoroa ja työviikon lopulla kerättyjen näytteiden pitoisuuksien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p=0,136$). Pieni ero työntekijöiden ja verrokkien välillä saattaa johtua eroista tupakointifrekvenssissä, koska tupakointi nostaa myös virtsan kadmiumpitoisuuksia, joskin vähemmän kuin veren kadmiumpitoisuuksia.

Lyijy: Veressä esiintyvä pitoisuus kuvastaa pidempiaikaista lyijyaltistumista ja virtsassa esiintyvä pitoisuus lyhytaikaista. Verinäytteiden osalta kierrätystyötä tehneistä 14 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (työvuoron jälkeen otetut näytteet). Verrokeista viiterajan ylitti vastaavasti 17 %. Virtsan lyijypitoisuuksien osalta kierrätystyötä tehneistä viiterajan ylitti odotetusti 7–8 %, kun verrokeista sen ylitti 20 %. Vaikka veren lyijypitoisuuksien osalta kierrätystyötä tehneiden mediaanit ja P90-arvot olivat hieman verrokkeja korkeampia, kaiken kaikkiaan pitoisuudet olivat matalia ja yllämainitut erot liittyivät lähinnä

satunnaisvaihteluun väestössä, joka tulee esiin pienen otoskoon takia. Nyt mitatut virtsan lyijypitoisuudet eivät viittaa viimeaikaiseen työperäiseen altistumiseen kierrätystyötä tehneillä.

Mitatut virtsan indiumpitoisuudet olivat alle määrittäysrajan kaikilla työntekijöillä (data ei näkyvässä).

Taulukko 11. Metallien biomonitorointitulokset verestä ja virtsasta rakennuspurkujätteen kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persenttiilit. Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajat ovat ei-työperäisesti altistuvan väestön 95. persenttiilejä.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokki, n=30, paitsi Co, Cr n=29 ^{hh})		Ennen työvuoroa n=12		Työvuoron lopussa n=14		Altistumattomien viiteraja (Työterveyslaitos) P95	Altistumattomien viiterajan ylittävien osuus (%)		
	Md	P90	Md	P90	Md	P90		Verrokki	Kierrätystyö, ennen työvuoroa	Kierrätystyö, työvuoron lopussa
Veren kadmium (µg/l)	0,1	0,4	–	–	0,2	2	0,5 ⁱⁱ	7	–	36
Virtsan kadmium (µg/g krea) ^{jj}	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1	0,4	0,3 ⁱⁱ	13	23	21
Veren lyijy (µg/l)	7	14	–	–	9	20	13	17	–	14
Virtsan lyijy (µg/g krea)	0,3	0,9	0,3	0,6	0,4	0,6	0,6 (asetettu eri yksikössä: 0,9 µg/l)	20	8	7
Virtsan kromi (µg/g krea)	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2 (asetettu eri yksikössä: 0,3 µg/l)	13	15	7
Virtsan elohopea (µg/g krea)	0,1	0,8	0,1	0,4	0,1	0,3	0,9 (asetettu eri yksikössä: 1,4 µg/l)	6	0	0
Virtsan alumiini (µg/g krea)	2	8	2	4	2	4	6 (asetettu eri yksikössä: 8 µg/l)	13	0	0
Virtsan litium (µg/g krea)	13	31	10	17	12	29	22 (asetettu eri yksikössä: 30 µg/l)	17	0	21
Virtsan beryllium (µg/g krea)	0,03	0,09	0,02	0,1	0,03	0,1	0,02 (asetettu eri yksikössä: 0,02 µg/l)	77	46	71
Virtsan nikkeli (µg/g krea)	1	4	0,8	2	1	4	3 (asetettu eri yksikössä: 3 µg/l)	13	0	7
Virtsan koboltti (µg/g krea)	0,3	1	0,2	0,6	0,2	1	0,9 (asetettu eri yksikössä: 1,5 µg/l)	14	0	14

3.2.3 Ftalaatit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Ftalaateille altistuminen oli vähäistä (tutkimuskohteissa 3, 4 ja 5). Dimetyyliftalaatin pitoisuudet olivat <1-0,8 µg/m³, alle 1 % HTP_{8h}-arvosta (5 mg/m³). Näytteistä löytyi myös pieniä pitoisuuksia dibutyyliftalaattia (1-1,8 µg/m³), di-isobutyyliftalaattia (0,7-1,1 µg/m³) ja di-(2-etyyliheksyyli)ftalaattia (1,9-3,1 µg/m³) joille ei ole määritelty HTP-arvoja.

Biomonitorointimittaukset

Kaikkien mitattujen ftalaattimetaboliittien mediaanit olivat samaa tasoa rakennuspurkujätteen kierrätystyötä tekeville ja verrokeilla (Taulukko 12). Myös P90-arvot olivat kierrätystyötä tekeville pääasiassa samaa tasoa tai hieman korkeampia kuin verrokeilla. Käyttäen samoja virtsapitoisuuksien raja-arvoja kuin SER-kierrätystä tehneiden ftalaattipitoisuuksien arvioinnissa, kaikki mitatut pitoisuudet jäivät selvästi alle 10%:iin näistä raja-arvoista, eikä niiden siten katsota aiheuttavan terveysriskiä aikuiselle.

Minkään ftalaattimetaboliitin kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää kasvua verrattaessa ennen työvuoroa ja sen jälkeen kerättyjä näytteitä toisiinsa. Päinvastoin sekä DEHP:in että DiBP:n kohdalla ennen työvuoroa otetuissa näytteissä pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi korkeampia kuin työvuoron jälkeen otetuissa näytteissä.

Taulukko 12. Ftalaattien biomonitorointitulokset virtsasta rakennuspurkujätteen kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokki, n=30)		Ennen työvuoroa n=12		Työvuoron lopussa n=14	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
DEHP (µg/g krea; 5-OH MEHP)	4	8	3	15	2	5
DEHP (µg/g krea; 5cx-MEPP)	6	11	4	16	2	9
DnBP (µg/g krea; MnBP)	13	35	14	91	11	24
DiBP (µg/g krea; MiBP)	10	26	8	45	6	23
BBzP (µg/g krea; MBzB)	2	12	4	8	2	10
DiNP (µg/g krea; cx-MiNP)	3	21	2	35	2	9

3.2.4 Palonestoaineet

Biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen palonestoaineiden mitatut mediaanit ja P90-arvot olivat rakennuspurkujätteen kierrätystä tekeville työntekijöillä pääasiassa samaa tasoa kuin verrokeilla (Taulukko 13). Ne olivat niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa (Plichta ym. 2022). Tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu ennen työvuoron alkua ja sen jälkeen otettujen virtsanäytteiden välillä, paitsi TCIPP:n metaboliitin kohdalla (BCIPP, p=0,005).

Taulukko 13. Palonestoaineiden biomonitoointitulokset virtsasta ja verestä rakennuspurkujätteen kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo		Ennen työvuoroa		Työvuoron lopussa	
	(verrokkit, n=30, paitsi HBCD n=23)		n=12		n=14	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
TCEP virtsasta (µg/g krea; BCEP)	0,1	0,3	0,1	0,9	0,1	0,3
TCIPP virtsasta (µg/g krea; BCIPP)	0,6	2	0,3	1	0,4	1
TDCIPP virtsasta (µg/g krea; BDCIPP)	0,5	2	0,9	3	0,7	2
TPHP virtsasta (µg/g krea; DPHP)	0,9	6	0,7	3	0,7	2
PBDE-yhdisteet verestä (µg/l), summa: BDE 28+47+99+100+153+154	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1
HBCD verestä (µg/l), summa: α+β+γ -isomeerit	0,01	0,01	–	–	0,01	0,01

– = ei mitattu

3.2.5 PFAS-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen PFAS-yhdisteiden mediaanit ja P90-arvot olivat rakennuspurkujätteen kierrätystä tekeillä työntekijöillä samaa tasoa tai lievästi korkeampia (PFOA) kuin verrokeilla (Taulukko 14). Ne olivat kuitenkin niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa aikuisille. Raja-arvot, joita väestön PFAS-altistumiselle on viime vuosina annettu, perustuvat herkimpään yksilöiden eli sikiöiden ja pikkulasten suojelemiseen (Hölzer ym. 2021).

Mielenkiintoinen havainto oli, että tässä tutkimuksessa sekä verrokkien että työntekijöiden PFAS-pitoisuuksien (erityisesti PFOA:n ja PFOS:in) mediaanit olivat selkeästi matalampia kuin THL:n vuonna 2014 tekemässä väestön PFAS-altistumista koskevassa tutkimuksessa (Wallenius ym. 2023) (taulukko 7). Tämä kuvastaa todennäköisesti väestön PFAS-tasojen laskua niiden käytön rajoitusten vuoksi.

Taulukko 14. PFAS-yhdisteiden biomonitoointitulokset verestä rakennuspurkujätteen kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (µg/l)	Vertailuarvo		Ennen työvuoroa		Työvuoron lopussa	
	(verrokkit, n =23)		n=14		n=14	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
PFOA	0,6	1	–	–	1	2
PFOS	1	4	–	–	1	6
PFNA	0,5	1	–	–	0,5	4
PFHxS	0,4	1	–	–	0,7	1

– = ei mitattu

3.2.6 PCB-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

Rakennuspurkujätteen kierrätystyötä tekevillä PCB 138, PCB 153 ja PCB 180 summan mediaani (0,2 µg/l) ja P90-arvo (0,7 µg/l) jäivät alle Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (1,0 µg/l 50-vuotiaat ja sitä nuoremmat ja 1,8 µg/l yli 50-vuotiaat). Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan ylityksiä ei ollut verrokeilla eikä kierrätystyötä tekevillä.

3.2.7 Mikrobit, endotoksiinit ja mykotoksiinit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Biologisille tekijöille altistuminen voi olla merkittävää rakennuspurkujätteitä sisätiloissa käsittelevillä työntekijöillä. Ilman bakteeripitoisuudet vaihtelivat vähäisestä merkittävään työtehtävien mukaisesti työntekijöiden (yhteensä 5 hlö) hengitysvyöhykkeellä ollen $5,0 \times 10^2$ – $2,3 \times 10^6$ pmy/m³ ja samoin homesienipitoisuudet $2,4 \times 10^2$ – $3,3 \times 10^5$ pmy/m³. Homeista suurin osa oli *Aspergillus* ja *Penicillium* -sukujen homesieniä, ja bakteerien joukossa oli runsaasti *Streptomyces* -suvun aktinomykkeettejä (sädesieniä). Rakennuspurkujätteitä sisätiloissa käsittelevien työntekijöiden (yhteensä 4 hlö) hengitysvyöhykkeeltä mitattu endotoksiinipitoisuus vaihteli 13–110 % terveysperusteisesta viitearvosta.

Neljän konekuskin ohjaamoista mitattu ilman bakteeripitoisuus oli matalia, alle määritysrajan $<3,6$ – $6,9 \times 10^2$ pmy/m³ ja homesienipitoisuus $\leq 3,5 \times 10^2$ – $6,2 \times 10^3$ pmy/m³. Heidän hengitysvyöhykkeeltään mitattu endotoksiinipitoisuus oli 4–41 % terveysperusteisesta viitearvosta. Viidennen konekuskin ohjaamossa bakteeripitoisuus oli huomattavasti korkeampi $2,1 \times 10^6$ pmy/m³ ja homesienipitoisuus oli $5,2$ – $6,7 \times 10^5$ pmy/m³. Näistä suurin osa oli *Aspergillus* ja *Penicillium* -sukujen homesieniä, ja bakteerien joukossa oli runsaasti *Streptomyces* -suvun aktinomykkeettejä. Hänen hengitysvyöhykkeeltään mitattu endotoksiinipitoisuus oli 41 % terveysperusteisesta viitearvosta.

Mykotoksiinien biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen mykotoksiinien mediaanit ja P90-arvot olivat rakennuspurkujätteen kierrätystä tekevillä työntekijöillä samaa tasoa kuin verrokeilla (Taulukko 15). Ainoastaan ennen työvuoroa otetuissa virtsanäytteissä DON-pitoisuuksien P90-arvo ylitti selvästi verrokkien vastaavan, mutta tämä ei todennäköisesti liity työperäiseen altistumiseen, sillä DON:in erittyminen virtsaan on hyvin nopeaa (Apel ym. 2022).

Taulukko 15. Mykotoksiinien biomonitorointitulokset virtsasta ja verestä rakennuspurkujätteen kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persenttiilit.

Altiste (yksikkö)	Vertailuarvo (verrokot, n =23)		Ennen työvuoroa n=12		Työvuoron lopussa n=14	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
	virtsan AF (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren AF (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan DON (µg/g krea)	0,8	3	0,5	11	0,6	4
veren DON (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan FB (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren FB (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan NIV (µg/g krea)	2	7	1	2	2	8
veren NIV (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan OT (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren OT (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
veren ROQ C (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan STE (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren STE (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan TEA (µg/g krea)	esiintyi*	esiintyi	ei esiintynyt	esiintyi	esiintyi	esiintyi
veren TEA (µg/l)	<MR	12	–	–	<MR	7
virtsan ZEN (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren ZEN (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR

– = ei mitattu

* virtsan TEA-pitoisuutta ei kvantifioitu, ainoastaan mitattiin esiintyikö mykotoksiinia näytteissä vai ei. Yli 50 %:lla verrokeista TEA:a esiintyi virtsassa

3.3 Rakennuspurkutyö

Rakennuspurkutyössä kerättiin kahdella eri rakennuspurkutyömaalla ilmanäytteitä yhteensä kolmen rakennuspurkua tekevän työntekijän ja yhden purkukoneen kuljettajan hengitysvyöhykkeeltä. Työhygieenisillä ilmamittauksilla tutkittiin altistumista hengittävälle pölylle, metalleista lyijylle, kromille ja nikkelille (ja yhdellä työmaalla myös kadmiumille), useille ftalaateille, useille mikrobeille sekä bakteerien endotoksiineille (Taulukko 1). Ilmanäytteitä kerättiin työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä. Laskeutunutta pölyä ei kerätty.

Biomonitorointinäytteitä kerättiin yhteensä seitsemältä rakennuspurkutyömaalta. Biomonitorointinäytteistä (veri ja virtsa) analysoitiin useita metalleja, ftalaatteja, palonestoaineita, PCB-yhdisteitä, PFAS-yhdisteitä ja homeiden mykotoksiineja (Taulukko 1).

3.3.1 Pöly

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Hengittyvälle pölylle altistuminen oli korkeintaan kohtalaista tutkimuskohteessa 6. Pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä ollen 0,21-2,6 mg/m³, 2,1-26 % HTP_{8h}-arvosta (10 mg/m³). Purkajien altistuminen hengittyvälle pölylle oli kohtalaista (21-26 % HTP_{8h}-arvosta) ja yli Työterveyslaitoksen antaman tavoitetason (2 mg/m³).

3.3.2 Metallit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Hengittyvästä pölystä analysoiduille metalleille (kadmiumille, sinkille, kromille, nikkelille ja lyijylle) altistuminen oli vähäistä tutkimuskohteessa 6. Pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä.

Kromin pitoisuudet olivat <0,00025-0,00132 mg/m³, <0,1-0,3% HTP_{8h}-arvosta (0,5 mg/m³).

Nikkelin pitoisuudet olivat <0,0001-0,00089 mg/m³, <0,2-1,8 HTP_{8h}-arvosta (0,05 mg/m³).

Lyijyn pitoisuudet olivat 0,00004-0,00047 mg/m³, 0,1-0,5 % sitovasta raja-arvosta (0,1 mg/m³) ja alle EU-komission ehdottaman uuden sitovan raja-arvon tason (0,03 mg/m³).

Kadmiumin pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan <0,00015 mg/m³, <3,8 % HTP_{8h}-arvosta (0,004 mg/m³).

Sinkin pitoisuudet olivat 0,00051-0,00086 mg/m³, <0,1 % HTP_{8h}-arvosta (1 mg/m³).

Biomonitorointimittaukset

Rakennuspurkutyötä tekevien metallien biomonitorointitulokset on esitetty alla olevassa taulukossa. Tarkasteltaessa altistumattomien viiterajan ylittävien työntekijöiden osuutta, tuloksista nousee esiin virtsan beryllium, veren kadmium sekä veren ja virtsan lyijy (Taulukko 16).

Virtsan beryllium: Kierrätystyötä tehneistä 9 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan ennen työvuoroa otettujen näytteiden osalta ja 27 % työvuoron jälkeen otettujen näytteiden osalta. Verrokeistakin kuitenkin valtaosa, 77 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan. Kierrätystyötä tekevien tulosten mediaanit ja P90-arvot olivat matalampia kuin vertailuryhmällä sekä ennen että jälkeen työvuoron näytteiden osalta. Ennen ja jälkeen työvuoron otettujen näytteiden pitoisuuksissa oli tilastollisesti merkitsevä ero (p=0,003). Syy tässä tutkimuksessa havaittuun sekä purkutyöntekijöiden että verrokkien altistumattomien viiterajan ylityksiin jää epäselväksi. Kuten SER-tulostenkin kohdalla on kuvattu (luku 3.1.2

Biomonitorointimittaukset), voi olla, että nyt havaitut ylitykset liittyvät normaaliin variaatioon väestössä, koska joka tapauksessa liikutaan hyvin matalissa pitoisuuksissa.

Veren kadmium: 36 % purkutyötä tehneistä ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (joka koskee ei-tupakoivia), kun verrokeista sen ylitti odotusarvon mukaisesti 7 %. Veren kadmiumpitoisuus kuvastaa kuitenkin ainoastaan lyhytaikaista kadmiumaltistumista, jota voivat nostaa myös muut tekijät kuin työperäinen altistuminen, erityisesti tupakointi. Tämän takia Työterveyslaitoksen uusien suositusten mukaan veren kadmiumpitoisuuden määrittästä ei suositella käytettäväksi tupakoitsijoilla. Kaikki purkutyötä tehneistä altistumattomien viiterajan ylittäneistä olivat tupakoitsijoita.

Virtsan kadmium: Virtsan kadmiumpitoisuus taas kuvastaa pidempiaikaista altistumista, ja on luotettavampi mittari työperäisen altistumisen arviointiin. Rakennuspurkujätteen kierrätystä tekevistä kukaan ei ylittänyt altistumattomien viiterajan ennen tai jälkeen työvuoron, kun verrokeista viiterajan ylitti 13 %. Myöskään ennen ja jälkeen työvuoron otetuissa näytteissä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kadmiumpitoisuuksissa ($p=0,374$). Siten työperäinen altistuminen ei ole todennäköistä eivätkä todennäköisesti myöskään em. kohonneet veren kadmiumpitoisuudet johtuneet työperäisestä altistumisesta.

Lyijy: Veressä esiintyvä pitoisuus kuvastaa pidempiaikaista lyijyaltistumista ja virtsassa esiintyvä pitoisuus lyhytaikaista. Virtsan lyijypitoisuuksien osalta kierrätystyötä tehneistä viiterajan ylitti 18 %, kun verrokeista sen ylitti vastaavasti 20 %. Virtsan lyijypitoisuuksien mediaanit ja P90-arvot olivat samaa luokkaa purkutyötä tehneillä ja verrokeilla, eikä purkutyöntekijöiden virtsanäytteiden pitoisuuksissa ennen ja jälkeen työvuoron ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p=0,374$). Virtsan lyijypitoisuudet eivät siis viittaa viimeaikaiseen työperäiseen altistumiseen kierrätystyötä tehneillä. Verinäytteiden osalta purkutyötä tehneistä 45 % ylitti Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan, verrokeista viiterajan ylitti 17 %. Veren lyijypitoisuuksien osalta kierrätystyötä tehneiden mediaanit ja erityisesti P90-arvot olivat verrokeja korkeampia, mutta erot olivat pieniä ja selkeämmin koholla oleva P90-taso selittyi yksittäisellä korkeammalla mittaustuloksella. Erot saattavat siten liittyä satunnaisvaihteluun väestössä, joka tulee esiin pienen otoskoon takia. Kaikki veren lyijypitoisuudet olivat lisäksi selkeästi alle terveysperusteisten viiterajojen, ja matalampia kuin SER-kierrätystä tekevillä, joiden kohdalla oli havaittavissa selkeää työperäistä altistumista.

Mitatut virtsan indiumpitoisuudet olivat alle määräysrajan kaikilla työntekijöillä (data ei näkyvässä).

Taulukko 16. Metallien biomonitorointitulokset verestä ja virtsasta rakennuspurkutyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit. Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajat ovat ei-työperäisesti altistuvan väestön 95. persentileijä.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokki, n=30, paitsi Co, Cr n=29 ^{hh})		Ennen työvuoroa n=11		Työvuoron lopussa n=11		Altistumattomien viiteraja (Työterveyslaitos) P95	Altistumattomien viiterajan ylittävien osuus (%)		
	Md	P90	Md	P90	Md	P90		Verrokki	Purkutyö, ennen työvuoroa	Purkutyö, työvuoron lopussa
Veren kadmium (µg/l)	0,1	0,4	–	–	0,3	2	0,5 ⁱⁱ	7	–	36
Virtsan kadmium (µg/g krea) ^{jj}	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3 ⁱⁱ	13	0	0
Veren lyijy (µg/l)	7	14	–	–	10	43	13	17	–	45
Virtsan lyijy (µg/g krea)	0,3	0,9	0,4	1	0,4	2	0,6 (asetettu eri yksikössä: 0,9 µg/l)	20	9	18
Virtsan kromi (µg/g krea)	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2 (asetettu eri yksikössä: 0,3 µg/l)	13	0	9
Virtsan elohopea (µg/g krea)	0,1	0,8	0,1	0,4	0,1	0,4	0,9 (asetettu eri yksikössä: 1,4 µg/l)	6	0	0
Virtsan alumiini (µg/g krea)	2	8	1	2	2	7	6 (asetettu eri yksikössä: 8 µg/l)	13	0	9
Virtsan litium (µg/g krea)	13	31	11	16	8	37	22 (asetettu eri yksikössä: 30 µg/l)	17	0	9
Virtsan beryllium (µg/g krea)	0,03	0,09	0,01	0,02	0,01	0,06	0,02 (asetettu eri yksikössä: 0,02 µg/l)	77	9	27
Virtsan nikkeli (µg/g krea)	1	4	1	1	1	1	3 (asetettu eri yksikössä: 3 µg/l)	13	0	0
Virtsan koboltti (µg/g krea)	0,3	1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,9 (asetettu eri yksikössä: 1,5 µg/l)	14	0	0

3.3.3 Ftalaatit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Ftalaateille altistuminen oli vähäistä tutkimuskohteessa 6. Dimetyyliftalaatin pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan <1 - <1,9 µg/m³, <1 % HTP_{8h}-arvosta (5 mg/m³). Näytteistä löytyi myös pieniä pitoisuuksia butyylibentsyyliftalaattia (<1-3,4 µg/m³), dibutyyliftalaattia (1,3-2 µg/m³), di-isobutyyliftalaattia (1,1-2,6 µg/m³) ja di-(2-etyyliheksyyli)ftalaattia (2,7-3,9 µg/m³) joille ei ole määritelty HTP-arvoja.

Biomonitorointimittaukset

Mitattujen ftalaattimetaboliittien mediaanit ja P90-arvot olivat pääasiassa samaa tasoa tai hieman matalampia rakennuspurkutyötä tekevillä kuin verrokeilla (Taulukko 17). Käyttäen samoja virtsapitoisuuksien raja-arvoja kuin SER-kierrätystä tehneiden ftalaattipitoisuuksien arvioinnissa, kaikki mitatut pitoisuudet jäivät selvästi alle pitoisuuksien, joiden katsotaan aiheuttavan terveysriskiä aikuiselle.

Minkään ftalaattimetaboliitin kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää kasvua verrattaessa ennen työvuoroa ja sen jälkeen kerättyjä näytteitä toisiinsa. Päinvastoin useampien metaboliittien kohdalla ennen työvuoroa otetuissa näytteissä pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi korkeampia kuin työvuoron jälkeen otetuissa näytteissä.

Taulukko 17. Ftalaattien biomonitorointitulokset virtsasta rakennuspurkutyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokit, n=30)		Ennen työvuoroa n=11		Työvuoron lopussa n=11	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
DEHP (µg/g krea; 5-OH MEHP)	4	8	3	7	1	5
DEHP (µg/g krea; 5cx-MEPP)	6	11	3	7	2	5
DnBP (µg/g krea; MnBP)	13	35	12	21	6	16
DiBP (µg/g krea; MiBP)	10	26	7	32	4	7
BBzP (µg/g krea; MBzB)	2	12	2	9	1	10
DiNP (µg/g krea; cx-MiNP)	3	21	4	13	3	17

3.3.4 Palonestoaineet

Biomonitorointimittaukset

Palonestoaineista TDCIPP:n metaboliitin P90-arvot olivat rakennuspurkutyötä tekevillä työntekijöillä hieman korkeampia kuin verrokeilla. Ne ja kaikki muutkin mitatut pitoisuudet olivat kuitenkin niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu ennen työvuoron alkua ja sen jälkeen otettujen virtsanäytteiden välillä.

Taulukko 18. Palonestoaineiden biomonitorointitulokset virtsasta ja verestä rakennuspurkutyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo		Ennen työvuoroa		Työvuoron lopussa	
	(verrokot, n=30, paitsi HBCD n=23)		n=11		n=11	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
TCEP virtsasta (µg/g krea; BCEP)	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,5
TCIPP virtsasta (µg/g krea; BCIPP)	0,6	2	0,2	1	0,2	0,5
TDCIPP virtsasta (µg/g krea; BDCIPP)	0,5	2	0,7	7	0,7	11
TPHP virtsasta (µg/g krea; DPHP)	0,9	6	0,9	2	0,5	3
PBDE-yhdisteet verestä (µg/l), summa: BDE 28+47+99+100+153+154	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1
HBCD verestä (µg/l), summa: α+β+γ -isomeerit	0,01	0,01	–	–	0,01	0,01

– = ei mitattu

3.3.5 PFAS-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen PFAS-yhdisteiden mediaanit ja P90-arvot olivat rakennuspurkutyötä tekeillä työntekijöillä samaa tasoa tai lievästi korkeampia (PFOA) kuin verrokeilla (Taulukko 19). Ne olivat kuitenkin niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa aikuisille (ks. myös yllä kappale 3.2.5).

Taulukko 19. PFAS-yhdisteiden biomonitorointitulokset verestä rakennuspurkutyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (µg/l)	Vertailuarvo		Ennen työvuoroa		Työvuoron lopussa	
	(verrokot, n =23)		n=11		n=11	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
PFOA	0,6	1	–	–	1	2
PFOS	1	4	–	–	1	2
PFNA	0,5	1	–	–	0,5	0,7
PFHxS	0,4	1	–	–	0,6	1

– = ei mitattu

3.3.6 PCB-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

Rakennuspurkutyötä tekeillä PCB 138, PCB 153 ja PCB 180 summan mediaani (0,2 µg/l) ja P90-arvo (0,9 µg/l) jäivät alle Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (1,0 µg/l 50-vuotiaat ja sitä nuoremmat ja 1,8 µg/l yli 50-vuotiaat). Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan ylityksiä ei ollut verrokeilla eikä kierrätystyötä tekeillä.

3.3.7 Mikrobit, endotoksiinit ja mykotoksiinit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Ulkona tapahtuvassa rakennuksen purkutyössä mitattujen bakteerien ja homesienten pitoisuudet olivat pieniä ($<4 \times 10^2$ pmy/m³) ja endotoksiinien pitoisuudet olivat alle määrittärajän ($<1,1$ EU/m³). Ilmamittaukset tehtiin purkukoneen ohjaamossa ja ulkona kenttämiehenä työskennelleiden henkilöiden hengitysvyöhykkeiltä. Koneen ohjaamon ilmanvaihtojärjestelmä oli varustettu kolmella eri suodattimella, joiden likaantumista oli säännöllisesti seurattu. Ilmanvaihtosuodattimet oli pyritty vaihtamaan noin 500 tunnin kuluttua käyttöönotosta. Ohjaamon ovi ja ikkunat pidettiin pääasiassa kiinni työn aikana. Sää oli tiikusateinen, joka saattoi vaikuttaa tuloksiin.

Rakennuksen sisäpurkutyössä oli tutkittavana kaksi työntekijää, jotka tekivät mekaanista purkutyötä käsin. Ilman mikrobipitoisuudet olivat korkeita (10^4 - 10^5 pmy/m³) käsinpurkajien hengitysvyöhykkeellä. Mikrobien joukossa esiintyi runsaasti *Streptomyces* -suvun aktinomykeettibakteereita (sädesieniä) ja homeita. Ilmanäytteistä tunnistettiin *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Paecilomyces*, *Penicillium* ja *Scopulariopsis* -sukujen homeita. Nämä homeet voivat sisältää myös mykotoksiineja. Endotoksiineja sisältäviä gram-negatiivisia bakteereita oli myös läsnä, sillä purkajien hengitysvyöhykkeeltä mitatut endotoksiinipitoisuudet olivat 15–18 EU/m³, joka on 17–20 % terveysperusteisesta viitearvosta. Sisäilman korkeat mikrobipitoisuudet ja kohtalaiset endotoksiinipitoisuudet lisäävät työntekijän riskiä saada erityisesti hengityselimiin kohdistuvia terveyshaittoja. Mittauspäivänä käsinpurkajat ilmoittivatkin tuntevensa hengitysteiden ärsytysoireita.

Mykotoksiinien biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen mykotoksiinien mediaanit ja P90-arvot olivat rakennuspurkutyötä tekevillä työntekijöillä pääasiassa samaa tasoa kuin verrokeilla (Taulukko 20). Ainoastaan virtsan DON-pitoisuuksien P90-arvo oli lievästi korkeampi kuin verrokeilla.

Taulukko 20. Mykotoksiinien biomonitorointitulokset virtsasta ja verestä rakennuspurkutyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 90. -persentiilit.

Altiste (yksikkö)	Vertailuarvo (verrokot, n =23)		Ennen työvuoroa n=10		Työvuoron lopussa n=11	
	Md	P90	Md	P90	Md	P90
	virtsan AF (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren AF (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan DON (µg/g krea)	0,8	3	0,4	2	0,7	5
veren DON (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan FB (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren FB (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan NIV (µg/g krea)	2	7	1	3	2	6
veren NIV (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan OT (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren OT (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
veren ROQ C (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan STE (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren STE (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan TEA (µg/g krea)	esiintyi*	esiintyi	ei esiintynyt	esiintyi	esiintyi	esiintyi
veren TEA (µg/l)	<MR	12	–	–	<MR	11
virtsan ZEN (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren ZEN (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR

– = ei mitattu

* virtsan TEA-pitoisuutta ei kvantifioitu, ainoastaan mitattiin, esiintyikö mykotoksiinia näytteissä vai ei. Yli 50 %:lla verrokeista TEA:a esiintyi virtsassa

3.4 Tekstiilien kierrätystyö

Tekstiilien kierrätystyössä mitattiin työhygieenisillä ilmamittauksilla altistumista hengittävälle pölylle, useille mikrobeille sekä bakteerien endotoksiineille (Taulukko 1). Ilmanäytteitä kerättiin viiden tekstiilien lajittelua tekevän työntekijän hengitysvyöhykkeeltä ja poistotekstiilien kierrätyslaitoksella näytteet kerättiin kuudesta kiinteästä mittauspisteestä eri puolilta tuotantoa.

Lisäksi sekä tekstiilien lajittelu ympäristöstä että poistotekstiilien kierrätyslaitokselta kerättiin laskeutunutta pölyä, josta analysoitiin useita ftalaatteja, PCB-yhdisteitä, palonestoaineita ja mykotoksiineja (Taulukko 1). Biomonitorointinäytteistä (veri ja virtsa) analysoitiin useita ftalaatteja, palonestoaineita, PCB-yhdisteitä, PFAS-yhdisteitä ja homeiden mykotoksiineja.

3.4.1 Pöly

Hengitysvyöhykkeeltä ja kiinteistä mittauspisteistä tehdyt mittaukset

Hengittyvälle pölylle altistuminen oli korkeintaan kohtalaista tutkimuskohteessa 7 sekä lajittelussa että kierrätyslaitoksessa.

Tutkimuskohteessa 7 tekstiilien lajittelussa pitoisuudet vaihtelivat työtehtävien mukaisesti työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä ollen 0,26-1,4 mg/m³, 3-14 % epäorgaanisen pölyn HTP_{8h}-arvosta (10 mg/m³) ja 5-28 % orgaanisen, puuvillapölyn HTP_{8h}-arvosta.

Poistotekstiilien kierrätyslaitoksessa pitoisuudet vaihtelivat kiinteiden mittauspisteiden sijainnista riippuen ollen <0,089-1,2 mg/m³, 0,1-12 % epäorgaanisen pölyn HTP_{8h}-arvosta (10 mg/m³) ja 2-24 % orgaanisen, puuvillapölyn HTP_{8h}-arvosta.

Pinnoille laskeutuneesta pölystä tehdyt mittaukset

Alla olevassa taulukossa on esitetty pinnoille laskeutuneesta pölystä analysoitujen altisteiden pitoisuudet. Tuloksissa ei noussut esiin erityisesti mainittavaa (Taulukko 21).

Taulukko 21. Pinnoille laskeutuneesta pölystä mitatut pitoisuudet tekstiilien kierrätystyössä.

Altiste-ryhmä	Analysoitu aine	Tutkimuskohde 7					Vertailuarvo, kotiympäristö (µg/g pölyä)
		Keräyspiste: lajittelupöytien pinnat (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, varaston hyllyt (µg/g pölyä)	Keräyspiste: syöttölinjan pinnat (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, suodatinhuoneen ympäristö (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, koneen pinnat (µg/g pölyä)	
Ftalaatit	DEP	3	3	2	3	4	1
	DMP	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	DnBP	8	9	9	11	8	5
	BBzP	4	3	5	11	2	3
	DEHP	122	52	96	102	37	31
	DOP	1	<MR	2	2	<MR	<MR
PCB-yhdisteet	PCB 28	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 52	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 101	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 118	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 138	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 153	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	PCB 180	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR

Altiste-ryhmä	Analysoitu aine	Tutkimuskohde 7					Vertailuarvo, kotiympäristö (µg/g pölyä)
		Keräyspiste: lajittelupöytien pinnat (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, varaston hyllyt (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, syöttölinjan pinnat (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, suodatinhuoneen ympäristö (µg/g pölyä)	Keräyspiste: kierrätyslaitos, koneen pinnat (µg/g pölyä)	
Palones-toaineet	EHDPP	<MR	<MR	<MR	2	<MR	<MR
	TBP	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
Organo-fosfaatit ja bromatut	TPHP	<MR	<MR	<MR	2	1	<MR
	TBEP	5	<MR	<MR	<MR	3	<MR
	TCEP	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	TCIPP	6	30	3	2	11	5
	TDCIPP	<MR	<MR	<MR	1	2	<MR
	TEHP	<MR	<MR	<MR	1	2	<MR
	BDE 28	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 47	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 99	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 100	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 153	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 154	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 183	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	BDE 209	7	1	7	11	2	<MR
Myko-toksiinit	AF	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	DON	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	FB	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	NIV	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	OT-α	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	ROQ C	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
	STE	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR

3.4.2 Ftalaatit

Biomonitorointimittaukset

Kaikkien mitattujen ftalaattimetaboliittien mediaanit ja P90-arvot olivat pääasiassa samaa tasoa tekstiilikierrätystä tekevillä ja verrokeilla (Taulukko 22). Käyttäen samoja virtsapitoisuuksien raja-arvoja kuin SER-kierrätystä tehneiden ftalaattipitoisuuksien arvioinnissa, kaikki mitatut pitoisuudet jäivät alle pitoisuuksien, joiden voidaan katsoa aiheuttavan terveysriskiä aikuiselle.

Minkään ftalaattimetaboliitin kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää kasvua verrattaessa ennen työvuoroa ja sen jälkeen kerättyjä näytteitä toisiinsa. Päinvastoin DnBP:n ja DiBP:n metaboliittien kohdalla ennen työvuoroa otetuissa näytteissä pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi korkeampia kuin työvuoron jälkeen otetuissa näytteissä.

Taulukko 22. Ftalaattien biomonitorointitulokset virtsasta tekstiilien kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 75. persentiilit, koska 90. persentiilejä ei pienen n:n vuoksi voitu laskea.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokki, n=30)		Ennen työvuoroa n=7		Työvuoron lopussa n=7	
	Md	P75	Md	P75	Md	P75
	DEHP (µg/g krea; 5-OH MEHP)	4	6	6	17	4
DEHP (µg/g krea; 5cx-MEPP)	6	9	9	15	5	7
DnBP (µg/g krea; MnBP)	13	24	29	31	12	22
DiBP (µg/g krea; MiBP)	10	14	9	15	5	9
BBzP (µg/g krea; MBzB)	2	5	3	5	3	6
DiNP (µg/g krea; cx-MiNP)	3	5	4	12	5	11

3.4.3 Palonestoaineet

Biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen palonestoaineiden mitatut mediaanit ja P90-arvot olivat tekstiilien kierrätystä tekevillä työntekijöillä samaa tasoa kuin verrokeilla. Ne olivat niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu ennen työvuoron alkua ja sen jälkeen otettujen virtsanäytteiden välillä.

Taulukko 23. Palonestoaineiden biomonitorointitulokset virtsasta ja verestä tekstiilien kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 75. persentiilit, koska 90. persentilejä ei pienen n:n vuoksi voitu laskea.

Altiste (yksikkö; mitattu metaboliitti)	Vertailuarvo (verrokot, n=30, paitsi HBCD n=23)		Ennen työvuoroa n=7		Työvuoron lopussa n=7	
	Md	P75	Md	P75	Md	P75
TCEP virtsasta (µg/g krea; BCEP)	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,3
TCIPP virtsasta (µg/g krea; BCIPP)	0,6	1	0,3	0,3	0,2	0,3
TDCIPP virtsasta (µg/g krea; BDCIPP)	0,5	0,7	0,4	1	0,3	1
TPHP virtsasta (µg/g krea; DPHP)	0,9	1	2	2	1	2
PBDE-yhdisteet verestä (µg/l), summa: BDE 28+47+99+100+153+154	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1
HBCD verestä (µg/l), summa: α+β+γ -isomeerit	0,01	0,01	–	–	0,01	0,01

– = ei mitattu

3.4.4 PFAS-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen PFAS-yhdisteiden mediaanit ja P90-arvot olivat tekstiilien kierrätystä tekeillä työntekijöillä pääasiassa samaa tasoa kuin verrokeilla (Taulukko 24). Ne olivat niin matalia, että nykytiedon mukaan haitallisia terveysvaikutuksia ei ole odotettavissa.

Taulukko 24. PFAS-yhdisteiden biomonitorointitulokset verestä tekstiilien kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 75. persentiilit, koska 90. persentilejä ei pienen n:n vuoksi voitu laskea.

Altiste (µg/l)	Vertailuarvo (verrokot, n =23)		Ennen työvuoroa n=7		Työvuoron lopussa n=7	
	Md	P75	Md	P75	Md	P75
PFOA	0,6	0,9	–	–	0,8	1
PFOS	1	2	–	–	2	3
PFNA	0,5	1	–	–	0,5	1
PFHxS	0,4	0,7	–	–	0,7	1

– = ei mitattu

3.4.5 PCB-yhdisteet

Biomonitorointimittaukset

Tekstiilikierrätystä tekeillä (n=6) PCB 138, PCB 153 ja PCB 180 summan mediaani (0,2 µg/l) ja P75-arvo (0,6 µg/l) jäivät alle Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan (1,0 µg/l 50-vuotiaat ja sitä nuoremmat ja 1,8

µg/l yli 50-vuotiaat). Työterveyslaitoksen altistumattomien viiterajan ylityksiä ei ollut verrokeilla, myös kierrätystyötä tekevien pitoisuudet jäivät altistumattomien viiterajan tasolle tai sen alle.

3.4.6 Mikrobit, endotoksiinit ja mykotoksiinit

Hengitysvyöhykkeeltä tehdyt mittaukset

Työntekijöiden (yhteensä 6 hlö) hengitysvyöhykkeiltä otettujen ilmanäytteiden mikrobi- ja endotoksiinipitoisuudet olivat pieniä poistotekstiilien lajittelussa. Työntekijöiden tehtävänä oli lajitella kotitalouksien poistotekstiilejä, jotka ulkoisesti näyttivät puhtailta. Yksi työntekijä lajitteli tekstiilierää, jossa osa tekstiileistä oli lievästi homehtuneita. Tuotantotilassa oli käytössä 5 suurta ilmanpuhdistinta.

Useimmilla työntekijöillä näytteiden mikrobipitoisuudet olivat alle määräysrajan eli $<4,0 \times 10^2$ pmy/m³. Kahden työntekijän näytteissä havaittiin yksittäisiä *Aspergillus*, *Penicillium* ja *Trichoderma* -sukujen homesieniä, mutta heilläkin niiden pitoisuudet olivat vähäisiä. Bakteereita esiintyi ainoastaan yhden lajittelijan hengitysvyöhykkeellä, ja tämäkin bakteeripitoisuus oli vähäinen. Endotoksiinipitoisuuksien vaihteluväli oli $<1,1-5,9$ EU/m³. Ilmanäytteiden tulos osoittaa myös sen, että mittaushetkellä tuotantotilan ilmassa ei esiintynyt niin merkittävästi mikrobeita tai bakteerien endotoksiineja, että niistä todennäköisesti ilmenisi haittaa työntekijöiden terveydelle. Altistumistaso endotoksiineille oli alle 10 % terveydelle haitallisesta viitearvosta, joten altistuminen biologisille tekijöille oli vähäistä.

Poistotekstiilien kierrätyslaitokselta kiinteistä mittauspisteistä (3 kpl) otetuissa ilmanäytteissä ei havaittu esiintyvän lainkaan homesieniä. Kahdessa mittauspisteessä, suodatinhuoneen oven edessä käytävällä ja varastossa, esiintyi ilmassa pieniä määriä bakteereita ($<8 \times 10^2$ pmy/m³). Endotoksiinipitoisuuksien vaihteluväli oli $1,5-5,3$ EU/m³. Korkein ilman endotoksiinipitoisuus mitattiin suodatinhuoneen oven edessä käytävällä.

Mykotoksiinien biomonitorointimittaukset

Nyt tutkittujen mykotoksiinien mediaanit ja P90-arvot olivat tekstiilien kierrätystä tekevillä työntekijöillä samaa tasoa kuin verrokeilla (Taulukko 25).

Taulukko 25. Mykotoksiinien biomonitorointitulokset virtsasta ja verestä tekstiilien kierrätystyössä. Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty mediaanit (Md) ja 75. persentiilit, koska 90. persentilejä ei pienen n:n vuoksi voitu laskea.

Altiste (yksikkö)	Vertailuarvo (verrokki, n =23)		Ennen työvuoroa n=7		Työvuoron lopussa n=7	
	Md	P75	Md	P75	Md	P75
virtsan AF (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren AF (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan DON (µg/g krea)	0,8	2	0,4	1	1	3
veren DON (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan FB (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren FB (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan NIV (µg/g krea)	2	4	1	3	2	3
veren NIV (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan OT (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren OT (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
veren ROQ C (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan STE (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren STE (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR
virtsan TEA (µg/g krea)	esiintyi*	esiintyi	esiintyi	esiintyi	esiintyi	esiintyi
veren TEA (µg/l)	<MR	1	–	–	<MR	1
virtsan ZEN (µg/g krea)	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR	<MR
veren ZEN (µg/l)	<MR	<MR	–	–	<MR	<MR

– = ei mitattu

* virtsan TEA-pitoisuutta ei kvantifioitu, ainoastaan mitattiin, esiintyikö mykotoksiinia näytteissä vai ei. Yli 50 %:lla verrokeista TEA:a esiintyi virtsassa

4 Pohdinta

Kiertotalous on hyvin laaja käsite ja kattaa monenlaisten tuotteiden ja materiaalien kierrätystä. Siten kiertotalouteen liittyvillä työpaikoilla voi esiintyä myös hyvin monenlaisia altisteita. Tässä tutkimuksessa selvitettiin tietyille ennalta valituille terveydelle haitallisille tekijöille altistumista SER-jätteen, rakennuspurkujätteen ja poistotekstiilien kierrätystyössä sekä rakennuspurkutyössä.

Tutkimuksessa oli mukana viisi yritystä, joista osasta useampi toimipiste. SER-jätettä kierrättäviä yrityksiä/toimipisteitä tutkimuksessa oli mukana kaksi, rakennuspurkujätettä kierrättäviä kolme ja poistotekstiilejä kierrättäviä kaksi. Rakennuspurkutyötä tekeviä yrityksiä oli mukana yksi. Mittauksia tehtiin seitsemässä rakennuspurkukohteessa (työhygieenisia mittauksia näistä kahdessa), joissa mittaushetkellä käynnissä olevat työvaiheet vaihtelivat.

Tulosten yleistettävyyys koko ko. toimialoille on ainakin jossain määrin epävarmaa, koska tutkimuksessa mukana olleet yritykset edustivat suhteellisen pientä otosta. Erityisesti tämä koskee poistotekstiilien kierrätystyötä.

Tekstissä on käytetty seuraavia luonnehdintoja ilmamittausten perusteella arvioidulle altistumiselle:

- alle 10 % HTP-arvosta = vähäinen
- 10–50 % HTP-arvosta = kohtalainen
- 50–100 % HTP-arvosta = merkittävä
- yli HTP-arvon = liiallinen

4.1 SER-jätteen kierrätystyö

SER-jätteen kierrätystyötä tehneet työntekijät eivät pääsääntöisesti käyttäneet hengityksensuojaimia.

Epäorgaaniselle pölylle ja siitä analysoiduille metalleille altistuminen hengitysteitse oli mittauspäivinä korkeintaan kohtalaista, joten on epätodennäköistä, että silloisissa työolosuhteissa altistavat pitoisuudet ylittäisivät HTP-arvot. Poikkeuksena tästä oli kuvaputkinäyttöjen purkamisessa työskentelevän hengitysvyöhykkeeltä mitattu lyijyn pitoisuus, joka ylitti niukasti EU-komission ehdottaman uuden sitovan raja-arvon tason (0,03 mg/m³).

Käsien pyyhintänäytteissä mitatut metallipitoisuudet olivat pääasiassa pieniä. Useita mitattuja metalleja kuitenkin esiintyi käsissä työpäivän kuluessa ja vaikka ne eivät imeydy ihon läpi, altistumista voi tapahtua käsistä suuhun -reittiä. Erityisesti tämä altistumisreitti on olennainen sellaisten altisteiden osalta, jotka imeytyvät hyvin maha-suolikanavasta, ovat elimistöön kertyviä ja aiheuttavat terveyshaittoja. Tuloksista erityisesti huomiota kiinnitti lyijy, jolle käsistä suuhun -reitti voi olla kokonaisaltistumisen kannalta olennainen. Myös laskeutuneen pölyn näytteissä nousi esiin erityisesti lyijy, jota esiintyy tulosten perusteella nyt tutkituissa työympäristöissä ainakin satunnaisesti.

Biomonitorointitulosten perusteella on epätodennäköistä, että työntekijöiden altistuminen nyt mitatuille yhdisteille aiheuttaisi terveyshaittoja. Näistäkin tuloksista nousi kuitenkin esiin lyijy. Vaikka kaikki työntekijöiden veri- ja virtsanäytteistä mitatut lyijypitoisuudet jäivät matalammiksi kuin työperäiselle lyijyaltistumiselle suositellut terveysperusteiset veren lyijypitoisuuden raja-arvot, tulokset viittasivat työperäiseen altistumiseen. Tätä on syytä tarkkailla biomonitoimalla SER-kierrätykseen liittyvissä työtehtävissä, koska lyijy on erittäin hitaan puoliintumisaikansa vuoksi elimistöön kertyvä metalli, ja pidempään jatkuvassa lyijyllä altistavassa työssä elimistön lyijypitoisuus kohoaa pikkuhiljaa. Käsistä suuhun -reitti on nyt tehtyjen mittausten perusteella mahdollisesti olennaisempi kuin ilmasta hengitysteiden

kautta altistuminen. Koska lyijyn sikiöhaitoille ei ole pystytty määrittämään täysin turvallista pitoisuutta, on erityisesti fertiili-ikäisten naisten lyijyaltistuminen minimoitava.

4.2 Rakennuspurkujätteen kierrätystyö

Rakennuspurkujätteen kierrätystyötä tehneet työntekijät käyttivät pääsääntöisesti hengityksensuojaimia. Useiden työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin pitoisuuksia, joilla olisi ilman niitä saattanut esiintyä haitallisia terveysvaikutuksia.

Hengityksensuojainten ulkopuolelta mitatut hengittävän epäorgaanisen pölyn ja biologisten tekijöiden pitoisuudet olivat liiallisia tai merkittäviä useilla käsinlajittelijoilla, huoltotyöntekijöillä, operaattoreilla ja konekuskilla. Lisäksi useilla muilla työntekijöillä pitoisuudet olivat kohtalaisia. Altistuminen korkeille epäorgaanisen hengittävän pölyn pitoisuuksille voi aiheuttaa mm. ylähengitysteiden mekaanista ärsytystä. Myös kohtalaiset pöly- ja endotoksiinipitoisuudet sekä korkeat mikrobipitoisuudet lisäävät työntekijän riskiä saada erityisesti hengityselimiin kohdistuvia terveyshaittoja.

Yhden konekuskin hengitysvyöhykkeeltä (suojaimen ulkopuolelta) mitattu lyijypitoisuus oli kohtalainen, mutta alle uuden EU-komission ehdottaman sitovan raja-arvon. Ilmanäytteistä mitattujen metallien ja ftalaattien pitoisuudet olivat pieniä.

Kahdessa kolmesta tutkimuskohteesta pinnoille laskeutuneen pölyn tuloksissa nousi esiin palonestoaine TCIPP, jota löytyi enemmän kuin verrokkitiloista. Biomonitorointitulokset eivät kuitenkaan viitanneet terveydelle haitalliseen työperäiseen altistumiseen TCIPP:n osalta, vaikka lievää työperästä altistumista ei voitukaan poissulkea. Samoin kahdessa kolmesta tutkimuskohteessa laskeutuneen pölyn tuloksissa nousi esiin yksittäisiä homesienten tuottamat mykotoksiineja, joita löytyi enemmän kuin verrokkitiloista. Näitä mykotoksiineja tuottavia homesieniä löytyi myös joistakin työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä otetuista ilmanäytteistä. Työntekijöiden veri- ja virtsanäytteistä mitatut mykotoksiinipitoisuudet olivat kuitenkin samaa tasoa kuin vertailuryhmässä, joten pölyssä esiintyneet mykotoksiinit ja ilmasta havaitut homesienten itiöt eivät vaikuta lisänneen heidän elimistönsä mykotoksiinipitoisuuksia, kun he käyttivät hengityksensuojaimia.

Pinnoille laskeutuneen pölyn tuloksissa nousivat kaikissa tutkimuskohteissa (ja erityisesti yhdessä kolmesta) esiin useat metallit, joita löytyi enemmän kuin verrokkitiloista. Näistä biomonitorointinäytteistä mitattujen litium-, alumiini-, kromi-, nikkeli- tai kobolttipitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut eroa verrattaessa vertailuryhmään, eikä näiden pitoisuuksissa näkynyt olennaista nousua työpäivän aikana (titaania, mangaania ja rautaa ei mitattu biomonitorointinäytteistä). Myöskään näiden tutkimuskohteiden työntekijöiden biomonitorointinäytteiden lyijypitoisuuksissa ei ollut eroa vertailuryhmään, mutta yhdessä tutkimuskohteessa lyijyn virtsapitoisuudet vaikuttivat hieman kohonneen työviikon kuluessa, joten lievää työperästä altistumista ei voitu poissulkea. Kaiken kaikkiaan virtsasta ja verestä mitatut lyijypitoisuudet olivat kuitenkin tavanomaisella tasolla eivätkä siis aiheuta huolta haitallisista terveysvaikutuksista.

Muut biomonitorointitulokset eivät viitanneet olennaiseen työperäiseen altistumiseen. On siis epätodennäköistä, että työntekijöiden altistuminen lopuillekaan biomonitorointinäytteistä mitatuille yhdisteille aiheuttaisi terveyshaittoja, kun työntekijät käyttivät hengityksensuojaimia.

4.3 Rakennuspurkutyö

Rakennuspurkutyötä tehneet työntekijät eivät pääsääntöisesti käyttäneet hengityksensuojaimia. Osassa ulkopurkukohteista oli mittauspäivänä sateinen sää, joka vähensi työvaiheiden pölyävyyttä ja siten myös altistumista. Lisäksi pölyisten purkuvaiheiden kasteleminen vesisuihkulla vähensi altisteiden leviämistä.

Ulkopurkukohteessa kenttämiehen ja purkukoneen ohjaajan altistuminen hengittävälle pölylle oli alle Työterveyslaitoksen tavoitetason. Pölystä analysoiduille metalleille ja mitatuille mikrobeille altistuminen oli vähäistä. Sisätiloissa rakennusten purkamista käsin tehneiden työntekijöiden altistuminen hengittävälle pölylle sen sijaan oli kohtalaista ja yli Työterveyslaitoksen tavoitetason. Altistuminen mikrobeille oli niin suurta, että riski terveyshaittojen, kuten hengitystieoireiden, esiintymiseen työntekijöillä on mahdollista.

Biomonitorointitulokset eivät viitanneet terveydelle haitalliseen työperäiseen altistumiseen nyt biomonitorointinäytteistä mitattujen yhdisteiden osalta.

4.4 Tekstiilien kierrätystyö

Poistotekstiilien kierrätystyötä tehneet työntekijät käyttivät pääsääntöisesti hengityksensuojaimia. Kaikissa työvaiheissa hengityksensuojainten ulkopuolelta mitatut hengittävän epäorgaanisen ja orgaanisen (puuvilla) pölyn pitoisuudet olivat korkeintaan kohtalaisia. Mitatut biologisten tekijöiden pitoisuudet olivat vähäisiä.

Laskeutuneen pölyn tulokset eivät herättäneet huolta terveydelle haitallisesta altistumisesta. Biologisten tekijöiden osalta homeiden tuottamia mykotoksiineja ei löytynyt pinnoille laskeutuneesta pölystä, eivätkä myöskään biomonitorointitulokset viitanneet työperäiseen mykotoksiinialtistumiseen. Muutkaan biomonitorointitulokset eivät viitanneet terveydelle haitalliseen työperäiseen altistumiseen biomonitorointinäytteistä mitattujen yhdisteiden osalta.

Tekstiilien kierrätystyön osalta näytemäärä jäi kuitenkin suhteellisen vähäiseksi, joten tuloksia on pidettävä toistaiseksi alustavina.

4.5 Yleisiä riskinhallintakeinoja

HAKiTa-tutkimushankkeessa ei tutkittu erilaisia riskinhallintakeinoja tai niiden toimivuutta työpaikoilla. Tässä luvussa on kuitenkin esitetty yleisiä riskinhallintakeinoja, joiden tiedetään aiempien tutkimusten perusteella olevan tehokkaita. On kuitenkin huomioitava, että kaikilla työpaikoilla on omanlaisensa olosuhteet ja käsiteltävät materiaalit, joten jokaisen työnantajan täytyy tunnistaa omalla työpaikalla esiintyvät vaaratekijät ja niille altistuminen, arvioida työntekijöille aiheutuvat terveysriskit sekä tarvittaessa suunnitella ja toteuttaa toimenpiteet riskien pienentämiseksi. Jos altistumisen tasoa ei voida muuten luotettavasti arvioida, sitä voidaan selvittää työhygieenisillä mittauksilla ja biomonitoroinnilla. Altistumisen hallitsemiseksi tehtyjen muutostöiden vaikutus tulee myös todentaa mittauksin.

Työpaikkojen on suositeltavaa laatia selkeät kirjalliset ohjeet henkilönsuojauksesta, niitä vaativista kohteista ja työtehtävistä sekä puhdistautumisesta ja hygieniasta. Riittävällä perehdytyksellä ja opastuksella varmistetaan, että myös mahdolliset alihankkijat ovat ymmärtäneet kierrätysmateriaalien käsittelyn riskit ja noudattavat annettuja turva- ja suojautumisohjeita.

4.5.1 Ilmanvaihto ja kohdepoistot

Tehokkaat kohdepoistot ovat ensisijainen keino altistumisen hallintaan sisätiloissa. Kiinteissä työpisteissä kohdepoiston toteuttamiseen voidaan käyttää esimerkiksi imupöytiä ja -seiniä, vetokaappeja, huuvia tai liikuteltavia imuletkuja. Oleellista on tuoda poisto mahdollisimman lähelle päästölähdettä. Lisäksi yleisilmanvaihdolla tulisi taata työpisteen ilman vaihtuminen riittävän usein. Eniten pölyävien työpisteiden, kuten jätemateriaalien murskan, kotelointi tai eristäminen omaan tilaansa voi myös auttaa hallitsemaan pölyjen leviämistä. Ilmanpuhdistimien käyttö sisätiloissa voi laimentaa ja vähentää ilmassa esiintyvien epäpuhtauksien ja pölyn määrää.

4.5.2 Siivous ja muu hygienia

Pintojen ja tilojen säännöllinen siivoaminen imuroinnilla ja kosteapyyhinnällä vähentää pölyjen kertymistä ja leviämistä. Pölyä ja muita epäpuhtauksia ei tule levittää vaatteiden tai työvälineiden välityksellä puhtaisiin tiloihin.

Paineilman käyttöä tulee välttää pintojen, välineiden, varusteiden ja työasujen puhdistuksessa. Paineilma levittää epäpuhtaudet ilmaan suoraan työntekijöiden hengitysvyöhykkeelle ja altistaa heidät korkeille pitoisuuksille, jos he eivät suojaudu paineilmapuhalluksen aikana ja sen jälkeen. Paineilma myös muodostaa pölystä pieniä hiukkasia, jotka viiptyvät ilmassa pitkään ja leviävät laajalle alueelle. Lisäksi paineilma saattaa rikkoa hengityksensuojainten suodattimet.

Kierrätysmateriaalien käsittelyssä on noudatettava hygieniaohjeita, kuten huolellista käsien pesua aina työskentelyn jälkeen ennen tauolle menemistä. Ruoka- ja kahvitaukojen lisäksi kädet on hyvä pestä myös ennen wc-käyntejä ja tupakointia.

Likaisten töiden päätyttyä on peseydyttävä ennen puhtaiden vaatteiden pukemista. Työvaatteiden säännöllisestä pyykkihuollosta on huolehdittava ja pyykkihuolto on järjestettävä muualle kuin työntekijän kotiin.

4.5.3 Henkilönsuojaimet

Jos yllä mainitut riskinhallintakeinot eivät ole riittäviä, hiukkasmaisilta ilman epäpuhtauksilta voidaan suojautua P-suodattimella varustetuilla hengityksensuojaimilla. Kaasumaisia epäpuhtauksia varten tarvitaan kemikaalisuodatin, jossa on muu kirjaintunnus kuin P (esimerkiksi A, B, E ja K) sen mukaisesti, mitä kaasuja tai nestehöyryjä ne voivat suodattaa pois hengitysilmaasta. Pitkäkestoisessa, fyysisesti rasittavassa työssä puhallinsuojain on kevyempi käyttää kuin muu puoli- tai kokonaamari.

Hengityksensuojaimen oikea käyttö tarkoittaa sitä, että suojainta ei poisteta kasvoilta työtehtävän aikana. Hengityksensuojaimen kasvo-osan tulee istua tiiviisti kasvoille. Huonosti kasvoille istuva suojain ei estä altistumista ja esimerkiksi parta heikentää hengityksensuojainten tiiviyyttä. Hengityksensuojain on puhdistettava ja sen suodattimet on vaihdettava riittävän usein sekä suojaimet on säilytettävä puhtaassa tilassa, kun niitä ei käytetä.

Erityisesti rakennuspurkupöly ärsyttää herkästi myös silmiä ja purkutyössä on roslien silmiin lentämisvaara, joten suojalasiin tai kasvoviisirin käyttöä on suositeltavaa yhdessä hengityksensuojaimen kanssa mekaanista käsin purkutyötä tekeville. Koska silmäsuojukset huurtuvat helposti raskaassa työssä, kasvosuojalla ja kypärällä varustettu puhallinavusteinen hengityksensuojain on erinomainen valinta rakennusten purkutyöhön.

4.5.4 Työkoneissa työskentelyssä huomioitavaa

Runsaasti epäpuhtauksia sisältävässä ja pölyävässä työssä, kuten rakennusten purkutyössä ja rakennuspurkujätteiden kierrätystyössä, työkoneiden ohjaamot on varustettava ilmansuodattimin ja suodattimet on vaihdettava riittävän usein. Työkoneiden ohjaamot tulee mieluiten varustaa ylipaineistetuilla ilmansuodatusjärjestelmillä, joihin on asennettuna karkean hiukkassuodattimen lisäksi P3/H13-luokan HEPA-suodatin biologisten tekijöiden ja pölyjen poistoon sekä tarvittaessa aktiivihilisuodatin kemiallisten tekijöiden, kuten kaasumaisten altisteiden poistoon. Työkoneiden ovet ja ikkunat on pidettävä suljettuina eikä ohjaamosta saa jalkautua ulos työtilanteissa, koska epäpuhtaudet saastuttavat ohjaamon ilman nopeasti ovia ja ikkunoita avattaessa. Työkoneisiin on mentävä sisään mahdollisimman puhtaassa paikassa.

4.5.5 CMR-aineille altistumiselta suojaaminen

CMR-aineiden eli syöpävaarallisten, mutageenisten ja lisääntymisterveydelle myrkyllisten sekä hengitysteitä herkistävien aineiden kohdalla täytyy noudattaa parasta käytössä olevaa tekniikkaa altistuminen pitämiseksi niin pienenä kuin se teknistaloudellisesti on mahdollista (BAT=Best Available Techniques).

Työnantajan on ilmoitettava ammatissaan syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille merkittävästi alistuvat työntekijät ASA-rekisteriin^{kk}.

Raskaana olevien ei pidä altistua syöpä- tai lisääntymiselle vaarallisille altisteille, kuten lyijylle.

Jos työpaikalla käsitellään lyijyä sisältäviä materiaaleja, työntekijöiden altistumista on seurattava biomonitoroinneilla. Lyijylle on asetettu sitova altistumisen raja-arvo, joten myös ilmassa olevia lyijyn pitoisuuksia on hyvä seurata työhygieenisin mittauksin. Myös muille metalleille altistumista työssä on suositeltavaa seurata biomonitoroinneilla.

^{kk} <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/kemialliset-tekijat/syopavaara/asa-rekisteri>

5 Johtopäätökset ja tulosten hyödyntäminen

Tutkimuksen tulosten perusteella ei pääasiassa havaittu terveydelle haitallista altistumista. Poikkeuksen tästä teki kuitenkin rakennuspurkujätteen kierrätystyössä esiintyvät epäorgaanisen pölyn, mikrobien ja endotoksiinien pitoisuudet, jotka nousivat monien tutkimukseen osallistuneiden työntekijöiden hengitysvyöhykkeillä niin korkeiksi, että terveyshaittoja saattaisi esiintyä, jos he eivät olisi käyttäneet hengityksensuojaimia. Myös rakennuspurkutyössä havaittiin käsinpurkajien hengitysvyöhykkeellä varsin korkeita epäorgaanisen hengittävän pölyn ja mikrobien pitoisuuksia. Tutkimuksen tulosten perusteella henkilökohtainen suojautuminen on suositeltavaa rakennuspurkutyössä ja rakennusten purkujätteen kierrätystyössä, jos muilla toimenpiteillä (mm. ilmanvaihto, kohdepoistot) ei saada altistumista hallintaan.

Lisäksi SER-kierrätykseen liittyen havaittiin työperäistä lyijyaltistumista. Vaikka nyt tutkimukseen osallistuneiden työntekijöiden elimistöstä mitatut lyijypitoisuudet jäivät matalammiksi kuin työperäiselle lyijyaltistumiselle suositellut terveysperusteiset raja-arvot, tunnistettiin tarve seurata biomonitoroinnilla lyijyaltistumista, sillä kyseessä on elimistöön kertyvä, terveydelle haitallinen aine. Koska lyijyn sikiöhaitoille ei ole pystytty määrittämään täysin turvallista pitoisuutta, on erityisesti fertiili-ikäisten naisten lyijyaltistuminen minimoitava. Nyt saatujen tulosten perusteella on syytä kiinnittää erityistä huomiota käsistä suun kautta tapahtuvaan altistumiseen, joka saattaa olla merkittävä lyijyn altistumisreitti. Hyvään käsihygieniaan tulee kiinnittää huomiota ja kädet pestä huolellisesti aina tauoille mentäessä, kahvi- ja ruokataukojen lisäksi mukaan lukien myös tupakkatauot ja wc-käynnit. Työkäsineet tulee vaihtaa uusiin/puhtaisiin ja työvaatteet tulee vaihtaa puhtaisiin tarpeeksi usein.

Poistotekstiilien kierrätystyössä ei tunnistettu tässä tutkimuksessa terveysriskejä. Tutkimuksessa oli kuitenkin ainoastaan yksi tekstiilikierrätystä tekevä tutkimuskohde, jossa oli jo käytössä useita riskinhallintatoimenpiteitä, kuten tehostettu ilmanvaihto. Lisätutkimusta tarvitaan siis vielä liittyen esimerkiksi tekstiilipölyn pitoisuuksiin tekstiilikierrätystä tekevillä työpaikoilla.

Tutkimuksen tulosten perusteella on laadittu malliratkaisu *Haitta-aineet SER- ja rakennuspurkujätteen kierrätystyössä – terveyshaittojen torjuminen* ¹¹. Sen ohjeilla yritykset voivat tunnistaa mahdollisesti olennaisia altisteita sekä vähentää altistumista ja sen aiheuttamia terveysriskejä.

¹¹ <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/tyoympariston-riskienhallinnan-malliratkaisut> -> Toimialakohtaisia malliratkaisuja -> Kierrätystyö

Lähteet

- Apel P, Lamkarkach F, Lange R, Sissoko F, David M, Rousselle C, Schoeters G, Kolossa-Gehring M (2022) Human biomonitoring guidance values (HBM-GVs) for priority substances under the HBM4EU initiative - New values derivation for deltamethrin and cyfluthrin and overall results. *Int J Hyg Environ Health* 248:114097 doi:10.1016/j.ijheh.2022.114097
- Bloom E, Nyman E, Must A, Pehrson C, Larsson L (2009) Molds and mycotoxins in indoor environments--a survey in water-damaged buildings. *J Occup Environ Hyg* 6(11):671-8 doi:10.1080/15459620903252053
- ECHA (2023) Restriction on the manufacture, placing on the market and use of PFASs. Registry of restriction intentions until outcome at: <https://echa.europa.eu/fi/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/Ob0236e18663449b>.
- Euroopan komissio (2020) Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe. Saatavilla: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf.
- Fromme H, Gareis M, Völkel W, Gottschalk C (2016) Overall internal exposure to mycotoxins and their occurrence in occupational and residential settings – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 219(2):143-165 doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.11.004>
- Hirvonen MR, Huttunen K, Roponen M (2005) Bacterial strains from moldy buildings are highly potent inducers of inflammatory and cytotoxic effects. *Indoor Air* 15 Suppl 9:65-70 doi:10.1111/j.1600-0668.2005.00345.x
- Hölzer J, Lilienthal H, Schumann M (2021) Human Biomonitoring (HBM)-I values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 121:104862 doi:<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104862>
- Kauppi S, Bachér J, Laitinen S, Kiviranta H, Suomalainen K, Turunen T, Kautto P, Mannio J, Räisänen M, Lautala K, Porras S, Rantio T, Salminen J, Santonen T, Seppälä T, Teittinen T, Wahlström M (2019) Kestävä ja turvallinen kiertotalous - Selvitys POP-yhdisteiden ja SVHC-aineiden hallinnasta kiertotaloudessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:58.
- Korkalainen M, Täubel M, Naarala J, Kirjavainen P, Koistinen A, Hyvärinen A, Komulainen H, Viluksela M (2017) Synergistic proinflammatory interactions of microbial toxins and structural components characteristic to moisture-damaged buildings. *Indoor Air* 27(1):13-23 doi:10.1111/ina.12282
- Lange R, Apel P, Rousselle C, Charles S, Sissoko F, Kolossa-Gehring M, Ougier E (2021) The European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU): Human biomonitoring guidance values for selected phthalates and a substitute plasticizer. *Int J Hyg Environ Health* 234:113722 doi:10.1016/j.ijheh.2021.113722
- Plichta V, Steinwider J, Vogel N, Weber T, Kolossa-Gehring M, Murinova LP, Wimmerova S, Tratnik JS, Horvat M, Koppen G, Govarts E, Gilles L, Rodriguez Martin L, Schoeters G, Covaci A, Fillol C, Rambaud L, Jensen TK, Rauscher-Gabernig E (2022) Risk Assessment of Dietary Exposure to Organophosphorus Flame Retardants in Children by Using HBM-Data. *Toxics* 10(5):234 doi:10.3390/toxics10050234
- Porras S, Hartonen M, Ylinen K, Louhelainen K, Tornaues J, Tuomi T, Santonen T (2016) Työperäinen altistuminen eräille hormonitoimintaa häiritseville ftalaateille ja fenoleille Suomessa. Työterveyslaitos. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-706-4>.
- Porras SP, ym., ym. (2023) julkaisemattomia tuloksia, Työterveyslaitos.
- Ramoju S, Andersen M, Poddalgoda D, Nong A, Karyakina N, Shilnikova N, Krishnan K, Krewski D (2020) Derivation of whole blood biomonitoring equivalents for lithium for the interpretation of biomonitoring data. *Regulatory toxicology and pharmacology* : RTP 111:104581 doi:10.1016/j.yrtph.2020.104581
- Rosenberg C, Hämeilä M, Tornaues J, Säkkinen K, Puttonen K, Korpi A, Kiilunen M, Linnainmaa M, Hesso A (2011) Exposure to flame retardants in electronics recycling sites. *Ann Occup Hyg* 55(6):658-65 doi:10.1093/annhyg/mer033
- Scheepers PTJ, Duca RC, Galea KS, Godderis L, Hardy E, Knudsen LE, Leese E, Louro H, Mahiout S, Ndaw S, Poels K, Porras SP, Silva MJ, Tavares AM, Verdonck J, Viegas S, Santonen T, Hbm Eu EWST (2021)

- HBM4EU Occupational Biomonitoring Study on e-Waste-Study Protocol. *Int J Environ Res Public Health* 18(24) doi:10.3390/ijerph182412987
- Skrobot III F, Diehl SV, Borazjani H (2017) Mycotoxin production by *Stachybotrys chartarum* on water-damaged building materials. *BioRes* 12(3):6490-6503
- Tavares A, Aimonen K, Ndaw S, Fučić A, Catalán J, Duca RC, Godderis L, Gomes BC, Janasik B, Ladeira C, Louro H, Namorado S, Nieuwenhuys AV, Norppa H, Scheepers PTJ, Ventura C, Verdonck J, Viegas S, Wasowicz W, Santonen T, Silva MJ, on behalf of the HBM4EU Chromates Study Team (2022) HBM4EU Chromates Study—Genotoxicity and Oxidative Stress Biomarkers in Workers Exposed to Hexavalent Chromium. *Toxics* 10(8):483
- Tuomi T, Reijula K, Johnsson T, Hemminki K, Hintikka EL, Lindroos O, Kalso S, Koukila-Kähkölä P, Mussalo-Rauhamaa H, Haahtela T (2000) Mycotoxins in crude building materials from water-damaged buildings. *Appl Environ Microbiol* 66(5):1899-904 doi:10.1128/aem.66.5.1899-1904.2000
- Täubel M, Sulyok M, Vishwanath V, Bloom E, Turunen M, Järvi K, Kauhanen E, Krska R, Hyvärinen A, Larsson L, Nevalainen A (2011) Co-occurrence of toxic bacterial and fungal secondary metabolites in moisture-damaged indoor environments. *Indoor Air* 21(5):368-75 doi:10.1111/j.1600-0668.2011.00721.x
- Wallenius K, Korkalainen M, Porras S, Hovi H, Holma S, Ahtinen S, Koponen J, Huttunen K, Rantakokko P (2023) Sisäympäristöissä esiintyvät puolihihtuvat orgaaniset yhdisteet (SVOC) : Väestön altistuminen ja terveysriskit. Työterveyslaitos. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-114-7>.
- Zhu Y, Lonka H, Tähtinen K, Anttonen M, Isokääntä P, Knuutila A, Lahdensivu J, Mahiout S, Mäntylä A-M, Raimovaara M, Rantio T, Santonen T, Teittinen T (2022) Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisuuden näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:15. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-253-4>.

Liitteet

Liite 1. Mittausmenetelmät: Biologiset tekijät eli mikrobiologiset altisteet ilmassa

Bakteerit ja homesienet

Työilmassa esiintyneet bakteerit ja homesienet kerättiin standardin ISO 7708:1995 mukaisesti. Ilmanäytteenottoon käytettiin metallista Button-keräintä (SKC), johon pakattiin 25 mm steriili gelatiinisudatin (SKC). Pakattu keräin säilytettiin jääkaappilämpötilassa näytteenottopäivään saakka. Keräimet pestiin saippuavedellä, jonka jälkeen metalliosat vielä steriloitiin autoklaavissa ja muoviosat desinfioidiin 80 %:lla denaturoidulla etanolilla.

Näytteenottopumput (Gilian ja SKC) kalibroitiin ennen näytteenottoa esim. DryCal (Bios) -kalibraattorilla tilavuusvirtaan 4 l/min käyttäen Button-keräimen adapteria. Ilmanäytteenotot tehtiin kiinteistä mittauspaikeista noin 1,5 metrin korkeudelta lattia- tai työskentelytasosta mahdollisimman läheltä prosessia, työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä tai työkoneiden ohjaamoista. Näytteenottoaika oli korkeintaan 30 minuuttia/näyte. Näytteenoton jälkeen saman päivän aikana gelatiinisudatin siirrettiin keräimestä steriilien pinsettien avulla näytteenkuljetusastiaan, joka säilytettiin jääkaappilämpötilassa ja toimitettiin pikapostilla laboratorioon kylmäpakattuna. Näytteenkuljetusastia sisälsi 5 ml steriiliä 0,01 % Tween 80 vesiliuosta.

Laboratoriossa näytteenkuljetusastiaa ravisteltiin sekoittajalla ja varmistettiin silmämääräisesti, että gelatiinisudatin oli varmasti liuennut nesteeseen. Jos sudatinhippuja näkyi nesteessä, niin näytteenkuljetusastiaa lämmitettiin esim. kädenlämpöisessä vesihautessa, kunnes sudatin oli täysin sulanut nesteeseen. Näyteliuksesta otettiin 1. näyte suoraan elatusalustoille sekä valmistettiin laimennossarja Dilucup-systeemillä. Laimennossarjaa jatkettiin, kunnes saatiin laimennos 10^{-4} . Näytettä viljeltiin jokaiselle elatusalustalle 100 µl. Maljat inkuboitiin agarpinta alaspäin taulukossa x mainitun ajan noin +25°C lämpötilassa. Kasvatuksen jälkeen maljoille muodostuneet mikrobipesäkkeet laskettiin silmämääräisesti ja tuloksista laskettiin ilmapitoisuudet yksikössä pmy/m³ (pesäkkeen muodostava yksikkö ilmakuutiometrissä).

Taulukko 26. Biologisia tekijöitä edustavien ilmanäytteiden viljelylaimennokset, kasvatusajat ja -lämpötilat.

Määritettävä mikrobiryhmä ja elatusalusta	Laimennokset	Lämpötila	Kasvatusaika
mesofiiliset bakteerit THG	10^{-1} - 10^{-4}	+25°C ± 3°C	7-14 vrk ± 1 vrk
mesofiiliset sienet Hagem	10^{-1} - 10^{-4}	+25°C ± 3°C	7 vrk ± 1 vrk
kserofiiliset sienet DG-18	10^{-1} - 10^{-4}	+25°C ± 3°C	7 vrk ± 1 vrk

Endotoksiinit

Endotoksiinimittaukset kuvastavat hyvin gram-negatiivisten bakteerien määrää ja niiden biologista aktiivisuutta (EN 14031:2003). Endotoksiinien ilmanäytteet otettiin IOM-keräimissä (SKC) oleville steriileille lasikuitusuodattimille (Ø 25 mm, SKC) tilavuusvirralla 2 l/min. Näytteenottopumput (Gilian ja SKC) kalibroitiin ennen näytteenottoa. Näytteenottosuodattimet siirrettiin keräimistä mittauspäivänä pyrogeenivapaaseen veteen ja säilytettiin viileässä laboratorioon saakka, jolloin näytteet pakastettiin.

Näytteiden endotoksiinipitoisuudet määritettiin LAL (Limulus amebosyite lysate) -entsyymiin perustuvalla, kineettisesti mittaavalla kromogeenisellä menetelmällä (Työterveyslaitoksen akkreditoitu työhöje MIKROB-TY-070). Näytetulokset ilmoitetaan EU/m³ (EU= endotoxin unit = endotoksiiniyksikkö).

Liite 2. Mittausmenetelmät: Työhygieeniset näytteet, kemialliset tekijät

Ilmanäytteet

Työntekijän hengittämän pölyn pitoisuus mitataan keräämällä pöly selluloosa-asettaattisuodattimelle IOM-keräimellä ja analysoimalla se gravimetrisesti. Hengittyvän pölyn mittaamisessa sovelletaan standardeja EN 481:1993 ja ISO 7708:1995. Pölynäytteet kerätään ilmasta pumpun avulla esipunnitulle suodattimelle ja IOM-keräimestä punnitaan suodatin yhdessä metallisen suodatinkasetin kanssa. Näytteenkeräyksen jälkeen suodattimet suodatinkasetteineen kuivataan eksikaattorissa ja annetaan stabiloitua vaakahuoneen olosuhteisiin ennen loppupunnitusta. Loppu- ja alkupunnituksen erotuksesta saadaan suodattimen sisältämän pölyn määrä. Suodattimen läpi imetyn ilman tilavuus lasketaan näytteenottopumpun kalibrointikertoimen ja keräysajan avulla. Pölypitoisuus ilmoitetaan näytteen ilmamäärää kohti.

Alveolijakeinen pöly kerätään selluloosa-asettaattisuodattimelle Milliporen kolmiosaisella keräimellä, johon on liitetty alveolijakeen erotteleva sykloni. Näyte analysoidaan gravimetrisesti vastaavasti kuin hengittyvän pölyn näytteet, mutta syklonikeräimestä punnitaan pelkät suodattimet ennen ja jälkeen näytteenoton.

Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn näytteestä voidaan analysoida pölymäärityksen jälkeen mm. metalleja. Vesiliukoiset metallien yhdisteet uutettiin ultrapuhtaaseen veteen huoneenlämpötilassa. Kokonaismetallien määrittystä varten suodatin hajotettiin mikroaaltomärkäpoltona tai happopolttamalla (hopea). Hajotuksessa sovellettiin yhtä tai useampaa seuraavista menetelmistä:

- NIOSH 7304 -ELEMENTS by ICP (Microwave Digestion)
- NIOSH 7300 -ELEMENTS by ICP (Nitric/Perchloric Acid Ashing)
- NIOSH 7301 -ELEMENTS by ICP (Aqua Regia Ashing)
- NIOSH 7303 -ELEMENTS by ICP (Hot Block/HCl/HNO₃ Digestion).

Metallipitoisuudet analysoitiin ICP-MS -tekniikalla. Kalibrointistandardit valmistettiin näytteen matriisiin ja ne käsiteltiin kuten näytteet. Pitoisuus lasketaan käyttäen sisäisen standardin menetelmää ja tulos ilmoitetaan näytteen ilmamäärää kohti.

Työympäristön ilmasta OVS-Tenaxiin kerätyt ftalaatit uutettiin liuottimeen ja analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen massaselektiivistä detektoria (GC-MS) soveltaen OSHAn menetelmää 104.

Käsien pyyhintänäytteet

Metallien määrittystä varten pyyhintäliina hajotettiin happopolttamalla. Hajotuksessa sovellettiin NIOSH 9102 (Elements on Wipes) -menetelmää ja metallipitoisuudet analysoitiin ICP-MS -tekniikalla vastaavasti kuin suodatinnäytteet.



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos
Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

www.ttl.fi

ISBN 978-952-391-105-5 (PDF)

