

Kemikaalien hallinta kiertotaloudessa

Sari Kauppi



Kyllästetty-
puujäte

Kemikaalien hallinta kiertotaloudessa

Sari Kauppi



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 29 | 2017
Suomen ympäristökeskus
Kulutuksen ja tuotannon keskus

Julkaisun otsikko: Kemikaalien hallinta kiertotaloudessa

Kirjoittaja: Sari Kauppi

Vastaava erikoistoimittaja: Riina Antikainen

Rahoittajat: Ympäristöministeriö, Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

PL 140, 00251 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Pirjo Lehtovaara

Kannen kuva: Sari Kauppi (Jätteen lajittelua alueellisessa keräyspisteessä Ahlmannintiellä Kouvolassa)

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11- 4873-6 (nid.)

ISBN 978-952-11- 4874-3 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2017

TIIVISTELMÄ

Kemikaalien hallinta kiertotaloudessa

Kemikaalien kierto tuotteiden ja materiaalien mukana on tunnistettu yhdeksi kiertotalouden haasteista. Kemikaalien hallintaan kiertotaloudessa vaikuttaa tieto siitä, missä ja minkä ikäisissä tuotteissa vaarallisia aineita voi olla. Kemikaalien pitoisuudet, ominaisuudet ja useiden kemikaalien yhdistelmät vaikuttavat niiden aiheuttamaan terveys- ja ympäristörisktiin sekä siihen, millaisia vaikutuksia näillä kemikaaleilla on kierrätysmateriaalin laadulle. Vaaralliset aineet on tunnistettava ja poistettava materiaalikiertoista.

Kiertotalouden suuntaviivoja on asetettu kansainvälisesti EU:ssa ja pohjoismaisissa yhteistyöprojekteissa. Kansallisesti erilaisia selvityksiä ja tutkimuksia on tehty kaikissa selvityksen kohteena olevissa maissa, eli Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa ja Suomessa. Kemikaalien hallinta on ollut harvoin esillä kiertotalouteen liittyvissä julkaisuissa. Muutamissa tutkimus- ja kehityshankkeissa on huomioitu myös kemikaalit sekä eri materiaalien sisältämät vaaralliset aineet.

Usein materiaalit tulevat kierrätykseen vasta vuosien tai vuosikymmenten jälkeen valmistuksesta ja tuotteiden tai materiaalien käyttöönotosta. Siksi ne saattavat sisältää nykyisin kiellettyjä, vaaralliseksi tunnistettuja aineita. Esimerkiksi rakennusmateriaalien sisältämien vaarallisten aineiden tunnistaminen purku- ja rakennusjätteestä on käytännössä hankalaa, vaikka rakennusmateriaalien vaarallisista kemikaaleista on tietoa saatavilla tehtyjen tutkimusten ansiosta. Tekstiilien ja joidenkin muovien sisältämien vaarallisten aineiden riskinhallintaa pitää vielä parantaa. Erityisesti pitäisi kehittää pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP-yhdisteiden) ja erityistä huolta aiheuttavien aineiden (SVHC-aineiden) riskinhallintaa kiertotaloudessa. On kehitettävä menetelmiä sekä näiden aineiden tunnistamiseksi että materiaalien puhdistamiseksi. Myös materiaalien erotustekniikoilla voidaan parantaa kierrätystä, jotta niiden avulla saadaan kierrätettäväksi kelpaavat ja vaarallisia aineita sisältävät materiaalit omiksi jakeikseen.

Asiasanat: Kemikaalit, kiertotalous, tekstiilit, muovi, rakennusaineet, rakennusmateriaalit, haitalliset aineet, vaaralliset aineet, POP, SVHC, kyllästeet, ympäristömyrkyt, torjunta-aineet, raskasmetallit, palonsuoja-aineet

SAMMANDRAG

Hantering av kemikalier i cirkulär ekonomi

Kemikaliernas kretslopp i produkter och material har konstaterats utgöra en av den cirkulära ekonomins utmaningar. Det som påverkar hanteringen av kemikalier i den cirkulära ekonomin är vetskapen om var och i vilka produkter det kan finnas farliga ämnen. Kemikaliehalterna, kemikaliernas egenskaper och kombinationerna av flera kemikalier påverkar den risk för hälsan och miljön som de orsakar samt den effekt dessa kemikalier har på återvinningsmaterialets kvalitet. Farliga ämnen ska identifieras och avlägsnas ur materialkretsloppet.

Riktlinjer för den cirkulära ekonomin har dragits upp internationellt i EU och inom nordiska samarbetsprojekt. Nationellt har olika utredningar och undersökningar genomförts i alla länder som varit föremål för utredning, dvs. Sverige, Norge, Danmark och Finland. Hanteringen av kemikalier har sällan behandlats i publikationer om cirkulär ekonomi. I vissa forsknings- och utvecklingsprojekt har även kemikalier och farliga ämnen som ingår i olika material uppmärksammats.

Ofta ska inte materialen återvinnas förrän flera år eller årtionden efter tillverkningen och efter ibruktagandet av produkterna eller materialen. Det är orsaken till att de kan innehålla ämnen som i dag anses farliga och är förbjudna. Det är till exempel svårt att i praktiken identifiera farliga ämnen i byggnadsmaterial från rivnings- och byggnadsavfall, trots att det tack vare genomförda undersökningar finns information om farliga kemikalier i dessa material. Riskhanteringen av farliga ämnen i textilier och vissa plaster ska ännu förbättras. I den cirkulära ekonomin borde man i synnerhet utveckla riskhanteringen av beständiga organiska föreningar (POP-föreningar) och ämnen som orsakar speciell oro (SVHC-ämnen). Man måste utveckla metoder för att kunna identifiera och rensa materialen från dessa ämnen. Även med hjälp av materialens separationsteknik kan man förbättra återvinningen, så att material som kan återvinnas och material som innehåller farliga ämnen separeras.

Nyckelord: Kemikalier, cirkulär ekonomi, textilier, plast, byggnadsämnen, byggnadsmaterial, skadliga ämnen, farliga ämnen, POP, SVHC, impregneringsmedel, miljögifter, bekämpningsmedel, tungmetaller, brandskyddsämnen.

ABSTRACT

Chemicals management in the circular economy

The circulation of chemicals with products and materials has been identified as one of the challenges of the circular economy. The management of chemicals in the circular economy is influenced by knowledge on what kinds of products hazardous materials may appear in and how old these products are. The concentrations and properties of chemicals and the combinations of multiple chemicals affect the resulting health-related and environmental risks as well as the impacts of these chemicals on the quality of recyclable materials. Hazardous substances must be identified and eliminated from material flows.

Guidelines for the circular economy have been laid down internationally within the EU and through cooperation projects in the Nordic countries. On a national level, various analyses and studies have been conducted in all of the countries examined – i.e. Sweden, Norway, Denmark and Finland. Chemicals management has rarely been addressed in publications pertaining to the circular economy. Some research and development projects have also considered chemicals and the hazardous substances contained by various materials.

More often than not, materials are brought in for recycling years or decades after production and the commissioning of the products or materials in question. This means that they may contain substances that have now been banned due to being identified as dangerous. For example, the practical process of identifying hazardous substances in construction materials among demolition and construction waste is difficult, even though information on hazardous chemicals in the materials is available thanks to previous studies. The risk management of hazardous substances contained in textiles and some plastics must still be improved. The risk management of persistent organic pollutants (POP compounds) and substances of very high concern (SVHC) in particular should be developed in the circular economy. Methods must be developed to identify these substances and purify the materials. Furthermore, material separation technologies can be used to improve recycling to ensure that recyclable materials and materials that contain hazardous substances are successfully divided into separate fractions.

Keywords: Chemicals, circular economy, textiles, plastic, building materials, construction materials, harmful substances, hazardous substances, POP, SVHC, impregnating agents, environmental toxins, pesticides, heavy metals, flame retardants

ESIPUHE

Kemikaalit kiertävät materiaalien mukana ja osa niistä on terveydelle ja ympäristölle haitallisia tai ne haittaavat materiaalien laatua. Kemikaaleja kiertotaloudessa on tutkittu vasta vähän ja siksi tähän raporttiin on otettu huomioon erilaiset kemikaaleihin liittyvät työt laajalla näkökulmalla. Tämän selvitystyön ensisijaisena tavoitteena oli tunnistaa, millaista tutkimus- ja selvitystyötä on tehty Suomessa, Norjassa, Ruotsissa ja Tanskassa liittyen kemikaaleihin kiertotaloudessa. Vaikka kiertotaloudesta on viime vuosina julkaistu paljon, on näkökulma kemikaaleihin ollut harvoin esillä. Tämän vuoksi joitakin esimerkkejä on otettu mukaan myös muualla tehdyistä tutkimuksista. Selvitystä tehtiin lähinnä kirjallisuuteen perustuen, mutta myös asiantuntijoiden kanssa käytyt keskustelut nostivat asioita esille. Tyyli on paikoin referoiva, jotta eri julkaisujen sisältämä tieto tulisi selkeästi esille.

Raporttia varten tekemiini haastatteluihin ovat osallistuneet Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Kulutuksen ja tuotannon keskuksen jäteasiainryhmästä Tuuli Myllymaa, Hanna Salmenperä, Helena Dahlbo ja Eevaleena Häkkinen. Suomen itsenäisyyden juhlarahastosta (Sitra) keskusteluja kanssani kävi Nani Pajunen, Rakennusteollisuus Ry:stä Pekka Vuorinen ja Tuuli Kunnas, Vahanen Oy:stä Jarno Komulainen ja Petra Pihlainen sekä Kuusakoski Oy:stä Maija Oravala ja Tiina Malin. Turvallisuus- ja kemikaalivirastosta (TUKES) Kemikaaliturvallisuus (KETU) -tietokannasta sain pyynnöstä kohdennettuja hakuja rakennusmateriaalien pysyvistä orgaanisista yhdisteistä sekä erityistä huolta aiheuttavista aineista. TUKES:sta tietoa välittivät Anu Matilainen, Sari Kontio, Hinni Papponen, Mervi Assmann ja Annette Ekman.

Kansainvälistä yhteistyötä tehtiin osallistumalla pohjoismaiseen Chemicals in articles -työpajaan Ruotsissa, Tukholmassa 3. – 4.4.2017, jossa osallistujia oli Suomesta, Ruotsista, Tanskasta ja Islannista sekä osallistumalla Euroopan ympäristöviraston tieteellisen komitean järjestämään seminaariin Chemicals for a sustainable future Tanskassa, Kööpenhaminassa 17.5.2017.

Kiitos kaikille yhteistyötä tehneille, kuin myös raportin kommentoijille, Teija Haavistolle ja Jaakko Manniolle (SYKE) sekä SYKEN Haitallisten aineiden ryhmälle aiheeseen liittyvistä keskusteluista ja kommentista. Kiitos ympäristöministeriölle työn rahoittamisesta.

Helsingissä 8.8.2017

Sari Kauppi

SISÄLLYS

1 Johdanto	9
1.1 Kemikaalien hallintaa yhteisillä sopimuksilla	10
2 Yhteistyö EU:ssa ja Pohjoismaissa	13
2.1 Pohjoismainen yhteistyö	13
2.2 Kansalaisjärjestöt peräänkuuluttavat vastuuta	13
2.3 Ruotsissa tutkimusta kemikaaleista tavaroissa	14
2.3.1 Tavoitteena myrkytön ympäristö	14
2.3.2 Yritystoiminnan näkökulmia	15
2.4 Tanskalainen työkalupakki kiertotaloudesta päätöksentekijöille	16
2.5 Norjassa mallinnusta jätteiden päästöistä	18
2.5.1 Maaprofiili	18
2.5.2 Kiertotaloutta ja jätteiden käsittelyä	18
2.5.3 Hormonihäiriköt lastentuotteissa	19
2.6 Suomessa selvityksissä enemmän kiertotaloutta kuin kemikaaleja	20
3 Esimerkkejä kemikaaleista materiaalikiirroissa	22
3.1 Tekstiilit	22
3.2 Muovit	24
3.3 Rakennusmateriaalit	26
3.3.1 Rakennusmateriaalien kierrätys	26
3.3.2 Haitallisia aineita rakennus- ja purkujätteissä	27
3.3.3 Seosmuotoiset materiaalit	29
3.3.4 PCB-yhdisteet	30
3.3.5 Muovien haitalliset aineet rakennusmateriaaleissa	30
3.4 Esimerkkejä kierrätysmenetelmien ja mittaustekniikoiden kehittämisestä	31
4 Yhteenveto ja johtopäätökset	32

Ympäristöä ja terveyttä uhkaavista ja pilaavista aineista on käytetty erilaisia termejä, jotka eivät ole täysin toisiaan poissulkevia. Tässä raportissa:

Biosidi on kemiallinen aine, jolla pyritään tuhoamaan haitallisia eliöitä tai estämään niiden kasvua. Esimerkiksi puunsuoja-aineet ja tekstiilien mikrobien aiheuttamaa pilaantumista estävät valmisteet ovat biosideja.

Kemikaali on kemiallinen aine, jonka rakenne tunnetaan, tai kemikaali on kemiallisten aineiden seos, jonka ainesosat ja aineosien pitoisuudet tunnetaan. Kemikaalilla voidaan myös tarkoittaa teollisesti valmistettua ainetta tai seosta.

Haitallinen aine on kemikaali, joka aiheuttaa haittaa terveydelle tai ympäristölle. Haitallinen aine voi esimerkiksi muuttaa ympäristön toimivuutta kuten ravinnekiertoja, tai vaikuttaa alueen ekologiaan, tai se voi haitata eliöiden elinmahdollisuuksia ja kykyä lisääntyä. Haitallisella aineella voidaan joskus tarkoittaa myös vaarallista ainetta, sillä esimerkiksi myös pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP-yhdisteet) ja raskasmetallitkin voivat aiheuttavat haittaa.

Raskasmetalli on yleisnimitys metalleille tai puolimetalleille, joilla on ympäristölle ja terveydelle haitallisia ominaisuuksia. Raskasmetalleja esiintyy luonnossa pieniä määriä ja osa niistä on eliöille tarpeellisia hivenaineita, joiden myrkyllisyys ilmenee suurille pitoisuuksille altistuttaessa. Myrkyllisyyden lisäksi ne ovat pysyviä sekä eräät niistä eliöihin ja ravintoverkkoihin kertyviä. Ympäristön kannalta ongelmallisimpia ovat elohopea, lyijy ja kadmium. Näiden kolmen raskasmetallin haitalliset terveysvaikutukset ovat myös parhaiten tunnettuja.

Vaarallinen aine. Ympäristölle ja terveydelle vaaralliset kemikaalit – sekä aineet että seokset – luokitellaan ryhmiin: erittäin myrkylliset, myrkylliset, haitalliset, syövyttävät, ärsyttävät, herkistävät, syöpää aiheuttavat, perimää vaurioittavat, lisääntymiselle vaaralliset. Kemikaalien luokittelussa huomioidaan niiden välittömän, viivästyneen tai pitkäaikaisesta tai toistuvasta altistumisesta aiheutuva myrkyllisyys, syövyttävyys tai ärsyttävyys, herkistävyys, tai ns. erityisten vaikutusten (syöpää aiheuttavat, perimää vaurioittavat ja lisääntymiselle vaaralliset vaikutukset) perusteet (www.kemikaalineuvonta.fi). Esimerkiksi hitaasti hajoavat ja eliöihin kertyvät pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP-yhdisteet) ovat vaarallisia aineita.

1 Johdanto

Kiertotaloudessa materiaalien arvoa pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkään, minimoiden samalla materiaalien käytön ympäristövaikutukset. Kemikaaleja siirtyy materiaalien mukana myös näkymättömänä osana materiaalivirtaa. Mahdolliset riskiä aiheuttavat kierrätysmateriaalit on havaittava ajoissa, etteivät vaaralliset aineet pääse uusiin, kierrätysmateriaaleista valmistettuihin tuotteisiin. Koska vain tunnistettua riskiä voidaan hallita, on kemikaalien merkitystä kiertotalouden materiaalivirroissa tarpeellista selvittää. Myrkylliset, pysyvät ja eliöihin kertyvät aineet aiheuttavat suurimpia riskejä terveydelle ja ympäristölle. Kemikaalit voivat aiheuttaa esimerkiksi muutoksia ihmisen perimään tai ne voivat aiheuttaa syöpää tai vaikuttaa lisääntymisterveyteen. Vaikka jätteiden ja sivuvirtojen hyötykäyttö muodostaa kiertotalouden kannalta merkittävää potentiaalia, voivat tuotteiden tai materiaalien sisältämät kemikaalit aiheuttaa merkittäviä riskejä.

Euroopan Unionin (EU) pyrkimykset säästää luonnonvaroja ja toimia hiilineutraalisti (ilman fossiilisten polttoaineiden käyttöä) voidaan toteuttaa kiertotalouden menetelmin. Euroopan talouden muuntuminen kestävämmäksi tarjoaa mahdollisuuksia yrityksille, mutta toisaalta myös haasteen muun muassa kemikaalien hallinnasta kiertotaloudessa. Kiertotaloudessa on muiden tavoitteiden ohella sovitettava yhteen myös kemikaali-, tuote- ja jätelainsäädäntöä.

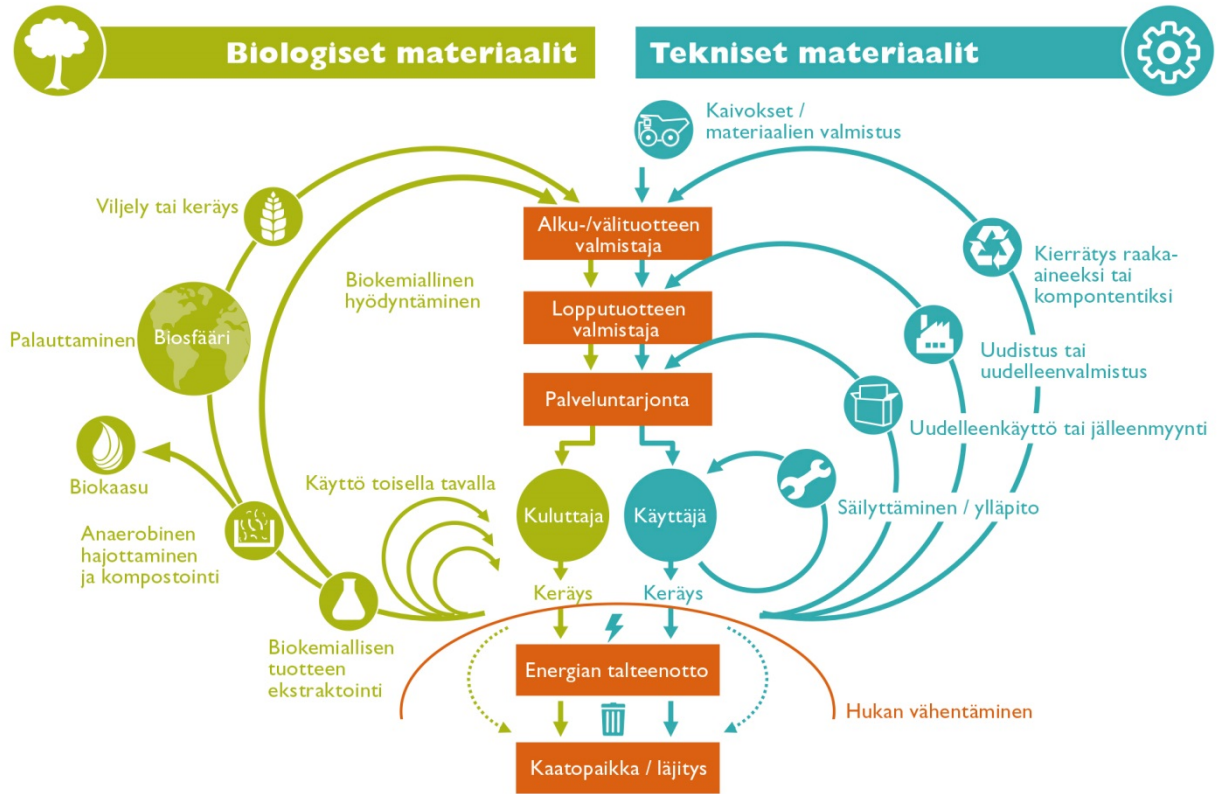
Vuonna 2015 julkaistun EU:n kiertotalouspaketin (EC 2015) toimeenpanoa on kuvattu Euroopan komission raportissa 2017 (EC 2017). Sen mukaan keskeisimmät toimet ovat koskeneet ruokajätteen, ekosuunnittelun, orgaanisten ravinteiden, kuluttajatuotteiden takuiden ja uusien innovaatioiden ja sijoitusten edistämistä. Lisäksi kiertotalouden periaatteita on toteutettu muun muassa luomalla hyviä käytäntöjä teollisuuteen, kehittämällä vihreitä julkisia hankintoja ja tekemällä aloitteita rakennus- ja vesisektoreilla (EC 2017).

Kiertotalous ei ole pelkästään materiaalin kierrätystä, vaan myös optimoitua luonnonvarojen kuluusta (Sitra 2016). Nykyinen lineaarinen talousjärjestelmä on kestävä, joten talouden ja hyvinvoinnin kasvu eivät saa lisätä haitallisia ympäristövaikutuksia. Tietoja kiertotaloutta edistävien ratkaisujen ja politiikkatoimien toteuttamismahdollisuuksista sekä niiden ympäristönäkökohdista on syvennettävä. (Seppälä ym. 2016). Ympäristönäkökohtiin kuuluu olennaisena kemikaalien hallinta kiertotaloudessa. Vaaralliset kemikaalit on poistettava kierrosta ja haitallisia kemikaaleja sisältävien materiaalien uudelleen käytössä on huomioitava mahdolliset valmistettavan tuotteen käyttörajoitteet sekä kemikaalikertymä. Kemikaalien hallinta auttaa mahdollistamaan ihmiselle ja ympäristölle turvalliset materiaalikierrat ja vaihtotalouden.

Joissakin kiertotalousmalleissa jaetaan erillisiksi kierroiksi biologiset materiaalit ja tekniset materiaalit (Kuva 1). Teknisten materiaalien kierto tai niissä kulkeutuvat kemikaalit voivat kuitenkin päätyä kosketuksiin biologisten kiertojen kanssa, tai jopa osaksi biologisia kiertoja. Tässä raportissa on keskitytty teknisten materiaalien mukana kiertäviin kemikaaleihin. Yhdeksi esimerkiksi on valittu rakennusmateriaalit niiden suuren kierrätysvolyymin vuoksi. Toiseksi esimerkiksi on valittu tekstiilit, sillä niitä pidetään potentiaalisesti kasvavana tulevaisuuden kierrätysmateriaalina. Kolmanneksi esimerkiksi on nostettu muovit niiden laajan käytön vuoksi. Lisäksi muovit voivat sisältää useita erilaisia haitallisia aineita, joko tarkoituksellisesti parantaen niiden ominaisuuksia tai tahattomasti, käytön ja kierrätyksen aikana imeytyneenä. Näiden esimerkkien lisäksi on paljon muita materiaalivirtoja, joita on tutkittu ja pitäisi edelleen tutkia kemikaalien hallinnan näkökulmasta.

KIERTOTALOUSMALLI

Lähde: Ellen MacArthur Foundation "Towards Circular Economy Vol. 1"



Kuva 1. Kiertotalousmalli Ellen MacArthur -säätiön mukaan (lähde Seppälä ym. 2016).

1.1 Kemikaalien hallintaa yhteisillä sopimuksilla

Kemikaalien käyttöä ohjataan lainsäädännöllä. Vaarallisten kemikaalien käyttö on kielletty kokonaan, tai niiden käyttöä on rajoitettu ja seurantavelvoitteita esimerkiksi tahattomasti muodostuvista yhdisteistä lisätty. Kemikaalien käyttäjät on velvoitettu rekisteröitymään ja raportoimaan kemikaalien käytöstä. Tavoitteena on turvallinen käyttö siten, ettei vaarallisia kemikaaleja pääse ympäristöön, eivätkä ne uhkaa ihmisten terveyttä. Pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP) käytön rajoituksesta on sovittu ns. Tukholman sopimuksessa (34/2004), jossa niiden käyttö on joko kokonaan kielletty tai käyttöä on rajoitettu. POP-yhdisteet voivat olla myös tahattomasti tuotettuja ja silloin niiden muodostumista yritetään vähentää. Jos jätteet sisältävät POP-yhdisteitä, ei niitä saa kierrättää. Poikkeuksena tästä säännöstä ovat tietyt metalliteollisuuden metallipitoiset jätteet, joita voidaan kierrättää määritellyillä prosesseilla (Ympäristöministeriö 2016a). Näitä jätteitä ovat raudan- ja teräksenvalmistusprosessien jätteet, kuparisulattamoiden kaasunpuhdistusjärjestelmistä tulevat pölyt ja muut sen tapaiset jätteet sekä värimetallituotannon lijyitä sisältävät suotojäämät (Ympäristöministeriö 2016a). POP-yhdisteitä sisältävä jäte on käsiteltävä niin, että POP-yhdisteet hävitetään tai muutetaan palautumattomasti siten, että POP-yhdisteitä ei jää jäljelle (POP-sopimus 34/2004). Lista POP-yhdisteistä ja niiden käyttötarkoituksista on esitetty raportissa Pysyviä orgaanisia yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyvaatimukset (Ympäristöministeriö 2016a). Näiden yhdisteiden vaikutuksista ympäristöön ja terveyteen on tietoa raportissa Kaukokulkeutuvat ympäris-

tömyrkyt Suomen pohjoisilla alueilla – LAPCON (Mannio ym. 2016). Kemikaalilainsäädännön ohella kiertotalouteen liittyy muun muassa sääntely kuluttajaturvallisuudesta (Kuluttajaturvallisuuslaki 920/2011) ja ympäristönsuojelusta (Ympäristönsuojelulaki 527/2014) sekä Ekosuunnittelu direktiivi (2009/124/EG), ja EU:n asetus rakennusmateriaaleista (EU N:o 305/2011).

POP-yhdisteet ja erityistä huolta aiheuttavat aineet (Substances of Very High Concern, SVHC-aineet) tuovat tuotteille toivottuja ominaisuuksia, mutta ovat terveydelle ja ympäristölle haitallisia. POP-yhdisteet ovat pysyviä ja eliöihin kertyviä ja voivat kulkeutua veden, ilman ja eliöiden mukana. Vaikka joitakin POP-yhdisteitä on säännelty jo pitkään, voi vanhoissa materiaaleissa edelleen esiintyä niitä. Käytössä ei ole vielä monia teollisen mittakaavan tunnistusmenetelmiä esimerkiksi tuotteiden sisältämien bromattujen palonsuoja-aineiden tunnistamiseksi, minkä vuoksi palonsuoja-aineita todennäköisesti päätyy kierrätysmateriaaleihin.

Kemikaaleihin liittyvää lainsäädäntöä:

- Kemikaalilaki (599/2013)
- EU:ssa kemikaalilainsäädännössä aineiden ja seosten luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta säännellään CLP-asetuksessa (EY N:o 1272/2008) ja
- Kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista REACH -asetuksessa (EY N:o 1907/2006)
- Pysyvistä orgaanisista yhdisteistä (Persisten organic compound, POP) POP-asetuksessa (EY N:o 850/2004)
- Biosidiasetus EU 528/2012 säätelee biosidivalmisteiden asettamista saataville markkinoilla ja niiden käyttöä. Asetus koskee desinfiointiaineita, säilytysaineita, tuholaisen torjunta-aineita ja muita biosidejä, kuten veneenpohjamaalien kiinnittymisenestoaineita.
- RoHS-direktiivi ja asetus. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2011/65/EU tiettyjen vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. Ympäristöministeriön asetus vaarallisten aineiden rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa 853/2013
- Lisäksi erikseen on säädetty lyhytketjuisista parafiineista (Direktiivi 2002/45/EY), pentabromidifenyylieetteristä ja oktarbormidifenyylieetteristä (Direktiivi 2003/11/EY), polykloorattujen bifenyyliden ja polykloorattujen terfenyyliden käsittelystä (PCB-direktiivi, 96/59/EY).
- Kattava kemikaaleja koskevan lainsäädännön kooste on tehty kansallisen vaarallisia kemikaaleja kosken ohjelman väliarvioinnin ja tarkistuksen yhteydessä (Ympäristöministeriö 2017).

SVHC-aineet on listattu Euroopan kemikaaliviraston ns. kandidaattilistaan (Euroopan kemikaalivirasto). Listalle päätyneillä aineilla on erityisen haitallisia ominaisuuksia. Ne esimerkiksi aiheuttavat syöpää, vaurioittavat sukusoluja, haittaavat lisääntymistä ja häiritsevät hormonitoimintaa sekä ovat hitaasti hajoavia, biokertyviä ja myrkyllisiä (PBT-aineita), tai erittäin hitaasti hajoavia ja erittäin voimakkaasti biokertyviä (vPvB-aineita). Osa SVHC-aineista on raskasmetalleja tai niiden tiettyjä yhdistemuotoja, kuten esimerkiksi kadmium, kadmiumsulfaatti, -oksidi ja -fluoridi, sekä useat lyijy-, kromi- ja koboltti -yhdisteet ovat SVHC-ainelistalla.

Listattujen 173 SVHC-aineiden käyttö asettaa velvoitteita Euroopan talousalueella toimiville yrityksille. Kandidaattilistan aineista on toimitettava käyttöturvallisuustiedotteet. Ne on toimitettava pyydetty-

essä myös seoksista, joissa SVHC-ainetta on 0,1 painoprosenttia tai enemmän, samoin kuin esineistä, jotka sisältävät 0,1 painoprosenttia tai enemmän kandidaattilistan ainetta. Tieto SVHC-aineen käytöstä tuotteessa tai materiaalissa on toimitettava teolliselle toimijalle tai jakelijalle. Kuluttajalle on ilmoitettava vain aineen nimi, vaikka pelkän tuotelistassa olevan nimen perusteella kuluttajan on mahdotonta arvioida kierrättämisen turvallisuutta.

Joillekin haitallisille aineille on REACH-lainsäädännössä sallittu korkeampia pitoisuuksia raja-arvoiksi kierrätysmateriaalille kuin neitseelliselle materiaalille. Tukholman sopimukseen on annettu poikkeuksia esimerkiksi tetrabromidifenyylieetteristä ja pentabromidifenyylieetteristä tuotteissa koskien tiettyjä maita (muun muassa EU-maat, Kanada, Brasilia ja Japani). Syynä poikkeukseen on esimerkiksi, että kiellettyä ainetta on vielä käytössä olevissa tuotteissa ja halutaan varmistaa materiaalien, esimerkiksi muovin, kierrätys. Halutaan myös mahdollistaa kierrätysmateriaaleista tehtyjen tuotteiden käyttö ja uudelleen kierrättäminen, vaikka tuotteet sisältäisivät Tukholman sopimuksella säänneltyjä aineita. (Tukholman sopimus, <http://chm.pops.int>)

Koska poikkeusluvan turvin on vaarallisten aineiden käyttöä joskus voitu jatkaa kieltojen voimaan astumisen jälkeenkin, voi materiaaleissa ja tuotteissa olla näitä aineita vielä pitkään kiellon jälkeenkin. Poikkeusluvut koskevat usein varastossa olleiden aineiden käyttöä. Esimerkiksi tällä hetkellä tetra-, penta-, heksa- tai hepta-BDE:tä ainesosanaan sisältävän tavaran käyttö on sallittua, jos se on ollut käytössä jo ennen 25.8.2010. Kuluttajille tämänlaisten poikkeusluvulla vaarallisia aineita sisältävien tuotteiden ja materiaalien tunnistaminen on erittäin vaikeaa, joten niitä voi päätyä myös kierrätykseen.

Elohopeaa koskee kansainvälinen yleissopimus (ns. Minamatan yleissopimus). EU:ssa Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2017/852 elohopeasta ja asetuksen (EY) N:o 1102/2008 kumoamisesta astui voimaan 17.5.2017. Kumottu säännös koski metallisen elohopean ja tiettyjen elohopeayhdisteiden ja -seosten viennin kieltämistä sekä metallisen elohopean turvallista varastointia.

2 Yhteistyö EU:ssa ja Pohjoismaissa

EU:ssa ja Pohjoismaissa on tehty yhteistyötä kemikaalien hallinnan osalta jo pitkään. Kemikaalit ja kiertotalous -teemaa on lähestytty enemmän yleiseltä päätöksenteon suuntaviivoja ohjaavalta tasolta tai yksittäisten aine- tai kierrätysmateriaalien kannalta. Varsinaista tutkimusta kemikaaleista kiertotaloudessa on tehty vähän. Tähän raporttiin poimittiin kiertotalouteen ja kemikaaleihin liittyviä tutkimuksia ja selvityksiä Ruotsista, Tanskasta, Norjasta ja Suomesta sekä pohjoismaisista yhteistyöprojekteista. Useissa kiertotalousjulkaisuissa kemikaaleja ei ole huomioitu lainkaan, eikä näitä julkaisuja ole siksi otettu mukaan tähän raporttiin. Osa selvityksistä keskittyi tiettyihin kemikaaleihin ja sisälsi hyvin yksityiskohtaista tietoa pitoisuuksista. Koska joissakin raporteissa pitoisuustulokset esitettiin keskeisimpinä tuloksina, ne on mainittu tässäkin raportissa. Kemikaalien hallinta kiertotaloudessa linkittyykin vahvasti kemikaaleihin tuotteissa. Euroopan ympäristötoimisto julkaisi kantaa ottavan selvityksen kemikaaleista kiertotaloudesta. Koska monet kansalaisjärjestöt toimivat kansainvälisesti, on kansalaisjärjestöjen näkökulmia esitetty oman alaotsikon alla.

2.1 Pohjoismainen yhteistyö

Pohjoismaisen ministerineuvoston Kohti kiertotaloutta -projektissa (Moving towards a circular economy- successful Nordic business models) tavoitteena oli saada kiertotalouden ajatusmaailmaa eteenpäin ja tehdä näkökulmaa tunnetuksi Pohjoismaissa. Laajan työpajan tuloksena julkaistiin 18 esimerkkiä. Suosituksina esitettiin, että maiden hallitusten tulisi asettaa pitkän tähtäimen päämääriä, laatia sääntelyä sekä asettaa materiaalien uudelleen käytölle tavoitteet ja mahdollistaa parempilaatuinen kierrätys. Maiden hallitusten tulisi myös aktiivisesti luoda kiertotaloutta tukevia markkinoita ja vaatia julkisiin hankintoihin kiertotalousmalleja. Tuotteiden korjattavuus, pidemmät takuehdot sekä parempi tiedonvälitys tuotteista tulisi kirjata lakiin. Hankkeessa myös tunnistettiin ne sektorit, joissa jätemäärien pienentäminen ja ympäristövaikutusten vähentäminen on erityisen tärkeää. Sektorit ovat ruokatuotanto, tekstiilit, sähkö- ja elektroniikkalaitteet, rakennusteollisuus ja purkujätteet, huonekalut sekä pakkaus- tuotteet. Kuluttajatuotteiden tuotesuunnittelun tulisi tähdätä pitkäikäisyyteen ja tuotteiden korjaamisen tulisi olla mahdollista. Tiedon välitys ja läpinäkyvyys läpi koko tuotantoketjun on välttämätöntä. (Nordic Council of Ministers 2015)

Kemikaalien tuotanto ja käyttö on kasvanut viime vuosikymmeninä eksponentiaalisesti. Samanlaisesti vaarallisten kemikaalien ja jätteiden aiheuttamat negatiiviset vaikutukset ihmisten ja ympäristön terveyteen sekä talouteen ovat lisääntyneet vaikka samaan aikaan kemikaalien sääntely on lisääntynyt. Kestävän kemikaalien ja jätteiden hallinnan periaatteisiin kuuluvat kansainväliset standardit, ohjeistusten noudattaminen vapaaehtoisesti sekä eri kemikaaliryhmille tehdyt protokollat. (Honkonen & Khan 2017)

2.2 Kansalaisjärjestöt peräänkuuluttavat vastuuta

Eri kansalaisjärjestöt ovat nostaneet esille sekä tuotettujen tuotteiden kierrätysmahdollisuuden vaateita sekä kemikaalien huomioimista kiertotaloudessa. Zerowaste Europe -säätiön mielestä kiertotalous edellyttää laajennettua tuottajavastuuta (extended producer responsibility, EPR). Jos tuotetta ei voida käyttää uudelleen, korjata, kierrättää tai kompostoida, pitäisi tuote joko suunnitella uudelleen tai poistaa tuotannosta. Tuloksena tuottajavastuun laajentamisesta resurssien käyttö yleensä pienenesi, samoin kuin pakkausmateriaalien määrä. Lisäksi tuotteet olisivat korjattavissa ja vaarallisten aineiden käyttö vähenisi.

Tuotteiden kierrätettävyys paransi, kun kierrätykseen sopimattomia tuotteita ei valmistettaisi. (Sanz ym. 2015)

Euroopan ympäristötoimisto (European Environmental Bureau, EEB) toi esille suosituksia vaarallisten kemikaalien hallinnasta kiertotaloudessa. Ensimmäisenä tavoitteena pitäisi olla vaarallisten aineiden pääsy estäminen tuotteisiin. Tiedon tuotteissa olevista vaarallisista aineista pitäisi kulkea materiaalin mukana. EEB:n mukaan pitäisi varmistaa, että lainsäädännöllä estetään tuotteiden valmistaminen vaarallisia aineita sisältävistä kierrätysmateriaaleista. Asiaa tuotiin esille erityisesti joillekin vaarallisille aineille myönnettyjen kierrätysmateriaaleja koskevien korkeampien raja-arvojen vuoksi. Esimerkkeinä kerrottiin kadmiumille sallitusta kymmenkertaisesta pitoisuudesta PVC:ssä ja pentabromidifelyyलिएetterille (pentaBDE) sallittu satakertainen pitoisuus kierrätysmateriaalissa neutseellisiin materiaaleihin verrattuna. PentaBDE:lle on siis POP-sopimuksen mukaan sallittu pitoisuus alle 0,001 painoprosenttia, mutta osittain tai kokonaan kierrätysmateriaalista tehdyssä tuotteessa pitoisuusraja on 0,1 prosenttia. Tämä mahdollistaa kierron materiaaleille, jotka sisältävät vaarallisia aineita enemmän kuin mitä neutseellisissä materiaaleissa on katsottu turvalliseksi. (EEB 2017)

2.3 Ruotsissa tutkimusta kemikaaleista tavaroissa

2.3.1 Tavoitteena myrkytön ympäristö

Ruotsissa on jo pitkään oltu kiinnostuneita kemikaaleista tavaroissa ja myrkyttömän ympäristön vaateesta, joista juontuu näkökulmia myös kiertotalouteen. Vuonna 2011 arvioitiin, että kemikaalit tavaroissa aiheuttavat riskin, joka vaikuttaa koko yhteiskuntaan. Tavoitteena oli mahdollistaa pitkän aikavälin strategia kemikaalien hallintaan ja samalla edistää myrkyttömän ympäristön tavoitetta. (KEMI 2011) Ruotsissa on myös selvitetty, olisiko mahdollista helpottaa haitattomien vaihtoehtojen löytymistä vaarallisille kemikaaleille. Selvityksen mukaan vaarallisten aineiden korvaamista haitattomilla voitaisiin edistää substituutiokeskuksilla, jotka auttaisivat jakamalla tietoa, tekemällä yrityksille mallin kemikaalien analysointiin sekä listaamalla hyväksi todettuja aineita, materiaaleja ja tuotteita. Substituutiokeskuksen on suunniteltu antavan sekä yleistä että tiettyihin tuoteryhmiin kohdistuvaa neuvontaa. (SOU 2017)

Ihmiset ja ympäristö altistuvat tavaroissa oleville vaarallisille aineille useissa tavarankäytön vaiheissa: tuotannossa, käytön aikana ja jätteenä. Lisäksi ihmiset ja ympäristö altistuvat useille kemikaaleille yhtä aikaa, eikä riittävää tietoa yhteisvaikutuksista ole olemassa. Erityisesti lasten altistumista pitäisi ehkäistä paremmin. (KEMI 2011)

Koska kaupankäynti on globaalia, on tuottajien ja maahantuojien vastuulla varmistaa tuotteiden turvallisuus. Tuotteiden käytön kasvu lisää myös energian, materiaalien ja kemikaalien käyttöä. Materiaalikierrot eivät ole tehokkaita, eivätkä myrkyttömiä, joten kierrätysmateriaalien sisältämät vaaralliset aineet sisältävät kemikaaliriskin. Ruotsin kemikaalivirasto toteaa raportissaan, että monet erityistä huolta aiheuttavista aineista ovat syöpää aiheuttavia, aiheuttavat haittaa lisääntymiselle, ovat hormonihäiriköjä tai aiheuttavat allergiaa, mutta ne eivät ole kiellettyjä. Tieto näistä aineista ei tavoita kaikkia altistujia. (KEMI 2011)

Ruotsissa muutokselle asetettiin tavoitteeksi muun muassa ihmisiin kohdistuvien haitallisten vaikutusten saaminen mahdollisimman vähäisiksi, ja että materiaalikierrot olisi saatava resurssitehokkaiksi ja mahdollisimman myrkyttömiksi. Vaarallisia aineita on karsittava uusista tavaroista ja niitä sisältävien tavaroiden pääsy on estettävä materiaalikiertoihin. Tämän on oltava luonnollinen osa yritystoimintaa. Uudet tavarat eivät saa sisältää lainkaan erityistä huolta aiheuttavia aineita. (KEMI 2011)

Tiedon välittyminen eteenpäin tavaroiden sisältämistä kemikaaleista pitäisi tapahtua systemaattisesti. Tiedon olisi kuljettava eteenpäin valmistajalta ja myyjältä tuotteiden ostajille ja käyttäjille sekä edelleen niille, jotka vastaavat jätehuollosta. Tiedon pitää olla saatavilla myös viranomaisille, tutkijoille ja järjestöille. Tietoisuutta vaarallisista aineista olisi lisättävä ja poliitikoille, viranomaisille, toiminnanhar-

joittajille ja suurelle yleisölle tulisi tarjota enemmän tietoa, jotta ymmärrys ja motivaatio tarpeesta vähentää ja hallita vaarallisia aineita tavaroissa kasvaisi. (KEMI 2011)

Erilaisten ohjauskeinojen käytöstä tunnistettiin tärkeäksi muun muassa lainsäädännön kehittäminen ja maahantuojien kemikaalitietoisuuden lisääminen. Tietokeskus korvaavista tuotteista (ns. substitutiokeskus) voisi auttaa erityisesti pieniä yrityksiä etsimään tuotantoonsa korvaavia kemikaaleja. Resurssitehokkuus ja kierrätyksen kasvattaminen samoin kuin laajempi tuoteturvallisuus ja kuluttajasuoja tukisivat kemikaalien hallintaa tavaroissa. Yhteistyö viranomaisten, yritysten ja yhteisöjen välillä nähtiin tärkeäksi, kuten myös yhteistyö Pohjoismaiden kesken, EU:n kanssa ja EU-valtioiden välillä sekä globaalilla tasolla. Vaarallisten aineiden käytön rajoitukset tai käyttökiellot on tehtävä kansainvälisillä sopimuksilla. Huomio on keskitettävä tärkeimpiin tuoteryhmiin ja herkimpiin altistujiin, lapsiin ja nuoriin, sekä suurimpiin jätevirtoihin, joista vaaralliset aineet voivat levitä materiaalivirtojen mukana uudelleen kiertoon. Tärkeimmiksi tuoteryhmiksi tunnistettiin rakennus- ja huonekalumateriaalit, sähkö- ja elektroniikkatuotteet, vaatetus ja kengät sekä lelut ja muut lastentavarat. Ruotsissa tavaroiden kemikaaliriskin vähentämisen tutkimus pitäisi kohdentaa riskien ja virtojen tunnistamiseen, riskin vähentämiseen sekä tiedon saattamiseen käytännön tasolle ja riskin vähentämisen toimiin. (KEMI 2011)

Yrityksille suunnattua neuvontaa on tehty esimerkiksi tietolehdistöllä, jossa kerrotaan, miten yritykset saavat tietoa tavaroiden sisältämistä kemikaaleista (Kuva 2). Ohjeeseen on kuvattu, mitä hyötyä yritykselle on paremmasta kemikaalitiedosta ja millaisia lakisääteisiä vaatimuksia yrityksille on asetettu, sekä miten yritykset voivat hallita kemikaalitietoja paremmin. Lehtisessä mainitaan muun muassa, että tuottamalla systemaattisesti kemikaalitietoa tuotteissa, yritys voi kattaa paremmin lakisääteiset velvoitteensa, tuottaa helpommin vastauksia kuluttajien ja viranomaisten kyselyihin ja optimoida kemikaalien käyttöä. Yritysten on myös pystyttävä vastaanottamaan tarkastajia sekä osattava valmistautua uusiin lainsäädännön vaatimuksiin. (KEMI 2017a)

Ruotsissa toteutetaan myrkyttömän jokapäiväisen elinympäristön toimintasuunnitelmaa (toxic-free everyday environment) vuosina 2015 – 2020. Ohjelma keskittyy turvaamaan erityisesti lapsia ja lisääntymisterveyttä. Tavoitteena on vähentää tavaroissa olevien vaarallisten aineiden aiheuttamaa uhkaa, sekä erityisesti saada fluoratut yhdisteet lakisääteiseen riskinhallintaan. Ohjelma pyrkii tehostamaan tiedon välittämistä kunnissa. Tietoa jaetaan erityisesti koululaisille yhteistyössä Pidä Ruotsi siistinä -järjestön kanssa. (KEMI 2017b)

2.3.2 Yritystoiminnan näkökulmia

Ruotsissa on haluttu edistää myrkyttöntä ja resurssitehokasta kierrätystä. Yritysten näkökulmaa on tutkittu laajalla kyselytutkimuksella, jossa tavoitteena oli varmistaa, miten saavutetaan ihmisille ja ympäristölle myrkyttömiä materiaalikiertoja. Tuotteiden valmistajien ja välittäjien todettiin olevan tärkeässä roolissa materiaalien valinnoissa ja niiden turvallisuuden määrittämisessä. Tutkimuksessa haastateltiin kymmentä kansainvälisesti toimivaa yritystä, jotka toimivat neljällä alalla: sisustustuotteet, vaatetus ja kengät, lastentuotteet ja lelut sekä sähkö- ja elektroniikkalaitteet. (KEMI 2012)

Kaikki haastatellut yritykset pyrkivät vähentämään vaarallisten aineiden käyttöä ja olivat kehittäneet menetelmiä tuotteiden kemikaalitiedon välittämiseen. Vaihtoehtoja alettiin etsiä esimerkiksi kemikaaleille, jotka oli määritelty SVHC-aineiksi. Tavoitteet kierrätysmateriaalien käytöstä vaihteli yritysten välillä, mutta useimmat arvioivat kierrätysmateriaalin käytön lisääntyvän tulevaisuudessa. Lelu- ja lastentarviketuottajia kiinnosti lähinnä vain kierrätysmateriaalin hyödyntäminen pakkausmateriaalina ja elektroniikkayrityksiä kiinnosti eniten muovin kierrättäminen. Vaatetusyritykset olivat kaikkein kiinnostuneimpia kierrätysmateriaalin käytöstä. Kierrätysmateriaaleja käyttävät yritykset korostivat, että laadun ja turvallisuuden on oltava vastaavia kuin neitseellisissä materiaaleissa. (KEMI 2012)

Pahimmaksi esteeksi kierrätysmateriaalin käytölle arvioitiin riski vaarallisia aineita sisältävien materiaalien pääsystä tuotteisiin. Haitallisten aineiden poistamisesta aiheutuisi kuluja ja siten taloudellista riskiä. Lisäksi kierrätysmateriaalien riittävyyden arvioitiin aiheuttavan riskiä, sillä kierrätysmateriaalin

saatavuus olisi epävarmaa. Tärkeänä pidettiin materiaalivirtojen laadun turvaamista lainsäädännön avulla sekä parempien erotus- ja puhdistustekniikoiden kehittämistä. Kemikaalitiedon siirtymisen tärkeyttä ei tunnistettu ja tietoa kemikaaleista välitettiinkin eteenpäin asiakkaille ja kuluttajille lähinnä vain pyynnöstä. (KEMI 2012)



Kuva 2. Yrityksille suunnattua ohjeistusta kemikaaleista tavaroissa. Kuvassa esitetään kännykän elinkaarta suunnittelusta ja tuotannosta käyttöön, sekä jätteen käsittelyyn ja kierrätykseen. (KEMI 2017a)

2.4 Tanskalainen työkalupakki kiertotaloudesta päätöksentekijöille

Myös Tanskassa on selvitetty paljon tavaroiden aiheuttamaa kemikaalialtistusta. Tutkimus on haluttu kohdistaa erityisesti herkimpiin altistujiin, lapsiin ja raskaana oleviin naisiin. Tutkimusta on tehty muun muassa kemikaaleista EU:n ulkopuolelta tulevilla kuluttajatuotteilla, kemikaaleilla leluissa ja lasten vaatteissa ja lapsille suunnatuissa matoissa sekä kiertotaloutta estävistä kemikaaleista (Dobel & Karlsson 2017)).

Tanskan ympäristönsuojeluvirasto on tehnyt tanskankielisen selvityksen kuluttajatuotteiden kemikaaleista, jotka voivat estää kierrätyksen (Christensen ym. 2016). Tähän selvitykseen oli valittu yhdeksän kuluttajatuotetta, joista analysoitiin tuotteessa olevat vaaralliset kemikaalit, määritettiin jäteluokittelu ja -määrät sekä arvioitiin kierrätysmahdollisuudet ja kierrätysmateriaalin kaupallinen kiinnostavuus. Valitut kuluttajatuotteet olivat sisustustekstiilit, energialamput, matot, nahkatuotteet, puiset huonekalut, ulkovaatteet ja -tarvikkeet, sähkö- ja elektroniikkalaitteiden (SE-laitteiden) muoviosat sekä vinyyililattiat. Näistä tarkempi tutkimus tehtiin ulkovaatteille ja SE-laitteille. Ulkovaatteissa tunnistettiin ongelmia

tuottaviksi kemikaaleiksi ftalaatit ja perfluoratut yhdisteet, jotka saattavat altistaa kierrätystä tekeviä työntekijöitä ja jotka saattavat kertyä ympäristöön. Kuluttajille nämä aiheuttavat riskin ihokontaktissa tai tuotteista lähtevän pölyn hengittämisen kautta. SE-jätteen muovit sisältävät bromattuja palonsuoja-aineita ja raskasmetalleja. Tanskan lainsäädännön huomioiden raportin kirjoittajat pitivät epätodennäköisenä, että näitä vaarallisia aineita sisältäviä muoveja kierrätettäisiin. Tästä huolimatta raportissa huomioitiin, että olisi hyvä parantaa muovijätteen lajittelua. Raportissa oli hyödynnetty aikaisempia tutkimuksia vaarallisista aineista tuotteissa, muun muassa Lassen ym. 2010, Lassen ja Brandt 2011, Lassen ym. 2013, Lassen ym. 2015, Kjolholt ym. 2014, Knepper ym. 2014. (Christensen ym. 2016)

Tanskasta tunnistettiin yksi laaja kiertotalouteen liittyvä selvitys, jossa päätöksentekijöille suunnatun työkalupaketin avulla oli tavoitteena innostaa muutokseen lineaarisesta taloudesta kiertotalouteen. Raportissa tunnistettiin kiertotalouden mahdollisuuksia, esteitä ja poliittisia mahdollisuuksia helpottaa näiden esteiden yli pääsemisessä. Tähän Ellen MacArthur Säätiön tekemään raporttiin sisältyvät luvut kansallisesta näkökulmasta, ruoka- ja juomateollisuudesta, rakennus- ja kiinteistönvälitys -toimialasta, koneellistamisesta, pakkaussektorista ja sairaaloista.

Raportissa esitettiin näkökulmaa kemikaaleihin kierrätetyn materiaalin käytön kuvauksen yhteydessä. Rakennusmateriaalien uusiokäyttö nähtiin mahdollisuutena ja rakennussektori toimialana, jonka materiaalin kiertoa voitaisiin kasvattaa. Olemassa olevien rakennusten materiaalien uudelleen käytölle tunnistettiin kaksi ongelmaa: haitalliset aineet materiaaleissa, sekä tekniset mahdollisuudet käyttää komponentteja tai materiaaleja, joita ei ole suunniteltu uudelleen käyttöä varten. Raportissa arvioitiin, että vaikka kierrätys ja uudelleen käyttö eivät ole olleet nykyistä rakennuskantaa rakennettaessa tavoitteena, voi merkittävää määrää rakennusmateriaaleista (esimerkiksi sementtiä, lentotuhkaa ja kipsiseiniä) käyttää uudelleen. (Ellen MacArthur Säätiö 2015 s. 60)

Suunnittelulla voitaisiin parantaa kierrätettävyyttä. Esimerkiksi muovi- ja pakkaustuotteiden valmistajat voisivat välttää tarpeetonta värien käyttöä, jotta kierrätetty muovi vastaisi paremmin neitseellistä materiaalia. Muovin kierrätyksessä on kehitettävää, jotta käytöstä saataisiin pois sellaiset värimateriaalit, joita nykyisien tunnistustekniikoiden avulla ei voida erotella. Korvaavia, kierrätykseen soveltuvampia värjäysmenetelmiä, on kehitteillä. 3D-tulostustekniikat nähtiin suurena mahdollisuutena Tanskalle. (Ellen MacArthur Säätiö 2015 s. 76)

Kiertotaloutta edistäviksi asioiksi nostettiin rakennusten ja rakennusmateriaalien luokittelu kierrätyskelpoisuuden mukaan. Tämä voitaisiin toteuttaa vastaavalla tavalla, kuin luokitellaan rakennuksia esimerkiksi energiatehokkuuden mukaan. Luokittelun tulisi tapahtua puolueettomasti, esimerkiksi asteittain kasvatettavina standardeina. (Ellen MacArthur Säätiö 2015 s. 58)

Tanskalaiset arvioivat, että rakennusala ja kiinteistönvälitys voisivat olla Tanskan parhaita pilotteja kiertotalouden mahdollisuuksien hyödyntämisessä. Mahdollisuuksia nähtiin paitsi rakennus- ja purkumateriaalin kierrätyksessä ja samanaikaisessa jätemäärän vähentämisessä, myös jakamistaloudessa ja rakennusten uudelleenkäytössä. Vaikeasti kierrätettäville materiaaleille pitäisi etsiä korvaavia materiaaleja. Tunnistettiin, että rakennuksissa on tyypillisesti vaikeasti toisistaan eroteltavia materiaaleja, mikä vaikeuttaa kierrätystä. Siten kierrätettävyyden parantamiseksi olisi vaarallisten aineiden ja esimerkiksi myrkyllisten PVC:n lisäaineiden vähentäminen erittäin tärkeää. Myrkyttömien materiaalien käyttö parantaisi myös rakennusten sisäilmaa. (Ellen MacArthur Säätiö 2015 s. 53, 55)

Raportissa kuvataan kiertotalouden avaavan Tanskalle mahdollisuuksia bio-pohjaisten muovien ja muiden vaihtoehtoisten tuotteiden, kuten kemikaalien ja biohajoavien pakkausmateriaalien ja -tuotteiden, kehittämisessä. (Ellen MacArthur Säätiö s. 81)

2.5 Norjassa mallinnusta jätteiden päästöistä

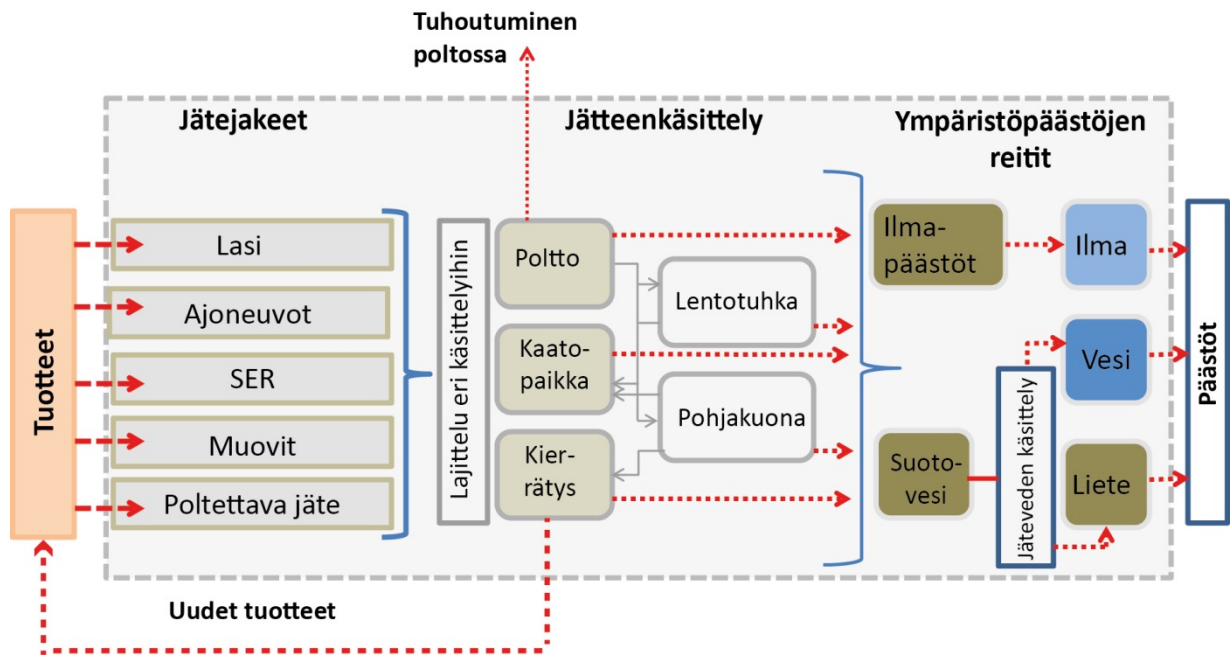
2.5.1 Maaprofiili

Norjasta on luotu maaprofiili osana Euroopan kemikaaliviraston resurssitehokkuuden linjauksista tehtävää työtä. Vuonna 2015 Norjalla ei ollut kiertotalouteen liittyviä toimintaperiaatteita, mutta samalla oli halu tutustua Euroopan komission kiertotalouspakettiin ja harkita sen tarjoamia mahdollisuuksia. EU:n ja Norjan yhteistyötä kemikaalipolitiikassa on haluttu kehittää ja kemikaalipolitiikka on nähty tärkeäksi myös kiertotalouden kannalta. Hyväksyttävänä poliittisina ohjausekoina on tunnustettu tehokkaat kestävän tuotannon ja kulutukseen menetelmät sekä myrkyttömät materiaalikierrot. Materiaalikiertoihin liittyy myös innovatiivisia taloudellisia mahdollisuuksia. Norjan kestävän kehityksen suunnitelma ei sisällä resurssitehokkuutta, vaan se on keskittynyt kasvihuonekaasupäätöihin, luonnon monimuotoisuuden ja vaarallisiin kemikaaleihin ja -materiaaleihin. Norjassa on kuitenkin kansallinen ohjelma materiaalihokkuudesta, sekä jäte- ja biokaasustrategiat. Uusiutuvan energian määrän odotetaan kasvavan lähitulevaisuudessa. (EEA 2016)

2.5.2 Kiertotaloutta ja jätteiden käsittelyä

Norjalainen tutkimusprojekti WASTEFFECT kehitti jätteen päästöjen mallinnusta jättesäätelyä ja yrityksiä varten: mallinnuksen avulla yritykset pystyvät arvioimaan ja vähentämään vaarallisten aineiden aiheuttamia riskejä. Ensimmäiseksi projektissa muodostettiin päästöinventaarior, jossa tunnistettiin kuinka paljon haitallisia aineita erityyppisistä jätteistä pääsee veteen, ilmaan ja maahan. Seuraavaksi selvitettiin päästöjen vaikutusreittejä ihmiseen ja muihin organismeihin. Kolmanneksi laadittiin jätteiden hallintastrategia, joka auttaa jätteen käsittelijöitä ja valvojia vähentämään päästöjä ja vaarallisten aineiden aiheuttamia riskejä. Projektissa tarkasteltiin valittuja haitallisia aineita: bisfenoli-A:ta, antimonia (Sb), polykloorattuja bifenyylejä (PCB) ja bromattuja palonsuoja-aineita (BFR).

Materiaalivirta-analyysissä bisfenoli-A päätyi tarkastelluissa jättejakeissa (lasi, autot, elektroniikkajäte, muovi ja poltettava jäte) polttoon (60 %), kierrätykseen ja uusiin tuotteisiin (35 %), kaatopaikalle (4 %), sekä ympäristöön (1 %) (Kuva 3). Näistä suurimmat päästöt tulivat kaatopaikoilta ja pienimmät poltosta. Parhaimmaksi tavaksi vähentää päästöjä ilmaan, veteen tai lietteeseen osoittautui bisfenoli-A:n vähentäminen jätteestä. Koska tämän ei arvioitu olevan mahdollista, todettiin polton olevan turvallisin tapa vähentää bisfenoli-A:n päästöjä. Muita keinoja vähentää ympäristöpäästöjä olisivat vesienkäsittelyn lisääminen erityisesti kaatopaikkavesille sekä vähemmän bisfenoli-A:ta sisältävän jätteen tuottaminen. (Arp 2017) Tutkimuksessa havaittiin, että bromattua palonesto-ainetta, joka koostuu polybromatun difenyylietterin kymmenestä yleisimmästä muodosta (PBDE-10), pääsi Norjan jätevirtoihin.



Kuva 3. WASTEFFECT -tutkimuksessa tarkasteltiin jätevirtoja, eri käsittelymenetelmiä, ja miten esimerkiksi bisfenoli-A poistui jätevirroista. Punaiset nuolet osoittavat bisfenoli-A:n kulkeutumista. (Arp 2017).

WASTEFFECT-tutkimuksessa havaittiin, että vaikka PCB-yhdisteet ovat olleet kiellettyjä Norjassa jo 1980-luvulta lähtien, niitä tulee edelleen jätevirtoihin. Tämä osoittaa, että vaikka vaarallinen kemikaali kielletään, sitä esiintyy tuotteiden elinkaarien mukaisesti. Tutkimuksessa arvioitiin, että 0,5 % PCB-yhdisteistä jäi jätteen polton tuhkaan ja että kolmasosa PCB-yhdisteistä kierrätetään uusiin tuotteisiin. (NGI 2016)

2.5.3 Hormonihäiriköt lastentuotteissa

Toinen norjalainen tutkimuskokonaisuus koski aineita, jotka vaikuttavat hormonitoimintaan. Lasten altistumista näille leluissa ja muissa lastentuotteissa esiintyvälle hormonitoimintaan vaikuttaville aineille (ns. hormonihäiriköille) tutkittiin erityisesti sellaisista tuotteista, joita lapsi voi laittaa suuhunsa. Lastentuotteiden sisältämien ftalaattien, nonyyli- ja oktyfenolien (alkyyliifenolien/ alkyylietoksilaattien), lyhyiden ja keskipitkien kloorattujen parafiinien (SCCP) sekä bisfenolien määriä selvitettiin 58 lastentuotteenäytteestä. Nämä lelut tai muut lastentuotteet oli valmistettu pääasiallisesti kovasta tai pehmeästä muovista tai kumista (silikonista). Tutkimuksessa oli mukana myös muutamia ulkovaatteita. (Torgersen 2016)

Ftalaatteja löytyi kuudesta näytteestä, jotka olivat pehmeitä polymeerejä, todennäköisimmin PVC:tä. Näistä neljässä näytteessä di(2-etyyliheksyyli)ftalaattia (DEHP) pitoisuudet olivat 0,29 %, 3,5 %, 15 % ja 19 %, ja lisäksi kahdesta muusta näytteestä löytyi di-isobutyyliftalaattia (DIBP) 0,11 % ja dietyyliftalaattia (DEP) 0,17 %. (Torgersen 2016)

Lyhytketjuisia kloorattuja parafiineja (SCCP) löytyi mm. penaalista 1600 mg/kg (0,16 %), sadetakista 5100 mg/kg (0,51 %) ja toisen sadetakin vetoketjun pidikkeestä 66 000 mg / kg (6,6 %). Kahdesta näistä löytyi myös keskipitkiä kloorattuja parafiineja (MCCP) 3400 mg/kg ja 7600 mg/kg pitoisuuksina. MCCP:tä löytyi myös kolmannelta sadetakista, samoin DEHP:ä 0,29 %. (Torgersen 2016)

Bisfenoleita löytyi 16 tuotteesta ja näistä yhdeksässä oli bisfenoli-A:ta ja analysoidut pitoisuudet olivat 2,6 mg/kg – 160 mg/kg. Kovamuovisesta tuotteesta löytyi bisfenoli-A:ta 1,1 mg/kg. (Torgersen 2016)

Kaksi tuotetta vedettiin markkinoilta SCCP-pitoisuuksien vuoksi. Tutkimustulokset antoivat aiheita huoleen lasten altistumisesta ja lisätutkimukset nähtiin tarpeellisiksi erityisesti bisfenoli-yhdisteiden osalta. (Torgersen 2016)

2.6 Suomessa selvityksissä enemmän kiertotaloutta kuin kemikaaleja

Sitra:n Kierrolla kärkeen – Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016 – 2025 (2016) nosti esille erilaisia kiertotalouden avainhankkeita. Kiertotalousdemolaitoksen esittelyssä oli huomioitu tarve tehokkaaseen keräykseen ja lajitteluun, jossa haitallisia kemikaaleja sisältävät materiaalit tunnistetaan ja aineiden tunnistaminen on osana sähkö- ja elektroniikkalaitteiden kiertotalouden kehittämistä. Muulta osin ei kemikaalien hallinnan näkökulmaa nostettu esille.

Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, politiikkatoimet ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030 -selvityksessä todettiin, että kiertotalouden ohjauksen poliittisia kehyksiä on luotava tuotelainsäätelyn ja tuottajavastuun sekä jätelainsäädännön ja kemikaalilainsäädännön osalta. EU:n tuotemerkkilainsäädännön (joutsenmerkin) kriteereinä on muun muassa pyrkimys minimoida haitalliset aineet. (Seppälä ym. 2016) On arvioitu, että tuotemerkit antaisivat kansalaisille mahdollisuuden vaikuttaa ostopäätöksillään tuotteiden kemikaalien määrään. Kansalaisilla on myös mahdollisuus vaatia kemikaaliturvallisia tuotteita. (Kauppi ym. 2017)

Biotalouteen vaikuttaviksi on nähty jäte-, tuote- ja kemikaalilainsäädännön rajapinnat, jotka sopivat myös kiertotalouden kemikaalien hallinnan näkökulmaan. Biotalouden sääntelyn tarkastelun mukaan tarvitaan tavoitteiden harkintaa ja eri lainsäädäntöjen yhteensovittamista. Kierrätetystä materiaalista tehdyn tuotteen laatu- ja turvallisuusvaatimukset, kemikaalilainsäädännön pyrkimys kemikaaliturvallisuuteen ja toisaalta kemianteollisuuden edistämiseen, sekä jätelainsäädännön tehokkuustavoitteet asettavat yritykset ristiriitaiseen tilanteeseen. Ratkaisuksi tarvitaan neuvontaa, hallinnollisia käytäntöjä ja tapauskohtaista tarkastelua. (Alaranta & Rynänen 2015)

Kemikaalien hallintaan liittyvistä suosituksista tulevaisuuteen tähtäävät esimerkiksi vaatimukset käytettävien materiaalien kierrätettävyydestä sekä kemikaalien huomioimisesta jo tuotesuunnittelussa. On nähty, että turvallisten materiaalikiertojen saavuttamiseksi pitäisi kemikaalitiedon siirtyä tuotteen mukana koko sen elinkaaren ajan (Kuva 4). Haitallisia aineita on seurattava mittaamalla niiden esiintymistä ja pitoisuuksia kierrätettävistä materiaaleista, jotta kierrätettävien materiaalien käyttö olisi tehokasta ja turvallista. (Kauppi ym. 2017)

Suomessa uutta kiertotaloutta tukevaa tutkimusta tehdään muun muassa Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT), jossa on pitkään tutkittu hydrometallurgista metallin kierrätystä kemiallisten erotustekniikoiden avulla, joilla arvoaineet sähkö- ja elektroniikkaromusta saadaan otettua talteen. Metallien talteenoton kehittämisenä on arvioitu tuotettavan huomattavia positiivisia ympäristövaikutuksia (Bakas ym. 2016). Indium (In) on määritelty EU:ssa kriittiseksi, strategisesti tärkeäksi ja harvinaiseksi metalliksi, jonka markkinoita Kiina on hallinnut. Indiumia käytetään LCD-nestekidenäytöissä (liquid crystal display), joita päätyy suuria määriä jätteeksi. Kierrätysmateriaali soveltuu indiumin talteenottoon. LUT on tutkinut yhteistyössä australialaisen partnerin kanssa indiniumtinaoksidin happoliuotusta ja liuos-liuos -erotusta suotovesistä (Virolainen ym. 2011). Jatkotutkimuksissa LCD-näytöistä murskattua materiaalista on liuotettu indiniumia ja otettu talteen liuos-liuos -erotustekniikalla. Erotuksen ja talteenoton lisäksi LUT on kehittänyt kustannustehokasta menetelmää, jossa indinium ja tina erotetaan ensin yhdessä, ja tästä liuksesta indinium voidaan vielä erottaa omaksi puhtaaksi metallijakeeksi. (Sainio, henkilökohtainen tiedonanto 29.6.2017) LUT:n erottelutekniikan ryhmä on tutkinut myös litiumin, koboltin ja nikkelin erottelumenetelmää litium-ioni -pattereista (Virolainen ym. 2017). Litiumin käytön arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa uudelleen ladattavien akkujen myötä (Bakas ym. 2016).

Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella on kehitteillä jalometallien ja harvinaisten maametallien talteenottoon konttikokoinen laitos, jossa kaksivaiheisella happoliuotuksella jaotellaan metalleja niiden liukoisuuden perusteella. Erottelua voidaan tehdä myös molekyyli-tason metallisieppareita hyödyntäen

tai erottelussa voidaan käyttää saostusta metallien erottamiseksi seoksiksi tai tiettytyyppisiksi yhdisteiksi. Menetelmässä käytetään neste-neste -uuttoa metallien konsentroimiseen. Jyväskylän yliopiston lisäksi tutkimuksessa on mukana Teknologiateollisuus ja Elker Oy. Tutkimuksen tavoitteena on saada aikaan konttikokoinen sähkö- ja elektroniikkaromun käsittelylaitos. (Saarinen 2017)

Suomessa on tutkittu myös tekstiilien ja muovien kierrätystä sekä rakennusmateriaalien haitallisia aineita. Tietoa näistä tutkimuksista on kappaleessa 3.



Kuva 4. Kemikaalitiedon on siirryttävä tuotteen mukana turvallisten ja tehokkaiden materiaalikiertojen aikaansaamiseksi (Kauppi ym. 2017)

3 Esimerkkejä kemikaaleista materiaalikiirroissa

Kemikaaleja kiertää osana kaikkia materiaalikiertoja. Vaarallisten kemikaalien tunnistaminen materiaalivirroista on vaikeaa ja siten esimerkiksi POP-yhdisteitä saattaa kulkea materiaalien mukana uusiin tuotteisiin. Taloudellinen kannattavuus määrittelee kierrätyksen toteutusta samoin kuin erilaisten erotustekniikoiden ja -puhdistusmenetelmien kehittämishalukkuutta. Suomessa erilliskerätään paperia, kartonkia, pahvia, metalli- ja lasijätettä ja myös muovin keräys on jo aloitettu joillakin paikkakunnilla. Lisäksi muovia kerätään sähkö- ja elektroniikkajätteen kierrätyksen yhteydessä.

Tekstiilien, muovien ja rakennusmateriaalien tiedetään sisältävän paljon erilaisia kemikaaleja, joista osa on vaarallisia. Tekstiilien kierrätystä voidaan tehdä tuotteina, kankaina ja kuituna, mutta kierrätyksessä on vielä paljon kehitettävää. Rakennusmateriaalien kierrätyksen tehostamiseen pyritään, mutta samalla pitäisi kiinnittää huomiota kemikaalien hallinnan menetelmiin käytännön työssä.

3.1 Tekstiilit

Pohjoismaissa myydään 365 000 tonnia vaate- tai kotitaloustekstiilejä vuosittain. Uudelleenkäyttö säilyttää tekstiilin arvon suurimpana, verrattuna kierrätykseen tai polttoon. Parempikuntoiset vaatteet menevät kierrätykseen kotimaassa (noin 10 – 30 %) ja noin 60 % pohjoismaissa kerätyistä tekstiileistä viedään ulkomaille jatkokäsiteltäväksi tai myyntiin. (Schmidt ym 2016)

Ruotsin ympäristövirasto on asettanut tavoitteeksi (Schmidt ym. 2016)

- kartoittaa jätevirtoja, jotka pitäisi erityiskäsitellä vaarallisten aineiden vuoksi ja tarvittaessa puhdistaa
- analysoida yksityiskohtaisesti, kuinka jäte- ja kemikaalilainsäädäntö toimii kierrätettäville materiaaleille ja millainen on jätteen end-of-waste -määritelmä jätelainsäädännössä sekä tarvitaanko suosituksia EU lainsäädäntöön
- vahvistaa jätteen käsittelyn ohjeistusta, tavoitteena minimoida vaarallisten aineiden ja SVHC -aineiden aiheuttamat riskit

Suomessa kuluttajat poistavat tekstiilejä jätteenä vuosittain 54 miljoonaa kiloa, josta suuri osa olisi ohjattavissa uudelleenkäyttöön tai kierrätettävissä teknisesti (Dahlbo ym. 2015). Kyselytutkimuksen perusteella Suomessa käyttökelpoiset vaatteet halutaan laittaa kiertoon ja kiinnostusta olisi myös käyttökelvottomien tekstiilien kierrätysmahdollisuuksiin. POP-yhdisteiden on arvioitu olevan ainoita lainsäädännön nojalla tekstiilien kierrätystä estäviä aineita, eikä niiden arvioitu päätyvän tekstiilijätteissä kierrätykseen Suomessa. Toisaalta kierrätysprosessien kehittyessä asiaa on tarkasteltava uudelleen. Suomen tekstiilien kierrätystä selvittävässä tutkimuksessa ei tehty mittauksia, vaan tekstiilien haitallisia aineita selvitettiin kirjallisuudesta. Tekstiiliteollisuudessa käytettäväksi tunnistettiin mm. alkyylifenolit ja niiden etoksylaatit (NPE, NP, OPE, OP) sekä ftalaatit (BBP ja DEHP). Tutkimuksen kirjoitusvaiheessa ei vielä ollut tietoa dekaBDE:n, octaBDE:n ja PFOS:n tai SCCP:n esiintymisestä tekstiileissä. Haitallisten aineiden, erityisesti dekaBDE:n ja oktaBDE:n sekä PFOS:n mittaamista kierrätettävistä tekstiili-

materiaaleista suositeltiin. Lapsille tarkoitetuissa tuotteissa ei suositeltu käytettävän printattuja tekstiilejä, vahankankaita, suihkuverhoja, reppuja ja säänkestäviä takkeja sisältäviä materiaaleja, jotta estettäisiin lasten mahdollinen altistus ftalaateille. Likaantuneita tai haitallisia aineita sisältäviä tekstiilejä suositeltiin hyödynnettäväksi energiaksi polttamalla. (Dahlbo ym. 2015)

Tanskalaistutkimuksessa, jossa keskityttiin PFAS-yhdisteisiin lasten tekstiileissä, löydettiin tutkittuja yhdisteitä kaikista testatusta 15 tuotteesta, pitoisuuksien vaihdellessa 18 – 407 µg/m² välillä. Tutkimuksessa havaittiin, että 94 % kokonais-PFAS-pitoisuuksista oli perfluoroalkyyli (PFCA)- ja fluorotolomeeri (FTOH)-yhdisteitä. Raportissa todettiin, että merkintä lastenvaateen likaa ja vettä hylkivistä ominaisuuksista on hyvä indikaattori PFAS-käsitellyille materiaaleille. Tutkimuksessa testattiin PFCA-yhdisteiden siirtymistä keinotekoiseen sylkeen. Tulosten mukaan 6 % PFCA-yhdisteistä siirtyi keinotekoiseen sylkeen, lyhytketjuisten siirtyessä pitkäketjuisia herkemmin. Tutkimuksessa testattiin myös PFAS-yhdisteiden siirtymistä vaatteiden pesuveteen ja havaittiin, että 1 % PFAS-yhdisteistä siirtyi pesuveteen yhdellä pesukerralla. Lasten tekstiilit, jotka tutkimuksen perusteella useimmin sisältävät PFAS-yhdisteitä, ovat talviulkoilupuvut, uimapuvut sekä käyttövaatteista takit, housut ja vedenkestävät vaatteet, mukaan lukien hanskat, huput ja hatut. (Lassen ym. 2015)

Ruotsissa on tunnustettu 2400 tekstiiliteollisuudessa käytettävää ainetta, joista noin 10 % on terveydelle vaarallisia. Näitä aineita voi olla käytetyissä tekstiileissä, huolimatta tuotteen elinkaaren aikaisista useista pesukerroista. Kierrätysmateriaaleista tehdyissä tekstiileissä voi olla edelleen muun muassa syöpävaarallisia, allergiaa aiheuttavia tai hormonitoimintaan vaikuttavia aineita (Kuva 5). Ihminen voi altistua tekstiilien aineille ihokontaktissa tai hengityksen kautta. Tekstiilien haitallisista aineista ei kuitenkaan tiedetä vielä riittävästi. Ruotsin ympäristövirasto (EPA) on keskittynyt toiminnassaan myrkyttömän ympäristön ja resurssitehokkaiden kiertojen tavoitteluun ja tähän kuuluu myös myrkyttömät tekstiilit. (Schmidt ym. 2016)

Käytettyjen tekstiilituotteiden viennin vaikutuksia ja hyötyjä tarkastellessa havaittiin, että suurin osa kerätään tyypillisesti suureen lajittelupisteeseen Itä-Euroopassa, josta osa viedään Aasiaan, pääasiassa Intiaan ja Pakistaniin. Näissä maissa tekstiilit käsitellään mekaanisesti. Viennin ympäristöhyötyjä arvioitiin suuremmiksi, kuin jos materiaali olisi jäänyt poltettavaksi pohjoismaihin. (Watson & Palm 2016)

Yhteispohjoismaisen selvityksen mukaan vaarallisia aineita sisältävät tekstiilit pitäisi joko kieltää tai niille pitäisi asettaa vero. Tämä helpottaisi myös kierrätystä. (Nordic Council of Ministers 2015) Tulevaisuudessa on todennäköistä, että vaatimukset tekstiilituotteiden kemikaalitietojen ilmoittamisesta voimistuvat (Schmidt ym. 2016).

	Urheiluvaatteet	Työvaatteet	Ulkoiluvaatteet	Teltat ja muut ulkotekst.	Verhot ja sisustus tekst.	Pintakäsitellyt tekstiilit	Printti -tekstiilit	Värjätyt tekstiilit
Fluoratut yhdisteet	x	x						
Palonsuoja-aine	x			x	x			
Raskasmetallit			x				x	
Perfluoratut yhdisteet			x					
Lyhytketjuiset parafiinit					x	x		
Biosidit	x	x						
Ftalaatit					x	x		
Pigmentit, joilla vaaraominaisuus								x

Kuva 5. Tekstiileissä esiintyviä haitallisia aineita (Schmidt ym. 2016).

3.2 Muovit

Tulevaisuudessa muovien käyttökohteiden on arvioitu entisestään laajenevan ja siten myös muovijätteen määrän kasvavan (Eskelinen ym. 2016). Muovin merkittävin käyttökohde on pakkaukset ja pakkaussektorin osuus muovin käytöstä onkin noin 40 % (Eskelinen ym. 2016, Stenmark ym. 2017). EU:ssa muovia on kierrätetty mekaanisesti noin 5 miljoonaa tonnia ja kemiallisesti noin 50 000 tonnia. Mekaanisessa kierrätyksessä käytetään erilaisia tekniikoita, esimerkiksi muovia silputaan paloiksi, lajitellaan, pestään, kuivataan, granuloidaan ja yhdistellään uusien materiaalien aikaansaamiseksi. (Stenmark ym. 2017). Suurin käytetty muovilaatu on PVC, jota käytetään mm. rakennusmateriaaleissa (Ciacci ym. 2016).

Muovituotannossa on tunnistettu käytettävän 144 ainetta tai aineryhmää, jotka tiedetään haitallisiksi (Stenmark ym. 2017). Suurin osa näistä aineista on lisätty tuotteisiin tarkoituksella tuottaa muoviin jokin ominaisuus, mutta joitakin haitallisia aineita voi esiintyä epäpuhtauksina raaka-aineissa (Stenmark ym. 2017, Wassenaar ym. 2017). Haitalliset aineet voivat paitsi sitoutua kemiallisesti, myös kulkeutua muovituotteen pintaan, josta ne voivat haihtua, huuhtoutua pesuveteen tai siirtyä suoraan esimerkiksi ihmisen iholle. Muun muassa ftalaattien ja palonsuoja-aineiden tiedetään kulkeutuvan muovissa. (Hansen ym. 2013)

Stenmark ym.(2017) mukaan nämä aineet voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- antimikrobiset aineet (esim. organotinat ja triklosaani)
- paisuttamiseen ja vaahdottamiseen käytetyt aineet (ns. blowing agents) (esim. fluoratut kasvihuonekaasut)
- väriaineissa stabiloijina ja katalyytteinä raskasmetalleja (mm. kadmium ja lyijy -yhdisteet)
- palonsuoja-aineet (esim. bromatut palonsuoja-aineet ja organofosfaatit)
- monomeerit, yhdistäjät, kovettajat, ketjun muodostajat ja katalyytit (esim. bisfenoli-A ja formaldehydi)
- orgaaniset väriaineet (esim. azo-värit)
- pehmentimet (esim. lyhytketjuiset parafiinit ja monet ftalaatit)
- UV-stabiloijat, antioksidantit ja muut stabiloijat (esim. dibutyylitina dikloridi)

- liuokset – neutraalit ja reaktiiviset (esim. dimetyyliformamidi)
- muut (esim. nonyyliifenoli)

Suurinta haittaa kierrätykselle aiheuttavat pitkä-ikäisissä muovituotteissa pehmentimet, palonsuoja-aineet ja metalliset stabiloiijat (esimerkiksi kadmium ja lyijy), jotka ovat SVHC-aineita. Tällaisia muovituotteita löytyy esimerkiksi rakennus-, auto- ja elektroniikkateollisuudesta. (Wassenaar ym. 2017) Kierrätysmateriaalin käsittelymenetelmistä johtuen voi materiaaleihin muodostua erittäin myrkyllisiä bromattuja dibentsodioksiineja ja dibentsofuraaneja (PBDD/DF) (Leslie ym. 2016). Tutkimusten mukaan ruokapakkausten kierrätettävissä muoveissa haitallisia aineita ei yleensä esiinny. Toisaalta tiedetään, että bromattuja palonestoaineita on joskus päätyntä kierrätysmateriaalista tehtyihin ruokapakkausmateriaaleihin ja esimerkiksi muovin sekä liimojen ainesosaa, TBBP-A:ta on ollut myös pelloille levitettävissä lietteessä. (Abdallah 2016, ECHA 2008b)

Sähkö- ja elektroniikkaromun (SER) muoviosissa haitallisia aineita voi olla paljon, kuten myös vanhoissa PVC-rakennusmateriaaleissa ja autoissa (Stenmark ym. 2017, Wassenaar ym. 2017). Vaikka SER-jätteen kierrätettävien muoviosien määrällinen ja taloudellinen merkitys ovat suuria ja haitallisten aineiden tunnistaminen lisää kustannuksia, on haitallisia aineita sisältävät muovit poistettava kierrosta. (Wäger ym. 2010) SER-jätteestä ja autonromuista on löytynyt bromattuja palonsuoja-aineita (muun muassa OktaBDE, PentaBDE ja DekabDE), tetrabromobisfeloli-A:ta (TBBP-A), useita fosforoituja palonsuoja-aineita ja pehmentimiä (TCEP, PBDPP, TPHP, EHDP ja TMMP), sekä lyijyä, kadmiumia ja kromia (Leslie ym. 2013, Leslie ym. 2016, Wäger ym. 2010). Hollantilaistutkimuksessa Leslie ym. 2013 havaitsivat, että SER- ja autonromu -jätteen sisältämistä bromatuista palonsuojaneista olivat decaBDE:n pitoisuudet suurempia kuin muiden BDE-yhdisteiden summa.

Kierrätysmateriaaleista on löydetty myös muita haitallisia aineita, kuten Styrofoam -materiaaleista HBCDD:tä ja pehmentimenä käytettyä DEHP:ä (Janssen ym. 2016). On tutkittu, että kierrätettyjen LCD -televisioiden muoviosissa voi olla 18 painoprosenttia bromattuja palonsuoja-aineita ja 31 painoprosenttia fosforoituja palonsuoja-aineita (Peeters ym. 2014). PVC:n valmistus taas eroaa muiden muovien valmistamisesta siten, että PVC:n lisäaineina käytetään melko suuria määriä pehmentimiä (ftalaatteja) ja stabilisaattoreita (muun muassa lyijysulfaatteja ja -fosfiitteja, kadmiumstabilisaattoreita ja organotinayhdisteitä) (EU Vihreä kirja 2000).

Muovityypeistä ABS-muovit (acrylonitrile butadiene styrene) ja HIPS-muovit (high impact polystyrene) sisältävät usein bromattuja palonsuoja-aineita (Kuva 6). Kierrätysmateriaaliseksi voidaan erottaa muovit, ja näistä ABS ja HIPS -muovien palonsuoja-aineita sisältämättömät jakeet sinkkikellustekniikalla. (Peeters ym. 2014) Palonsuoja-aineita sisältävien muovien tunnistus on vaikeaa, sillä haitallisten aineiden tunnistamiseen käytettävät kaupalliset menetelmät käyttävät pääosin röntgensäteilyyn perustuvaa tekniikkaa (XRF ja XRT) ja ne tunnistavat alkuaineita, eivät varsinaisia kemiallisia yhdisteitä. Lisäksi esimerkiksi käsikäyttöiset mittarit ovat hitaita käyttää teollisen mittakaavan kierrätyksessä ja toisaalta nopeampiin, linjastoille suunniteltuihin menetelmiin liittyy työturvallisuusasioita röntgensäteilyn vuoksi ja niillä on myös korkeat investointikustannukset. (Malin, henkilökohtainen tiedonanto 29.6.2017) Optiset menetelmät eri muovilajien tunnistamiseen eivät sovellu mustille muoveille, eivätkä siten sovellu myöskään tyypillisesti haitallisia aineita sisältävien muovien tunnistamiseen (Peeters ym. 2014, Malin henkilökohtainen tiedonanto 29.6.2017). Monien muovijakeiden kierrätyksen esteenä on kierrättämisen taloudellisuus: muovijakeita muodostuu niin pieniä määriä, että niitä ei kannata ottaa talteen (Peeters ym. 2014).

Vaikka muovien haitallisten aineiden määrä on viime aikoina vähentynyt, niitä sisältävää muovijätettä muodostuu edelleen paljon tulevina vuosina (Wassenaar ym. 2017).



Kuva 6. Esimerkiksi elektroniikkalaitteiden kuorissa on käytetty bromattuja palonsuoja-aineita turvaamaan käyttöä. Bromattuja palonsuoja-aineita sisältävät muovit pitää kierrätysvaiheessa tunnistaa, eikä niitä saa kierrättää. Kuva ©Sari Kauppi, Esikäsittelyyn menevää materiaalia, Kuusakoski Oy, Heinola.

3.3 Rakennusmateriaalit

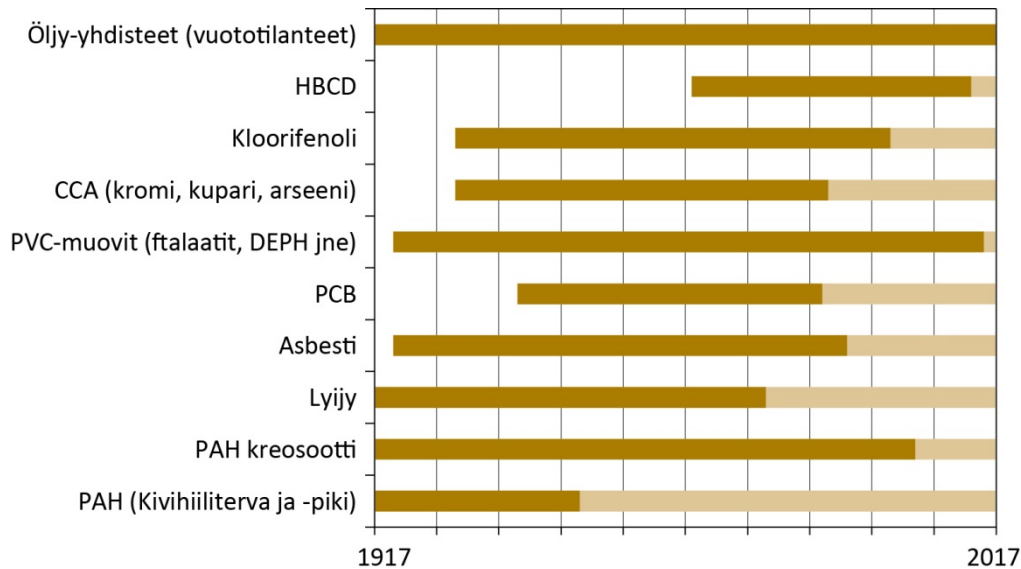
3.3.1 Rakennusmateriaalien kierrätys

Rakennukset ovat yleensä pitkäikäisiä, joten myös materiaalien kierto on pitkä. Kiertoon tuleva rakennus- ja purkujätteen materiaali on yleensä kymmeniä vuosia vanhaa. Siten kierrätysmateriaaleissa voi olla aineita, jotka käyttöajankohdan jälkeen on tunnistettu ihmisen terveydelle tai ympäristölle vaaralliseksi ja jotka ovat nykyisin kiellettyjä. Eri vuosien rakennusmateriaalien sisältämä kemikaalikirjo vaihtelee (Kuva 7). Vaarallisia aineita sisältäviä rakennusmateriaaleja on voinut päätyä rakennuksiin myös varsinaisen rakentamisajankohdan jälkeen korjaustoimenpiteiden yhteydessä.

Rakennusjätteiden kierrätysprosentiksi on arvioitu tällä hetkellä 60 % (Wahlström ym. 2016). Tavoitteena on päästä 70 %:n rakennusmateriaalien kierrätysasteeseen vuoteen 2020 mennessä. Rakentaminen jaotellaan talonrakentamiseen, maa- ja vesirakentamiseen sekä erikoistuneeseen rakennustoimintaan (Wahlström ym. 2016). Vuonna 2012 rakennus- ja purkujätettä Suomessa raportoitiin tuotetun 16 miljoonaa tonnia, josta suurin osa oli jättemaata (Deloitte 2015). Puujätettä tästä määrästä oli 238 000 tonnia (Deloitte 2015).

Kohdennetuiksi keinoiksi rakennusmateriaalien kierrätyksen kasvattamiseksi on ehdotettu, että rakennuksen purkamisesta olisi tehtävä tarkempi suunnitelma. Tämä lisäisi puhtaan, tasalaatuisen materi-

aalin talteen ottoa, sekä kierrätysmateriaalien määrien ennakkointia. Lisäksi raportointia pitäisi kehittää, mukaan lukien kierrätysnäkökulman ottamista mukaan purkusuunnitelmaan. (Kautto ja Salmenperä 2016) Näiden toimenpiteiden myötä voisi olla mahdollista myös hallita kierrätettävän rakennusmateriaalin sisältämiä kemikaaleja entistä paremmin, mikäli kemikaaliedot otettaisiin mukaan purkusuunnitelmaan ja raportointiin.



Kuva 7. Rakennusmateriaalien haitalliset kemikaalit säilyvät materiaaleissa vuosikymmeniä kemikaalien käytön lopettamisen jälkeenkin. Päätelmiä rakennuksissa käytettyjen materiaalien kemikaaleista voi tehdä rakentamis- tai peruskorjausajankohtien perusteella. Tumma väripalkki kuvaa aineiden käyttöaikoja ja vaaleampi sitä, että näitä materiaaleja saattaa edelleen esiintyä rakennuksissa. (Hellman 2000, Laaksonen 2015, TTL 2016, Komulainen ym. 2011, Suomen ympäristökeskus 2016)

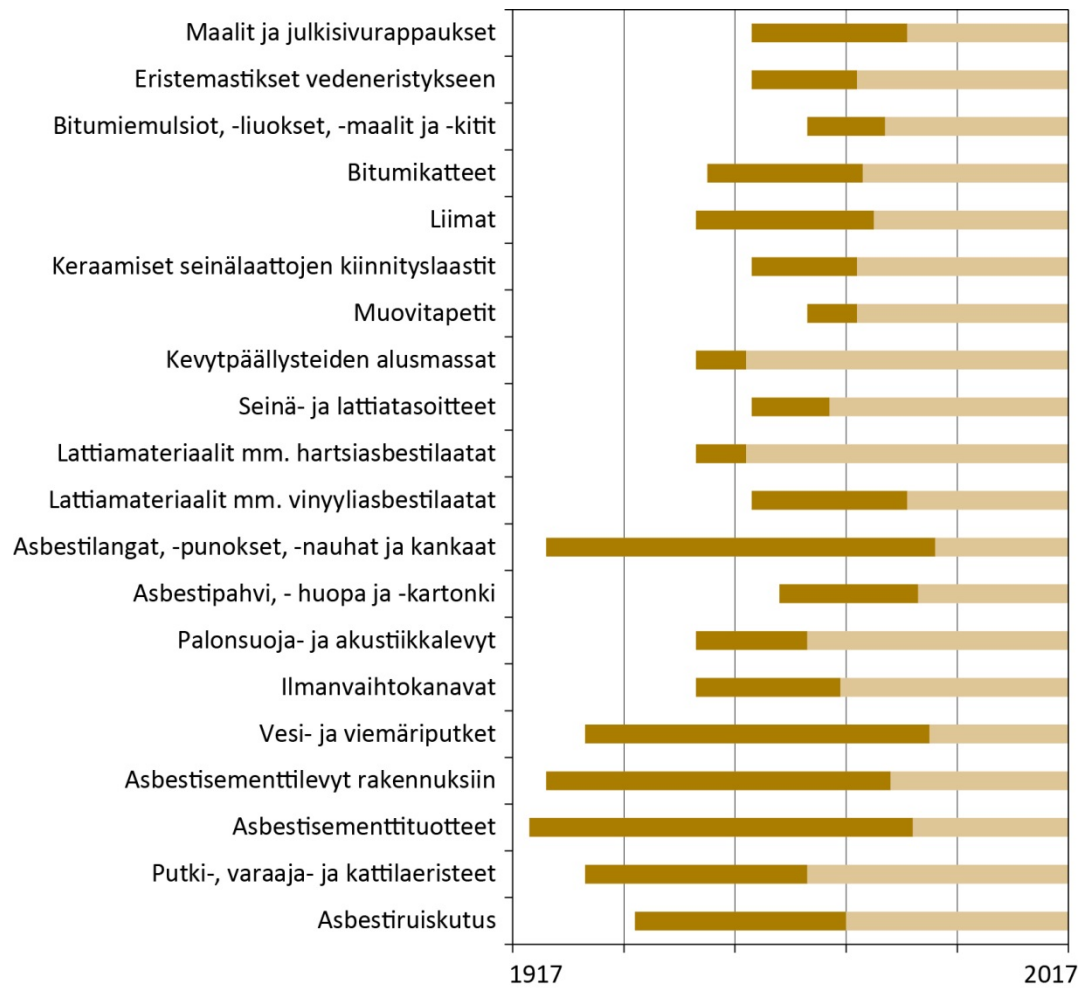
3.3.2 Haitallisia aineita rakennus- ja purkujätteissä

Rakennus- ja purkujätteissä voi olla erilaisia haitallisia yhdisteitä, jotka ovat esimerkiksi syöpävaarallisia, muuttavat perimää tai ovat hormonihäiriköitä, jotka aiheuttavat ongelmia lisääntymisessä. Useat rakennusten haitta-aineista ovat käyttötarkoitukseltaan biosidejä tai kosteussuojia, joilla on haluttu säilyttää tuote hyvänä ja estää materiaalin mikrobiologinen hajoaminen. Biosideina eli mikrobien kasvua ehkäisevinä yhdisteinä on rakennusmateriaaleissa käytetty muun muassa kloorifenolia, arseenia, raskasmetalleja, kuten lyijyä ja elohopeaa, sekä kreosoottia, joka sisältää polyaromaattisia hiilivety-yhdisteitä (PAH-yhdisteitä) (Kuva 7). Rakennusmateriaaleista haitallisia aineita voi esiintyä ainakin betonirakenteissa, teräsrakenteissa, puurakenteissa, tiilissä sekä maaleissa, lakoissa, laasteissa, liimoissa, tasoitteissa ja saumaus- ja tiivistysmassoissa (Sirviö 2007). Vanhojen rakennusten peltikattojen pinnoitteet sisältävät yleensä asbestia, mutta saattavat sisältää myös PAH-yhdisteitä (Nyman 2015).

Tarkoituksellisesti lisättyjen aineiden lisäksi rakennusten materiaalit altistuvat kaupunkiympäristössä useille ilmateitse leviävillä haitallisilla aineilla, kuten raskasmetalleille sekä PAH- ja PCB-yhdisteille (Butera ym. 2014, Pieto-Taboada ym. 2013, Somarsundaram ym. 2015). Osa haitallisista aineista on päätyneet materiaaleihin rakennuksen käytön aikana, kuten esimerkiksi liuottimia, kemikaaleja ja öljyjä on voinut imeytyä lattia- tai seinämateriaaleihin käytön yhteydessä tai onnettomuuksissa.

Asbestia on käytetty laajasti ja monimuotoisesti rakentamisessa useiden vuosikymmenien ajan (Kuva 8). Sitoutuneena rakennusmateriaaliin asbesti ei aiheuta ongelmaa, mutta purkuvaiheessa ilmaan vapautuvat asbestikuidut saattavat joutua keuhkoihin ja aiheuttaa muun muassa syöpää (Oksa ym. 2016). Tämän vuoksi asbestipurkutyö on ollut luvanvaraista jo vuodesta 1988 lähtien ja rakennustyön

turvallisuudesta annetussa Valtioneuvoston asetuksessa edellytetään suunnittelua ja asbestikartoituksen tekemistä (Oksa ym. 2016, VNa 205/2009)



Kuva 8. Asbestin käyttövuodet. Asbestia käytettiin laajasti erilaisissa rakennusmateriaaleissa eri vuosikymmeninä ja useisiin toiminnallisiin tarkoituksiin. Tumma väripalkki kuvaa asbestituotteiden käyttöaikoja ja vaaleampi sitä, että näitä materiaaleja saattaa edelleen esiintyä rakennuksissa. (TTL 2016)

Taulukko 1. Yhteenveto erilaisista rakennusmateriaalien vaarallisista aineista (SundaHus ja Byggvarubedomingen ilmoittamiin tietoihin perustuen, KEMI 2016)

Keskipitoisuudet (%)	Maalit	Lattia/matto	Liimat ja liitokset	Eristys- materiaalit	Putket/letkut	Puupaneelit	Tapetit	Puusepän tuotteet	Laastit
2,3-Epoksypropyyli o-tolyylietteri									15
Bisfenoli A		8	35					0,1	
Klooriparafiinit	5	2	15	21					
DINP	5	14	13		20				
Formaldehydi		0,05				1			
Tetrakloorieteeni			53						
Tetrahydrofuraani			33						
Trinatrium nitrilotriasettaatti									5
Tetrabromibisfenoli A					3			0,4	
Heksabromisyklododekaani HBCD				2	1			1	0,1
N-Metyyli- 2- pyrrolidoni	19	0,8	3		50			1	
Tolueeni	28		27		1			0,4	
Styreeni	35	34	20					49	
n-Heksaani			4						
Vinyylisetaatti	3	4	9				20	0,2	
Fenoli	2		1		0,01			0,2	10
N-etyyli-2-pyrrolidoni	4					1			
Akryliini		1						8	
Oktametyyli-4-klorotetrahydrofuraani	1								

3.3.3 Seosmuotoiset materiaalit

Seosmuotoisina käytettävät rakennusmateriaalit, kuten maalit, lakat ja liimat, ovat kierrätyksen kannalta hankalia, sillä niiden erottaminen muusta rakennusmateriaalista on vaikeaa. Maaleissa on käytetty esimerkiksi metalliyhdisteitä pigmentteinä (antaa maalille värin ja UV-suojan), korroosionestoon, biosideina ja kuivikkeina (Nuopponen 2015). Kuivikkeet nopeuttavat öljyjen, öljylakkojen ja niistä valmistettujen maalien kuivumista. Suomessa käytössä olleet maalit ovat sisältäneet yhteensä 63 vaaralliseksi luokiteltua metalliyhdistettä. Maalien vaarallisiksi luokiteltuja metalleja olivat alumiini, antimoni, arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi (III), kromi (VI), kupari, lyijy, mangaani, molybdeeni, rauta, seleeni, sinkki ja tina. (Nuopponen 2015)

TUKES:n ylläpitämään Kemikaaliturvallisuus (KETU) -rekisteriin on tehty satoja kemikaali-ilmoituksia rakentamisen toimialalla, muun muassa maalien, lakkojen ja liimojen valmistamiseen liittyen. Tarkempia tietoja siitä, missä rakentamisen alan tuotteissa POP- tai SVHC-yhdisteitä on käytetty, ei rekisteritiedoista saatu selville. Rekisteritiedoista selvisi kuitenkin, että Suomessa esimerkiksi POP-yhdisteistä heksabromisyklododekaania (HBCD) tuotiin maahan vielä vuonna 2014 ja käytettiin palonestoaineena muovi- ja rakennustuotteiden valmistuksessa vuonna 2015 (KETU-rekisteri). Ruotsissa esimerkiksi maalien ainesosiksi on tunnistettu klooriparafiinit, pehmentimenä käytettävä DINP ja feno-

lyhdisteet (Taulukko 1, KEMI 2016). On myös tutkittu, että liimoissa hormonihäirikkö bisfenoli-A:ta on keskimäärin kolmasosa liiman ainesosista (KEMI 2016).

Puurakentamisen tavoitteet lisäävät liimapuun käyttöä. Suomessa liimapuun valmistus aloitettiin 1945 ja rakennusteollisuudessa liimapuuta on käytetty vuodesta 1958. Nykyisin Suomessa käytetään noin 50 000 m³ liimapuuta, täällä tuotetusta noin 300 000 m³:sta. Liimapuu soveltuu erityisesti kantaviin rakenteisiin, koska se on luja materiaali. Sitä on myös käytetty muun muassa huonekaluihin ja sisustukseen. Liimapuuta voidaan käyttää uudelleen liimapuuna, muiden tuotteiden raaka-aineena tai energia- raaka-aineena. (Suomen liimapuuyhdistys, s. 13, 15) Nykyisin liimapuussa käytetään yleensä melamiini-urea-formaldehydiliimaa (MUF-liimaa), sormijatkoksiin vaaleaa melamiiniliimaa tai polyuretaaniliimaa (PUR-liima). Aikaisemmin oli yleisesti käytössä fenoli-resorsinoli-formaldehydiliimaa (PRF-liima). (Suomen liimapuuyhdistys, s. 19)

VTT on suositellut levytuotannon ja jalostuksen sivuotteiden ja puutähteiden kuuluvan käytöstä poistetun puun luokittelun mukaisesti biopolttoaineeksi, jolle ei sovelleta jätteenpoltoasetusta. VTT huomioi arviossaan, että melamiini ja urea sisältävät tyyppiä, mutta formaldehydiä ei testattu tai mainittu päätelmissä. (Alakangas & Wiik 2008) Formaldehydi on kuitenkin luokiteltu syöpävaaralliseksi aineeksi ja tiedetään, että formaldehydipäästöjä voi tulla materiaaleista, joissa on käytetty formaldehydipitoisia liimoja tai happokovetteisia lakkoja, maaleja ja pinnoitteita. (Laasonen 2013)

3.3.4 PCB-yhdisteet

Synteettiset organoklooriyhdisteet, polyklooratut bifenyylit eli PCB-yhdisteet, ovat olleet laajassa käytössä rakennusmateriaaleissa vuodesta 1929 lähtien vuoteen 1990, jolloin niiden käyttö kiellettiin. PCB:t ovat POP-yhdisteitä, jotka erittäin rasvaliukoisina kertyvät eliöihin, hajoavat hitaasti ja voivat kulkeutua kauas ilmateitse. PCB-yhdisteiden myrkyllisyys vaihtelee yhdisteen rakenteen mukaisesti eli eri kongeneerien välillä on eroja. PCB-yhdisteitä on käytetty lämpölasien tiivisteissä, lisäaineena betonissa, tiilissä, maaleissa, lakoissa, laasteissa ja betonin tasoitteissa, kondensaattoreissa, muuntajissa, saumassassoissa sekä homesuojana kankaissa (Hellman 2000, Jartun ym. 2009, Laasonen 2013, Robsom ym. 2010, Sirviö 2007).

Eri ikäisissä taloissa PCB-yhdisteiden määrä vaihtelee, mikä tuli ilmi kun PCB:n määrää talojen julkisivuilta ja niiden viereisestä maasta tutkittiin. Tutkimuksessa havaittiin, että 1950- ja 1960 -luvulla rakennetuissa taloissa on käytetty enemmän PCB-yhdisteitä, kuin 1970 -luvun jälkeen rakennetuissa taloissa. (Andersson ym. 2004).

PCB-yhdisteitä käytettiin maaleissa pehmentiminä, joilla pyrittiin lisäämään maalin kestoikää sekä parantamaan kemiallista- ja lämpökestävyyttä (Jartun ym. 2009). Joissakin seoksissa PCB pitoisuus oli jopa 25 %, uima-allasmaaleissa 7,3 % ja polyuretaani pinnoitteissa 11 % (Jartun ym. 2009). PCB-yhdisteet on huomioitava korjaus ja purkuvaiheessa, sillä POP-yhdisteitä sisältävä jäte on käsiteltävä niin, että POP-yhdisteet eivät pääse sekoittumaan muihin jätteisiin ja niitä sisältävät jätteet on käsiteltävä POP-asetuksen edellyttämällä tavalla (Ympäristöministeriö 2016a). Vuonna 2016 on arvioitu, että Suomessa muodostuisi PCB jätettä 5000 – 6000 tonnia (Ympäristöministeriö 2016b). Käsiteltäväksi on toimitettu vuosina 1981 – 1994 noin 6000 tonnia PCB-jätettä (Ympäristöministeriö 2016b).

3.3.5 Muovien haitalliset aineet rakennusmateriaaleissa

Rakennussektori on toiseksi suurin muovin käyttäjä. Muovia käytetään esimerkiksi putkiin, mattoihin ja eristysmateriaaliksi. Rakennustyömaiden muovijätteet eroavat purkutyömaiden jätteistä. (Stenmark ym. 2017) Rakennuksissa muovia käytetään esimerkiksi putkissa, koteloissa ja listoissa, matoissa, eristysmateriaaleina, sekä rakennustyömailla esimerkiksi materiaalien pakkaus- ja suojamuoveina. Haitallisista aineista rakennusmateriaaleissa voi olla esimerkiksi muovin pehmentimiä, ftalaatteja ja DEPH:ä. Hormonihäirikkö bisfenoli-A:ta on löydetty esimerkiksi vinyylilatioista. Tarkemmin tietoa muovien kierrätyksestä ja haitallisista aineista kappaleessa 3.2.

3.4 Esimerkkejä kierrätysmenetelmien ja mittaustekniikoiden kehittämistä

Vaarallisten aineiden tunnistus-, puhdistus- ja erotustekniikoiden kehittyminen edistää puhtaita materiaalivirtoja kiertotaloudessa ja samalla parantaa vaarallisten aineiden riskinhallintaa. Uusia teknisiä ratkaisuja on kehitetty muun muassa pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP-yhdisteet) tunnistamiseen ja poistamiseen tuotteista tai materiaaleista.

Heksabromisykloodekaaniin (HBCD) poistoon polystyreenivaahdosta on kehitetty suljetun kierron käsittelymenetelmä, PolyStyreneLoop. HBCD tuhoutuu ja käsitelty polystyreeni voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi eristysvaahtona. Teollisen käsittelylaitoksen on tarkoitus aloittaa toiminta 2018 Hollannissa. Menetelmän avulla pyritään käsittelemään myös muita muovijätteen POP-yhdisteitä. (Tange 2017)

Polykloorattuja bifenyylejä (PCB) ja kloorattuja parafiineja sisältävien lämpöikkunoiden kierrättäminen on mahdollista uuden tekniikan avulla. Norjan suurin eristemateriaalin tuottaja, Norsk Gjenvinning ja Glava ovat kehittäneet menetelmän, jonka avulla lasi voidaan saada suoraan eristetuohtaan. (Nordic Council of Ministers 2015)

Suomessa on vuonna 2017 aloitettu esiselvityshanke, jossa kartoitetaan palonsuoja-aineena käytetyn heksabromisykloodekaaniin (HBCD) esiintymistä purku- ja pakkausmateriaaleista. Tampereen ammattikorkeakoulussa HBCD:tä sisältäviä materiaaleja tunnistetaan röntgenfluoresenssimenetelmällä (XRF-mittausmenetelmällä). Indikaattorina käytetään bromin kokonaispitoisuutta, sekä testataan HBCD:n määritystä laboratoriossa. Lisäksi tehdään tilastollista tarkastelua Suomen rakennuskannassa potentiaalisesti esiintyvistä materiaaleista, joissa saattaa olla HBCD:tä. Tavoitteena on tehdä ohjeistusta HBCD:n tunnistamisesta ja erottelemisesta muusta rakennus- ja purkujätteestä turvallisesti, maksimoimalla kierrätettävän materiaalin määrä ja varmistamalla HBCD:tä sisältävän jätteen asianmukainen käsittely. Hanke toteutetaan yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen kanssa. (Viskari, henkilökohtainen tiedonanto 18.8.2017)

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kiertotalouden piirissä varsinaisesti kemikaaleja on tutkittu vasta vähän. Kemikaaleilla on kuitenkin suuri vaikutus materiaalivirtojen puhtauteen, ympäristöturvallisuuteen sekä ihmisen terveyteen. Resurssitehokkuuteen vaikuttavat kierrätettävän materiaalin laatu ja erityisesti se, pystytäänkö laatu turvaamaan teollisen mittakaavan kierrätyksessä. Menetelmiä vaarallisten kemikaalien tunnistamiseen ja poistamiseen materiaalikiirroista on edelleen kehitettävä. Samoin kemikaaleja kiertotaloudessa pitäisi tutkia myös uudelleenkäytön ja jakamistalouden näkökulmasta.

Kiertotaloudesta odotetaan merkittävää arvopotentiaalin nousua vuoteen 2030 mennessä (Sitra 2016). Jos kilpailuetua pyritään rakentamaan neitseellisten raaka-aineiden käyttöä vähentämällä, on materiaalien kierrätystä tehostettava. Kierrätyksen tehostaminen on kuitenkin tehtävä halliten mukana kulkevat kemikaalit. Resurssitehokkuuden edistäminen on tehtävä ympäristöä pilaamatta ja aiheuttamatta vaaraa terveydelle.

Pohjoismaisten ja kansalaisjärjestöjen selvitysten ja tutkimusten perusteella on nähtävissä, että materiaalien sisältämät kemikaalit on hallittavissa kiertotaloudessa. Tarvitaan kuitenkin työkaluja, jotta kierrätys voidaan toteuttaa materiaalin laadun kärsimättä ja aiheuttamatta ympäristön kemikalisoitumista ja terveysriskiä. Samalla on myös turvattava riittävä kierrätysmateriaalin saanto teollisille toimijoille. Puhtaiden materiaalikiertojen varmistamiseksi tarvitaan lisää tutkimusta erityisesti vaarallisten kemikaalien mittaamisen menetelmistä, materiaalien puhdistamisesta haitallisista kemikaaleista sekä puhtaiden ja vaarallisia aineita sisältävien materiaalien erottelusta.

Kierrätettävän materiaalin määrä määrittelee niin menetelmäkehityksen kuin itse kierrätyksenkin taloudellista kannattavuutta. Ympäristö- ja terveystaloudellista materiaalien hallittu puhdistaminen on aina kannattavaa. Toisaalta materiaalin poltto ja käyttö energiaksi voi joskus olla tehokkain tapa tuhota materiaalin sisältämät vaaralliset aineet ja samalla olla myös taloudellisesti kannattavin vaihtoehto. Materiaalien hyödyntämisen esteenä voikin olla kierrätyksen taloudellinen kannattamattomuus, sillä esimerkiksi muovijakeiden erottelu pieniksi määriksi tiettyä muovilaatua ei ole välttämättä kannattavaa, jos kierrätyksen aiheuttamat kustannukset ylittävät tuotot tai myyntiin soveltuvan muovimäärän keräämiseen menee kuukausia tai jopa vuosia (Peeters ym. 2014).

Resurssitehokkaita ja puhtaita materiaalikiertoja voidaan saada aikaan tulevaisuudessa parantamalla tuotesuunnittelua, jonka avulla vältettäisiin kokonaan tai vähennettäisiin minimiin vaarallisten kemikaalien käyttö. Tuotesuunnittelussa voitaisiin suosia myös vaihtoehtoisten, haitattomien tai vähemmän haitallisten kemikaalien käyttöä. Tuotesuunnittelu ei kuitenkaan vaikuta vielä seuraavina vuosina tai vuosikymmeninä kierrätykseen tuleviin materiaaleihin, jotka sisältävät terveydelle ja ympäristölle haitallisia kemikaaleja. Tuote- ja jätesääntelyyn liittyvä kemikaaliriskien hallinta ja säädösten synkronointi aiheuttavatkin tulevaisuudessa merkittäviä haasteita. Aikaisemmin on jo havaittu, että turvallisten materiaalikiertojen varmistamiseksi tarvittaisiin esimerkiksi rakennusten purkutyömaiden kemikaalien hallintaan ohjaavaa lainsäädäntöä (Laaksonen 2015).

Jos tuotesuunnittelu edistää kemikaalien hallintaa tulevaisuudessa, on nykyistä kierrätystä mahdollistettava kehittämällä tutkimusten avulla haitallisten aineiden tunnistamismenetelmiä erilaisista kierrätysmateriaaleista, arvoaineiden talteenottotekniikoita ja materiaalien puhdistusmenetelmiä. Haitallisten aineiden ympäristöseurannat ovat erittäin tärkeitä, sillä ilman, veden ja maaperän kemikaalien pitoisuudet kertovat ihmisen ja ympäristön mahdollisesta altistumisesta ja siten kierrättämisen kehitystarpeista tai toisaalta myös mahdollisesta kierrättämisen onnistumisesta.

Turvalliselle materiaalien kierrätykselle pitäisi luoda riskinhallintakeinoja varsinkin niille tuoteryhmille tai materiaaleille, jotka aiheuttavat suurimmat terveys- ja ympäristöriskit. Kemikaalien tunnistus (erityisesti POP-yhdisteiden ja SVHC-aineiden) sekä materiaalien puhdistus- ja erotustekniikoiden kehittäminen parantaisi myös kemikaalien riskinhallintaa. Lisäksi pitäisi selkeyttää lainsäädäntöä. Esimerkiksi SVHC-aineiden määrittelyt koskevat lakisääteisesti vain kyseisiä aineita tuotteissa, mutta näitä erityistä huolta aiheuttavia aineita pitäisi huomioida myös tuotteen elinkaaren loppupäässä, kierrätyksessä ja jätteen loppusijoituksessa. Tällä hetkellä kierrätysyritykset eivät välttämättä tunnista ja hyödynnä SVHC-kandidaattilistaa muistilistana erityistä huolta aiheuttavista aineista, jotka on tunnistettava ja joista on syytä olla huolissaan myös kierrätyksessä, jätteen loppusijoituksessa ja loppusijoituksen ympäristöpäästöissä. Samoin tuotteiden sisältämien kemikaalien tutkiminen auttaa kartoittamaan potentiaaliset vaarallisia aineita sisältävät materiaalivirrat ja hallitsemaan kemikaaleja kiertotaloudessa. Tieto tuotteiden sisältämistä kemikaaleista vaikuttaa myös niiden kemikaalien huomioimiseen kierrätyksessä, jotka tunnistetaan haitallisiksi vasta vuosia tuotteen valmistuksen jälkeen.

Kemikaalit kiertotaloudessa pitäisi hallita materiaalin kierrättämisen lisäksi myös tuotteiden uudelleen käytön näkökulmasta. Kun tuote otetaan käyttöön eri tarkoituksessa, kuin mihin se on alun perin valmistettu, on arvioitava uuden käyttömuodon kemikaaliturvallisuus. Alkuperäiseen tarkoitukseen käytettynä tuote ei välttämättä altista käyttäjää haitallisille kemikaaleille, mutta uusi käyttömuoto toisessa tarkoituksessa voikin sen tehdä. Tuote on voinut myös elinkaarensa aikana joutua alttiiksi vaarallisille kemikaaleille, jotka ovat kertyneet siihen käytön aikana. Uudelleen käytön esimerkkinä voisi olla rakennus, jossa on säilytetty öljyjä ja kemikaaleja, ja näitä kemikaaleja on vuosien varrella pienten vuotojen seurauksena imeytynyt rakenteisiin. Tällaisen rakennuksen uusi elämä esimerkiksi lasten päiväkotina vaatii kattavan riskinarvioinnin sekä rakenteiden ja materiaalien puhdistamisen.

Kemikaalien hallinta liittyy myös jakamistalouteen: miten varmistamme, että kaikki käyttäjät ymmärtävät yhteiskäytössä olevan tuotteen kemikaaliturvallisen käytön. Kemikaalien hallintaa kiertotaloudessa pitäisi tutkia laajasti, eri kiertotalouden elementit huomioiden.

SANASTO

ABS	Akryliniitriilibutadieenistyreeni
BBP	bentsylibutyyliftalaatti
CLP	Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus aineiden ja seosten luokituksesta (EY 1272/2008)
EHDP	2-etyyliheksyylidifenyylifosfaatti
DEPH	di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti
deka-BDE	dekabromidifenyylieetteri
DEP	dietyyliftalaatti
DIBP	di-isobutyyliftalaatti
HBCD	Heksabromisyklododekaani
LCD	Nestekidenäyttö
Okta-BDE	Kaupallinen seos, joka sisältää heksa-, hepta-, okta-, ja nonabromidifenyylieettereitä
NP	nonyylifenoli
NPE	nonyylifenolietoksyylaatti
OP	oktyylifenoli
OPE	oktyylifenolietoksyylaatti
PBT-aineet	aineet, jotka ovat hitaasti hajoavia, biokertyviä ja myrkyllisiä (persistent, bioaccumulative, toxic), vPvB (very persistent, very bioaccumulative)
PCB	Polyklooratut bifenyylit
PFOS	Perfluorioktaanisulfonaattihappo ja sen johdannaiset
PBDPP	Resorsinoli bis(difenyylifosfaatti)
POP-yhdiste	Pysyvä orgaaninen yhdiste (Persistent Organic Pollutant)
PVC	Polyvinyylikloridi
REACH	Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (EY 1907/2006)
SCCP	Lyhytketjuiset klooratut parafiinit
SVHC	Substances of very high concern, erityistä huolta aiheuttavat aineet
TBBPA	Tetrabromibisfenoli-A
TCEP	Tris(2-kloorietyyli)fosfaatti
TPHP	Tris(fenyyli)fosfaatti
TMMP	Tris(metyylifenyyli)fosfaatti

LÄHTEET

- Alaranta, J. & Ryyänen E. 2015. Biotalousen vaikuttavat jäte-, tuote- ja kemikaalilainsäädännön rajapinnat. Säätelystä biotalouden edistäjä - hankkeen taustaselvitys. Linnunmaa Oy, Joensuu.
- Arp, H.P.H., Morin, N.A.O., Hale, S.E., Okkenhaug, G., Breivik, K. & Sparrevik M. 2017. The mass flow and proposed management of bisphenol A in selected Norwegian waste streams. *Waste Management* 60: 775 - 785. doi: 10.1016/j.wasman.2017.01.002
- Bakas, I., Herczeg, M., Vea, E. B., Fråne, A., Youhanan, L & Baxter, J. 2016. Critical metals in discarded electronics. Mapping recycling potentials from selected waste electronics in the Nordic region. *TemaNord* :526. doi: 10.6027/TN2016-526
- Butera, S., Christensen, T.H. & Asteup, T.F. 2014. Composition and leaching of construction and demolition waste: Inorganic elements and organic compounds. *Journal of Hazardous Materials* 276: 302-311. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.033
- Dobel, Shima & Karlsson, Louise. 2017. Chemicals in Consumer Products [suullinen esitys]. Chemicals in Articles WS, Pohjoismainen työpaja kemikaaleista tuotteissa, 3-4.4.2017. Ministry of Environment and Food of Denmark, Environmental Protection Agency.
- Christensen, F., Warming, M., Kirkeby, J.S., Maag, J., Steinhausen, J. & Hansen, J. H., 2016. Kemiske stoffer i forbrugerprodukt, der kan hinder genanvendelse. Miljøstyrelsen, København.
- Ciacci, L., Passarini, F. & Vassura, I. 2016. The European PVC cycle: In-use stock and flows. *Resources, Conservation and Recycling* 123: 108-116. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.08.008
- Dahlbo, H., Aalto, K., Salmenperä, H., Eskelinen, H., Pennanen, J., Sippola, K. & Huopalainen, M. 2015. Tekstiilien uudelleenkäytön ja tekstiilijätteen kierrätyksen tehostaminen Suomessa. Ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 4. <http://hdl.handle.net/10138/155612>
- Deloitte 2015. Construction and Demolition Waste Management in Finland. V3-December 2015
- EC 2015. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Brussels, 2.12.2015. COM(2015) 614 final.
- EC 2017. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan. Brussels, 26.1.2017. COM(2017) 33final.
- EEA 2016. More from less – material resource efficiency in Europe. 2015 overview of policies, instruments and targets in 32 countries. Norway 2016. European Environment Agency (EEA)
- EEB 2017. Keeping it clean: How to protect the circular economy from hazardous substances. European Environmental Bureau, Belgia.
- Ellen MacArthur Säätiö. 2015. Potential for Denmark as a Circular Economy – A case study from: delivering the circular economy – A toolkit for policy makers. Ellen MacArthur Foundation, 11.
- Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H. & Dahlbo, H. 2016. Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet. Raportti Nro D4.1.3, Helsinki. Solution Architect for Global Bioeconomy & Cleantech Opportunities. EU Vihreä kirja 2000 VIHREÄ KIRJA, PVC ja ympäristö. Euroopan yhteisöjen komissio. Bryssel 26.7.2000, KOM(2000) 469 lopullinen.
- Euroopan kemikaalivirasto, Kandidaattilista <https://echa.europa.eu/fi/regulations/reach/authorisation/the-candidate-list>, luettu 16.8.2017
- Hansen, E., Nilsson, N.H., Lithner, D. & Lassen, C. 2013. Hazardous substances in plastic materials. COWI and Danish Technological Institute. Klima – og forurensnings direktorate. TA 3017/2013
- Hellman, S. 2000. PCB-yhdisteet elementtitalon piha-alueen maaperässä. Pirkanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 182.
- Honkonen, T. & Khan, S.A. 2017. Chemicals and Waste Governance Beyond 2020. *TemaNord* 502
- Janssen, M.P.M., Spijker, J., Lijzen, J.P.A. & Wesselink, L.G. 2016. Plastics that contain hazardous substances: recycle or incinerate? The Dutch National Institute for Public Health and Environment, Netherlands.
- Jartun, M., Ottesen, R. T., Steinnes, E. & Volden, T. 2009. Painted surfaces – Important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the urban and marine environment. *Environmental Pollution* 157: 295-302
- Kauppi, S., Salminen, J., Myllymaa, T., Mannio, J. & Seppälä, J. 2017. Kemikaalit hallintaan ja materiaalikierrot toimiviksi. SYKE:n Policy Brief 2.6.2017.

- Kautto, P. & Salmenperä, H. 2016. Ohjauskeinojen vaikutusten arviointi. Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Vahvelainen, S., Wahlström, M., Bachér, J., Dahlbo, H., Espo, J., Haavisto, T. & Laine-Ylijoki, J. Kohdenneet keinot kierrätyskasvuun. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 53: 30-36.
- KEMI 2011. Kemikalier I varor. Strategier och styrmedel for att minska riskerna med garliga ämnen I vardagen. Rapport Nr 3/11. Kemikalieinspektionen
- KEMI 2012. Material Recycling without Hazardous Substances – Experiences and future outlook of ten manufacturers of consumer products. An interview study. Swedish Chemicals Agency, KEMI, PM 14/12
- KEMI 2016. hazardous chemicals in construction products – proposal for a Swedish regulation. Report from a government assignment. The Swedish Chemicals Agency, Stockholm.
- KEMI 2017a. How to obtain better information about chemicals in products. kemikalieinspektionen.se
- KEMI 2017b. <http://www.kemi.se/en/about-us/our-work/action-plan-for-a-toxic-free-everyday-environment> 27.4.2017
- KETU –rekisteri. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) ylläpitämän kemikaalirekisterin hakutulokset rakentamisen kemikaaleista ilman CAS-numeroita 26.1.2017.
- Kjølholt, J., Lassen, C., Bryld, T.D., Mikkelsen, S.H., Brandt, U.K., Jeppesen, C.N. & Christensen, F.M. 2014. Kortlægning og sundheds- og miljøvurdering af biocidaktivstoffer i tøj. Kortlægning af kemiske stoffer i forbrugerprodukter nr. 128, 2014, COWI og Teknologisk Institut for Miljøstyrelsen, København.
- Knepper, T.P., Frömel, T., Gremmel, C., Driezum, I., Weil, H., Vestergren, R., Cousins, I. 2014. Understanding the exposure pathways of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) via use of PFASs-Containing products – risk estimation for man and environment. Report No. (UBA-FB) 001935/E. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Tyskland.
- Komulainen, J., Huttunen, J. & Sääntti, J. 2011. Haitalliset aineet rakennuksissa ja niiden hallinta. Rakennustieto Oy, Helsinki. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110305.pdf> Luettu 6.7.2017
- Laaksonen, J. 2015. Haitta-ainepitoisten rakennusmateriaalien käsittely korjaus- ja purkutyömailla. Aalto-yliopisto, Diplomityö 23.11.2015.
- Laasonen, H. 2013. Remontoinnin aikaisten terveystaitojen riskinarviointi - Ohjeistus viranomaisille. Opinnäytetyöt, rakennusterveys 2013. Itä-Suomen yliopisto
- Lassen, C., Brandt, U.K. & Huse, A. 2010. Medium chained chlorinated paraffins (MCCPs): A survey of products in Norge. TA-2735/2010. Klima og forurensningsdirektoratet (Klif), Oslo.
- Lassen, C. & Brandt, U.K. 2011. Survey of the phthalate DEHP in articles imported to Norway. TA-2845/2011. Klima og forurensningsdirektoratet (Klif), Oslo
- Lassen, C., Jensen, A.A., Potrykus, A., Christensen, F., Kjølholt, J., Jeppesen, C.N., Mikkelsen, S.H. & Innanen, S. 2013. Survey of PFOS, PFOA and other perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances. Environmental Project No. 1475. Miljøstyrelsen.
- Lassen, C., Kjølholt, J., Mikkelsen, S.H., Warming, M., Jensen, A. A., Bossi, R. & Nielsen, I. B., 2015. Polyfluoroalkyl substances (PFASs) in textiles for children. Survey of chemical substances in consumer products No. 136. The Danish Environmental Protection Agency.
- Leslie, H.A., Leonards, P.E.G., Brandsma, S.H. & Jonkers, N. 2013. POP STREAM, POP-BDE waste streams in the Netherlands: analysis and inventory. A joint IVM-IVAM report. IVM Institute for Environmental Studies.
- Leslie, H.A., Leonards, P.E.G., Brandsma, S.H., de Boer, J. & Jonkers, N. 2016. Propelling plastics into the circular economy – weeding out the toxins first. Environment International 94: 230-234.
- Mannio, J., Rantakokko, P., Kyllönen, K., Anttila, P., Kauppi, S., Ruokojärvi, P., Hakola, H., Kiviranta, H., Korhonen, M., Salo, S., Seppälä, T. & Viluksela, M. 2016. Kaukukulkeutuvat ympäristömyrkyt Suomen pohjoisilla alueilla – LAPCON. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 33/2016. tietokayttoon.fi.
- Malin, T. 2014. Kuusakoski Oy, henkilökohtainen tiedonanto 29.6.2014
- NGI. 2016. WASTEFFECT Life Cycle Effects of Emerging Contaminants in Waste. Norwegian Geological Institute report no. 20120445-1, ja WASTEFFECT <https://www.ngi.no/eng/Projects/WASTEFFECT> Luettu 7.7.2017
- Nordic Council of Ministers. 2015. Moving towards a circular economy – successful Nordic business models. Nordic Council of Ministers.
- Nuopponen, S. 2015. Maalien vaaralliseksi luokiteltavat metalliyhdisteet. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Kemianteeniikka, insinööriyö 26.4.2015

- Nyman, T. 2015. Asbesti- ja PAH-yhdistepitoisilla pintakäsittelytuotteilla käsitellyt peltikatot. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Materiaali ja pintakäsittely, insinööriyö 27.4.2015
- Oksa, P., Linnainmaa, M., Mäkelä, E. & Lallukka, H., 2016. Asbesti rakennustyössä. Työterveyslaitos, Helsinki.
- Peeters, J., Vanegas, P., Tange, L., Van Houwelingen, J. & Duflo, J.R. 2014. Closed loop recycling of plastics containing Flame Retardants. Resources, Conservation and Recycling, 84: 35-43.
- Prieto-Taboada, N., Ibarrondo, I., Gómez-Laserna, O., Martínez-Arkarazo, I., Olazabal, M.A. & Madariaga, J. M. 2013. Buildings as repositories of hazardous pollutants of anthropogenic origin. Journal of Hazardous Materials 248-249, s. 451-460.
- POP -sopimus 34/2004. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus 34/2004. Valtiosopimukset, Finlex.
- Robsom, M., Melymuk, L., Csiszar, S.A., Giang, A., Diamond, M.L. & Helm, P.A. 2010. Continuing sources of PCBd: The significance of building sealants. Environment International 36.: 503-513.
- Saarinen, E. 2017. Suomalaiskonsortio uutaa elektroniikkaromusta arvometalleja. Uusiouutiset 1/2017
- Sanz, V.M., Rica ,E.D., Palcios, E.F., Alsina, A.M. & Mouriz, N.V. 2015. Redesigning producer responsibility. Zerowaste Europe.
- Schmidt, A., Watson, D., Roos, S., Askham, C. & Poulsen, P.B. 2016. Gaining benefits from discarded textiles. LCA of different treatment pathways. TemaNord 537. Nordic council of Ministers.
- Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila, J. & Salminen, J. 2016. Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, politiikkatoimet ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25, s. 92.
- Sirviö, S. 2007. Rakennusten haitta-aineet. Lahden ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutusohjelma.
- Sitra. 2016. Kierrolla kärkeen – Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. SITRAn selvityksiä 117, s. 40.
- Somarsundaram S., Jeon T.-W., Kang Y.-Y., Kim W.-I., Jeong S.-K., Kim Y.-J., Yeon J.-M. & Shin S. K. 2015. Characterization of wastes from construction and demolition sector. Environ. Monit Assess 187. DOI 10.1007/s10661-014-4200-0.
- SOU. 2017. Stantens offentliga utredningar, Substitution i Centrum – stärkt konkurrenskraft med kemikaliesmarta lösningar. SOU 32.
- Stenmark, Å., Belleza, E.L., Fråne, A., Busch, N., Larsen, Å. & Wahlström, M. 2017. Hazardous substances in plastics – ways to increase recycling. TemaNord 2017:505.
- Suomen liimapuuyhdistys ja Puuinfo Oy Liimapuukäsikirja, osat 1, 2 ja 3: osa 1, s. 13, 15, 19.. ISBN 978-952-99868-4-2 (koko teos, PDF); s. 19
- Suomen ympäristökeskus. 2016. HBCD:n käyttövuodet: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Kemikaalien_ymparistoriskit/Pysyvat_organiset_yhdisteet_POP/Heksabromisyklododekaanin_rajotukset Luettu 2.5.2017
- Tange, L. & Noordegraaf, J. Esitys: Destroying a POP substance and contributing to the Circular Economy: Closed-loop recycling of HBCDD-containing PS foam waste. PolyStyreneLoop. Geneva, BRS2017 COP side event, 27.4.2017.
- Työterveyslaitos. 2016. Asbesti rakennusmateriaaleissa. Riala, R., Pirhonen, P. & Heikkä, P., Työterveyslaitos 1993, Asbesti purku- ja huoltotöissä –kirjan sivut 9-22.
- Torgersen, T. 2016. Survey of endocrine disruptors in toys and articles for children. Norwegian environment agency Report M-590.
- Työterveyslaitos 2016. Asbesti rakennusmateriaaleissa. Riala, R., Pirhonen, P. & Heikkä, P., Työterveyslaitos 1993, Asbesti purku- ja huoltotöissä –kirjan sivut 9-22. <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/asbesti-rakennusmateriaaleissa.pdf> Luettu 27.3.2017.
- Virolainen, S., Ibane, D. & Paatero, E., 2011. Recovery of indium from indium tin oxide by solvent extraction. Hydrometallurgy 107: 56–61. doi:10.1016/j.hydromet.2011.01.005
- Virolainen, S., Fallah Fini, M., Laitinen, A. & Sainio, T. 2017. Solvent extraction fractionation of Li-ion battery leachate containing Li, Ni, and Co. Separation and Purification Technology 179: 274–282. doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.010
- Viskari, E.-L., HBCD:n tutkimusta Tampereen ammattikorkeakoulussa, henkilökohtainen tiedonanto 18.8.2017.
- Wahlström, M., Bacher, J. & Laine-Ylijoki, J. 2016. Rakentamisen jätemäärien arviointi sekä huomioita tietopohjaan liittyen. Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Vahvelainen, S., Wahlström, M., Bacher, J., Dahlbo, H., Espo, J., Haavisto, T., Laine-Ylijoki, J. Kohdennetut keinot kierrätyksen kasvuun. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 53: 22-25.

- Wassenaar, P.N.H., Janssen, N., de Poorter, L.R.M. & Bodar, C.W.M. 2017. Substances of very high concern and the transition to a circular economy. RIVM Letter report 20017-0071. National Institute for Public Health and the Environment. The Netherlands, www.rivm.nl/en
- Watson, D. & Palm, D. 2016. Exports of Nordic used Textiles: Fate, benefits and impacts. Nordic Council of Ministers.
- Wäger, P., Schlupe, M. & Müller, E. 2010. RoHS Substances in mixed plastics from waste electrical and electronic equipment. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa).
- Ympäristöministeriö. 2016a. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyvaatimukset. EU:n POP-asetuksen jätteitä koskevat määräykset ja niiden soveltaminen sähkölaiteromuun ja romuajoneuvoihin. Ympäristöhallinnon ohjeita 4. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4627-5>
- Ympäristöministeriö. 2016b. Ehdotus valtioneuvoston asetuksiksi PCB-laitteistojen käytön rajoittamisesta ja PCB-jätteen käsittelystä, sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta annetun valtioneuvoston asetuksen liitteen 3 muuttamisesta ja kaatopaikoista annetun valtioneuvoston asetuksen 36 §:n muuttamisesta. Ympäristöministeriö, Ympäristöneuvos Klaus Pfister, Muistio 31.10.2016.
- Ympäristöministeriö. 2017. Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma. Väliarviointi ja tarkistus 2017. Suomen ympäristö 4, s.74. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4739-5>
- VNa 205/2009 Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta
- Tukholman sopimus. <http://chm.pops.int>, Stockholm convention, specific exemptions, <http://chm.pops.int/Implementation/Exemptions/SpecificExemptions/TetraBDEandPentaBDErSE/tabid/5039/Default.aspx> Luettu 29.9.2017



ISBN 978-952-11-4874-3 (PDF)

ISBN 978-952-11-4873-6 (nid.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

ISSN 1796-1718 (pain.)