

PURKUALAN KIERTOTALOUDEN KEHITTÄMINEN

Taru Kuusisto, Minna Haapakoski ja Petri Linna
TAMPEREEN YLIOPISTO

PURKUALAN KIERTOTALOUDEN KEHITTÄMINEN

Sisällysluettelo

1	Purkualan jätteiden lajittelu ja uusiokäyttö tällä hetkellä	3
1.1	Purkuala.....	3
1.2	Kiertotalouteen ohjaava sääntely	3
1.3	Rakennus- ja purkujätteen määrä ja jätelajit.....	7
1.4	Purkualan yrityksiä Suomessa ja Satakunnassa	9
1.4.1	Suurimmat purkualan yritykset Suomessa	9
1.4.2	Purkualan yrityksiä Satakunnassa	10
1.5	Purkujättemateriaalien hyödyntäminen	11
1.5.1	Betoni	11
1.5.2	Tiili	12
1.5.3	Kipsipohjainen jäte	12
1.5.4	Maa- ja kiviaines.....	13
1.5.5	Asfaltti.....	13
1.5.6	Kattohuopa	13
1.5.7	Lasi	14
1.5.8	Metalli.....	14
1.5.9	Kyllästämättömät puujätteet.....	14
1.5.10	Muovijäte.....	15
1.5.11	Paperi- ja kartonkijäte	16
2	Purkualan kiertotalouden kehittämistarpeet.....	17
2.1	Purkutyömaiden jätelajien kiertotalouden kehittämistarpeet.....	18
2.1.1	Betoni	18
2.1.2	Tiili	20
2.1.3	Kipsipohjainen jäte	21
2.1.4	Asfaltti.....	21
2.1.5	Kattohuopa	22
2.1.6	Kyllästämätön puujäte.....	22
2.1.7	Muovijäte.....	23
2.2	Kiertotalouden kehittämisen haasteita ja ratkaisuja rakennus- ja purkualalla	26
2.3	Rakennus- ja purkualan yrityshaastattelut.....	27

3	Purkumateriaalien uudenlainen lajittelu teknologian keinoin.....	30
3.1	Mekaaninen erottelu	30
3.2	Optinen erottelu	31
3.3	Kemiallinen erottelu.....	32
3.4	Case LATE-lajittelulaitos	34
4	Esitys uudesta purkumateriaalien jäteasemasta.....	37
4.1	Teknologiset mahdollisuudet	37
4.2	Käytännön järjestelyt	39
5	Eri tekniikoiden soveltumisen testaus valituille purkumateriaaleille.....	40
5.1	Betonin uudelleenkäyttö ja hyödyntäminen uusiomateriaalina	41
5.2	Betonin uusiokäytön testaus	43
5.1.1	Materiaali.....	43
5.1.2	Testausasetelma.....	44
5.1.3	Havainnot.....	44
5.1.4	Tulokset	45
6	LÄHTEET	46
7	LIITE.....	52

1 Purkualan jätteiden lajittelu ja uusiokäyttö tällä hetkellä

1.1 Purkuuala

Suomessa puretaan vuosittain lähes 4000 rakennusta. Valtaosa purkamisesta tapahtuu suurissa kaupungeissa, joissa purkutoimintaa lisää kaupunkirakenteen tiivistyminen ja maankäytön muutokset. (11, Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:9.) Suomen Purkuliikkeiden liitto ry:n mukaan Suomen rakennuskannasta puolet on yli 30-vuotiaista. Rakennusten toimivuuden parantaminen sekä asuin- ja käyttötärpeiden muuttuminen siirtävät rakentamisen painopistettä yhä enemmän korjausrakentamiseen ja rakennusten ylläpitoon. (FDA.) Rakennusteollisuuden mukaan korjausrakentamisen merkitys talonrakentamisessa kasvaa entisestään tulevaisuudessa. Nykyisestä asuntokannasta suurin osa on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla ja niiden suurin korjaustarve sijoittuu 2010- ja 2020-luvuille. (Rakennusteollisuus RT ry.)

VTT:n arvion mukaan asuinrakennusten saneerauksiin pitäisi sijoittaa noin 9,4 miljardia euroa vuosittain ajanjaksolla 2016–2025. Sitä seuraavalla kymmenvuotiskaudella asuinrakennusten korjaustarve kasvaa entisestään, noin 11,1 miljardiin euroon vuosittain. Kuntien rakennuksissa perusparannustarve on noin 16,5 miljardia euroa (11, Nippala & Vainio, 2016.)

Euroopassa noin puolet käyttämistämme raaka-aineista kuluu rakentamiseen. Rakentamisessa ja purkamisessa syntyvän jätteen osuus on 40–50 % kaikista jätteistä. Kiertotalouden mahdollisuudet ovat merkittäviä, sillä esimerkiksi uudelleen käytettävän betonielementin hiilijalanjälki on noin 5 % uuden betonielementin hiilijalanjäljestä. (Rakennetun omaisuuden tila 2021-raportti, 5.)

1.2 Kiertotalouteen ohjaava sääntely

Ympäristö on jatkuvassa muutostilassa, mikä koskee myös rakentamista. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa paineita myös rakennus- ja purkuteollisuuteen kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. Rakennusalalla muutospainetta kohdistuu käytettäviin rakennusmateriaaleihin ja niiden valmistukseen, jätteiden määrän vähentämiseen ja tehokkaampaan jättemateriaalien kierrättämiseen ja uudelleen käyttöön. Maankäyttö- ja rakennuslain (134/1999) 154 §:n mukaan rakennuksen tai sen osan purkaminen tulee suorittaa niin, että käyttökelpoisia rakennusten osia voidaan hyödyntää. Rakennus- ja purkujätteen haltijan on pyrittävä siihen, että toiminnassa syntyy mahdollisimman vähän ja mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä (Jäteasetus 179/2012, 15 §). Jäteasetuksen mukaan rakennus- ja purkujätteen *erilliskeräys* on järjestettävä ainakin seuraaville jätelajeille:

- 1) betoni-, tiili-, kivennäislaatta- ja keramiikkajätteet;
- 2) kipsipohjaiset jätteet;
- 3) kyllästämättömät puujätteet;
- 4) metallijätteet;
- 5) lasijätteet;
- 6) muovijätteet;
- 7) paperi- ja kartonkijätteet;
- 8) maa- ja kiviainesjätteet.

Euroopan komissiossa hyväksyttiin 2015 kiertotalouden toimenpideohjelma, jonka päämääränä on nopeuttaa Euroopan siirtymistä kohti kiertotaloutta, parantaa kilpailukykyä ja luoda uusia työmahdollisuuksia. Osa kiertotalouden toimenpideohjelmasta on vuonna 2018 hyväksytty jätäsäädöspaketti, jonka olennaisena tavoitteena on tehostaa etusijajärjestyksen (jätehierarkia) noudattamista ja lisätä materiaalien resurssitehokasta uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Jätäsäädöspaketissa on neljä jätealan direktiiviä, jotka tulivat voimaan heinäkuussa 2018. Jäsenvaltioiden kansallisessa lainsäädännössä direktiivit tuli panna täytäntöön 5.7.2020 mennessä. (EU:n jätäsäädöspaketin täytäntöönpano, 2019, 8.)

Jätäsäädöspaketin direktiivit asettavat uudet, entistä kunnianhimoisemmat tavoitteet yhdyskuntajätteen ja pakkausjätteen kierrätykselle. Jäsenvaltiot veloitetaan myös aikaisempaa tehokkaammin toimimaan jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentämiseksi, uudelleenkäytön lisäämiseksi sekä jätteiden jäljitettävyyden parantamiseksi. (EU:n jätäsäädöspaketin täytäntöönpano, 2019,8.) Komissio tarkastelee vuoden 2024 loppuun mennessä yhdyskunta- ja pakkausjätteen kierrätystavoitteita sekä rakennusjätteen hyödyntämistavoitetta ja tekee tarvittaessa ehdotuksia niiden muuttamiseksi (HE 40/2021).

Suomen kansallisessa lainsäädännössä EU:n jätealan direktiivien täytäntöönpano edellytti muutoksia mm. ympäristönsuojelulainsäädäntöön ja kemikaalilakiin (599/2013), useimpiin jätealan asetuksiin ja jätelakiin (646/2011) (EU:n jätäsäädöspaketin täytäntöönpano, 2019, 8.) Jätelain 1 §:ssä on määritelty jätelain keskeiseksi tarkoitukseksi edistää kiertotaloutta sekä vähentää jätteen määrää ja sen haitallisuutta. Lisäksi jätelain 8 §:n mukaan on noudatettava etusijajärjestyksi eli jätehierarkiaa (kuva 1). Etusijajärjestyksen mukaisesti on ensisijaisesti vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja sen aiheuttamaa haittaa. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jäte on ensisijaisesti valmisteltava uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä. Jos kierrätys ei tule kyseeseen, jäte on hyödynnettävä esim. energian tuotannossa. Siinä tapauksessa, että jätettä ei ole mahdollista hyödyntää, jäte voidaan sijoittaa kaatopaikalle tai loppukäsittellä muulla tavoin.



Kuva 1. Jätelain etusijajärjestys (Lähde: ELY-keskus)

EU:n jätedirektiivien ja jätelain mukaisessa valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa vuoteen 2023 on valittu neljä painopistealuetta, joista rakentamisen jätteiden vähentäminen on yksi (Laaksonen ym., 2018, 12). Perusteena rakentamisen jätteiden nostamiselle yhdeksi painopistealueeksi on, että jätedirektiivin tavoitteita rakennusjätteelle ei ole saavutettu. Lisäksi rakentamisesta aiheutuvat jätteet ovat määrältään Suomen toiseksi suurin jätelaji. (Laaksonen ym., 2018, 51.)

Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa on esitelty myös jätteen synnyn ehkäisyn ja jätehuollon tavoitetilavuoteen 2030. Tavoitetilan mukaisesti vuoteen 2030 mennessä jätehuolto on luonteva osa kestävästä kiertotaloudesta, tuotanto ja kulutus säästävät luonnonvaroja ja hillitsevät ilmastonmuutosta. Jätteen määrä on nykyistä pienempi ja kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat tehostuneet. Tämän lisäksi kierrätysmarkkinat toimivat hyvin, mikä luo myös uusia työpaikkoja, ja kierrätysmateriaaleista saadaan talteen kaikki arvokkaat raaka-aineet. Tavoitetilan mukaisesti tuotannossa käytetään yhä vähemmän vaarallisia aineita ja materiaalikierrot ovat mahdollisimman vaarattomia, sekä jätealan osaaminen on korkeatasoista ja jätealalla on laadukasta TKI-toimintaa. (Laaksonen ym., 2018, 16.) Valtakunnallista jätesuunnitelmaa päivitetään parhaillaan. (Ympäristöministeriö). Kunnallisilla jätehuoltomääräyksillä voidaan joiltain osin täsmentää jätteisiin ja niiden käsittelyyn liittyviä säännöksiä ja täytäntöönpanoa. Yrityksiä koskevia määräyksiä kunta voi antaa jätteiden keräyksen, vastaanoton ja kuljetuksen käytännön järjestelyistä sekä niiden teknisistä vaatimuksista, liittyen esimerkiksi jäteastioiden sijoittamiseen ja kuormaamiseen. (Ympäristöministeriö, 2020, 30.)

Tuotanto- ja kulutustapojen muuttamisen lisäksi kiertotalouteen siirtyminen vaatii myös uudelleenkäytön valmistelun ja jätteiden käsittelyn investointeja. Jätteeksi päätyvien rakennusmateriaalien ja -tuotteiden uudelleenkäytön valmistelussa on havaittu paljon mahdollisuuksia. Esikäsittelyn lisätarvetta on erityisesti sellaisille jätteille, joista voidaan saada vielä kiertoon osia sekä jätteille, joita ei voida sijoittaa enää kaatopaikalle orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituksen rajoittamisen vuoksi, kuten rakentamisen ja purkamisen jätteet. (Laaksonen ym., 2018, 17–18.)

Voimassa olevassa valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa on asetettu tavoitteita ja toimia rakentamisen jätteiden vähentämiseksi (Laaksonen ym., 2018, 12). Rakennus- ja purkujätteiden osalta tavoitteena on, että talonrakentamisen jätemäärää saadaan vähennettyä, ja rakentamisen ja purkamisen materiaalitehokkuutta sekä jätelajikohtaista lajittelua parannettua. EU:n jätedirektiivin mukaisesti vuoteen 2020 mennessä rakennus- ja purkujätteestä olisi pitänyt kierrättää materiaalina 70 prosenttia. (Laaksonen ym., 2018, 28–33.) Tavoitteesta jäätiin selvästi, sillä aikarajan umpeuduttua kiertoon päätyi vain runsaat 50 prosenttia rakennus- ja purkujätteestä (Yle, 2020 A). Toimia tavoitteen saavuttamiseksi on ollut selvittää eri jättemateriaalien kierrätyspotentiaalia, ja keskeisten jätejakeiden materiaalihyödyntämisen tehostaminen. Materiaalien kierrätyksen edistämiseksi olisi hyödyllistä hallita sekä käytössä olevien että kiertoon menevien materiaalien kokonaismäärät ja maantieteellinen sijainti. (Laaksonen ym., 2018, 28–33.)

Syksyn 2021 budjettiriihessä hallitus sopi mittavasta ilmastopaketesta, jolla toteutetaan hallitusohjelman päämäärä tehdä Suomesta hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Toimet kootaan yhteen keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaan (Kaisu). (Valtioneuvosto A.) Ilmastosuunnitelmassa vähennetään mm. liikenteen, työkalujen ja jätteiden kasvihuonepäästöjä (Valtioneuvosto B).

Yhtenä ohjaavana keinona kohti kiertotaloutta toimii jätevero. Kaatopaikoille toimitetuista jätteistä on maksettava jäteverolain (1126/2010) nojalla jäteveroa. Verotuksella halutaan ohjata siihen, että jätteiden hyödyntäminen lisääntyy ja kaatopaikalle päättyy yhä pienempi osa jätteistä. Veronalaisiksi on säädetty jätteet, joiden hyödyntäminen on teknisesti mahdollista ja ympäristönsuojelun kannalta perusteltavaa. Lisäksi jäteverolla halutaan parantaa jätteen taloudellista hyödynnettävyyttä. Verovelvollisia ovat kaatopaikan pitäjät. Vero määräytyy jätteen painon

perusteella ja se on sama jätteen laadusta riippumatta. Vuonna 2021 veroa on maksettava 70 euroa tonnilta. (Verohallinto A.)

Veronalaiset jätteet on lueteltu jäteverolain (1126/2010) liitteenä olevassa jäteverotaulukossa. Rakentamisessa ja purkamisessa syntyvistä jätteistä veronalaisia jätteitä (mukaan lukien pilaantuneilta alueilta kaivetut maa-ainekset) ovat:

- betoni, tiilet, laatat ja keramiikka
- puu, lasi ja muovit
- bitumiseokset, kivihiiliterva ja -tervatuotteet
- metallit, niiden seokset (lejeeringit) mukaan luettuina
- muut rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet (jotka sisältävät esim. vaarallisia aineita)

Jäteverolakia ei sovelleta vaarallisiin jätteisiin. Jäteverotus kohdistuu vain jätteiden kaatopaikkakäsittelyyn, eli esimerkiksi käsittely jätelaitoksissa tai jätteenpolttolaitoksissa ei kuulu veron piiriin. Lain soveltamisalueen ulkopuolelle jäävät myös muihin toimintoihin, kun loppusijoitukseen käytettävät alueet, vaikka ne sijaitsisivatkin kaatopaikkojen yhteydessä samalla jätteenkäsittelyalueella. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi maankaatopaikat, välivarastointialueet ja jätteiden hyödyntämisalueet. Maankaatopaikoille voidaan sijoittaa yksinomaan maan ja kallioperän aineksia, kuten teollisuuden sivukiviä, hiekkaa tai kivipölyä. Välivarastointialueella tarkoitetaan aluetta, jossa säilytetään muista jätteistä erotettuna jätettä väliaikaisesti alle kolmen vuoden ajan ennen kuin sitä käsitellään tai hyödynnetään muualla. Jätteiden hyödyntämisalueella taas tarkoitetaan muualla kuin kaatopaikalla sijaitsevaa aluetta, jossa jätettä hyödynnetään.

Päätettäessä, onko kyse jätteen verottomasta hyödyntämisestä, perehdytään yleensä kohteen ympäristölupaan. Jätteen on kuitenkin oltava sisällöltään ja laadultaan sopivaa hyödynnettäväksi kyseisessä kohteessa. Lisäksi jätteen hyödyntäjän on osoitettava, että jätettä hyödyntämällä pystytään korvaamaan ensikäytössä olevaa raaka-ainetta. Kaikkien edellä mainittujen muihin, kun loppusijoitukseen käytettävien alueiden tulee olla selkeästi erotettu jäteverolaissa tarkoitettua kaatopaikasta. Eri tarkoituksiin käytettävien alueiden erottaminen on hoidettava niin, etteivät eri alueilla olevat jätteet pääse sekoittumaan toisiinsa. (Verohallinto B.)

Lisäksi jäteveron ulkopuolelle jää kaatopaikalle muista jätteistä eroteltuna toimitettava jäte, jota hyödynnetään kaatopaikan perustamisessa, käytössä tai käytöstä poistamisessa. Verottomasti voidaan hyödyntää esimerkiksi asfalttijätettä kaatopaikan tiestön rakentamisessa tai tiilimurskaa kaatopaikan pintarakenteissa. Verottomuus ei koske lasijätteitä eikä halkaisijaltaan yli 150 millimetrin kokoisia betonijätteitä. Viime kädessä jätteen veroton hyödyntäminen riippuu kaatopaikan ympäristöluvasta ja valvojan viranomaisen kannasta asiaan. (Verohallinto B.)

Käytännössä siis jätejakeet, jotka voidaan suoraan tai vastaanottoalueen kautta ohjata hyötykäyttöön, välttyvät jäteverotukselta. Olennaista jätteiden toimittamisessa jäteasemalle on, että lajittelematon jätekuorma on aina kalliimpi kuin lajiteltu jäte. Lajittelematon kuorma teettää jäteasemalla lisätyötä ja hidastaa jätteen hyödyntämistä. (Puhelinkeskustelu 3.9.2021.) Lajittelemattoman rakennusjätteen käsittely jäteasemalla maksaa Satakunnassa jäteasemasta riippuen vajaa parisataa euroa per tonni (jätehinnastot).

Vuoden 2018 alussa voimaan tulleella MARA-asetuksella (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä) taas laajennettiin jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maarakentamisessa lisäämällä asetukseen uusia käyttökohteita ja jättemateriaaleja. MARA-asetuksen tarkoituksena on helpottaa jätteiden käyttöä kohteissa, joissa neitseellistä kivi- ja maa-ainesta voidaan korvata jätteellä. Asetuksen mukaan tiettyjen jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa, kun asetuksen edellytykset täyttyvät. Suunnitellusta jätteen hyödyntämisestä on tehtävä ilmoitus ELY-keskukselle (ns. MARA-ilmoitus). MARA-asetuksen liitteessä 1 on määritelty asetuksen soveltamisalaan kuuluvat jätteet ja niiden käyttökohteet. Sen mukaan mm. asfalttimurskan ja -rouheen käyttö on mahdollista väylä- ja kenttärakenteissa. Betoni- ja tiilimursketta voidaan väylä- ja kenttärakenteiden lisäksi käyttää myös teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. (Ympäristö.fi.) MARA-asetuksessa on säädetty raja-arvot hyödynnettävän jätteen sisältämille haitta-aineille maanrakentamiskohteittain. Lisäksi on määritelty esimerkiksi rakennuksilta ja purkamisesta peräisin olevan betoni- ja tiilijätteen kohdalla, paljonko ne voivat sisältää muuta materiaalia, kuten muovia tai puuta. Hyödynnettävien jätteiden tulee olla myös maanrakennuskohteeseen teknisesti ja toiminnallisesti sopivia. Jätteen luovuttajalla tulee myös olla laadunvarmistusjärjestelmä. (Pajunen, 2018.)

1.3 Rakennus- ja purkujätteen määrä ja jätelajit

Jätettä syntyi Suomessa vuonna 2019 yhteensä yli 116 miljoonaa tonnia. Eniten jätettä syntyy kaivostoiminnassa ja louhinnassa, joiden jätteet koostuvat kokonaan mineraalijätteistä (86,7 miljoonaa tonnia). Suurin osa tästä jätteestä läjitetään kaivosalueille. Rakentamisen toimialalla (uudis- ja korjausrakentaminen, purkaminen sekä maa- ja vesirakentaminen) syntyy jätettä toiseksi eniten, yhteensä 13,7 miljoonaa tonnia vuodessa. Rakentamisen jätteistä valtaosa, 13,2 miljoonaa tonnia, koostuu mineraalijätteistä (betoni-, tiili- ja kipsijäte, jäteasfaltti sekä maa- ja kiviaines), joista yli 90 prosenttia on läjitettäviä ylijäämämaita. (Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto. Liitetaulukko 1. 2019.) Muita rakentamisessa syntyviä jätelajeja ovat puujäte (0,38 miljoonaa tonnia), vaarallinen jäte (0,29 miljoonaa tonnia), metallijäte (1000 t.), eläin- ja kasvijäte (1000 t.) sekä kotitalous- ja muu sekalainen jäte (20 t.). Lähes kaikki puu- ja metallijäte pystytään Suomessa hyödyntämään. (Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto. Liitetaulukko 2. 2019.) Talonrakennusalan jättemääräksi on arvioitu noin 1,6 miljoonaa tonnia, sisältäen mineraalijätteen, mutta ei maa- ja kiviaineksia (Rakennustarkkailija). Ympäristöministeriön raportin (17/2014) mukaan talonrakentamisessa suurin osa rakennusjätteestä on peräisin saneeraus- ja purkutyömailta ja vain alle viidesosa uudisrakentamisesta.

Euroopan unionin tilastotoimiston Eurostatin mukaan v. 2018 Suomessa syntyi jätettä 23 253 kiloa asukasta kohden. Vastaava luku Ruotsissa on 13 628 kiloa per asukas, EU:n keskiarvon ollessa 5106 kiloa asukasta kohden. Suuret lukemat Suomen kohdalla johtuvat pitkälti mineraalijätteiden suuresta osuudesta. Kun verrataan Eurostatin tilastoja ilman suurimpia mineraalijäte-eriä, Suomen jättemäärä tipahtaa 2569 kiloon asukasta kohden, EU:n keskiarvon ollessa 1828 kg/asukas.

Jättemääriä tilastoidaan maassamme toimialakohtaisesti, mutta tarkempia tietoja purkujätteen osuudesta rakennusjätteessä ei ole saatavilla. Myöskään purkujätteen koostumuksesta ei ole kovin tarkkaa tietoa. Jätelajit ja niiden määrät riippuvat paljon siitä, millaisesta purkukohteesta on kyse.

Betonitaloa purettaessa suurin osa jätteestä on mineraalijätettä (betoni, tiili), kun taas puutalokohdetta purettaessa suurin jätelaji on puu. (Rakennustarkkailija.)

Porin kaupungin rakennusvalvonnan Lupapisteen (2021) tietojen mukaan vuonna 2020 käsiteltiin 16 rakennuksen purkukohdetta, joista seitsemästä kohteesta on tehty selvitys purkujätteiden määristä. Purkujätteselvitystä ei ole tarvinnut tehdä pienistä kohteista, kuten varastot, autokatokset tai piharakennukset. Seitsemän kohteen tiedot ovat koottu pääosin jätteiden siirtoasiakirjoista, joten suoraan hyöty- tai uudelleenkäyttöön menneistä osista tai materiaaleista, kuten ovista, ikkunoista yms. ei ole tietoa. Tulosten mukaan jätettä on näistä seitsemästä kohteesta kertynyt yhteensä 1286 tonnia, eli keskimäärin 184 tonnia per purkukohte.

Jätelajit suuruusjärjestyksessä:

2020 (kohteet 7/16)	
Betoni- ja tiilijäte	995,08 t (77,4 %)
Sekalainen rakennusjäte	169,78 t (13,2 %)
Puujäte	55,98 t (4,3 %)
Erikoiskäsiteltävä jäte	42,28 t (3,2 %)
Sekalainen metalli	13,93 t (1,0 %)
Asbesti	7,56 t (0,5 %)
Sekajäte	1,0 t (0,08 %)
Lasi, ikkunat	<u>0,5 t (0,04 %)</u>
YHTEENSÄ	1286 tonnia (100 %)

Selkeästi suurimman jätelajin betoni- ja tiilijätteen osuus on $\frac{3}{4}$ purkujätteestä. Yli kymmenesosa jätteestä on sekalaista rakennusjätettä ja kolmanneksi suurin jätelaji on puujäte. Sekalaisen rakennusjätteen koostumuksesta ei näissä tiedoissa ole tarkempaa tietoa. (Porin kaupungin rakennusvalvonnan Lupapiste, 2021.)

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT) on tutkittu sekalaisen rakennusjätteen koostumusta. LUT:n tutkimuksen mukaan sekalaisen rakennusjätteen suurimpia jätelajeja olivat puu (26 %), kiviaines (25 %) ja muovi (18 %). Tämän jälkeen tulivat paperi ja pahvi (7 %), lasi (6 %), mineraali- ja lasivilla (5 %) ja metalli (4 %). Loput jätteestä kirjattiin sekalaiseksi (9 %). Tulos oli samansuuntainen aiemmin toteutettujen rakennusjätteen koostumustutkimusten kanssa. Epävarmuutta tuloksiin tuo rakennus- ja purkukohteiden erilaisuus ja näytteiden keräämisvaihe (rakentamisen eri vaiheet). Lappeenrannan teknillisen tutkimuskeskuksen näytteet otettiin satunnaisista rakennusjätetuormista jätteenkäsittelykeskuksella. Rakennusjätteen keskimääräinen koostumus osoittautui tutkimuksessa hyvin samankaltaiseksi kuin muissa aiemmissa rakennusjätteen koostumustutkimuksissa: puu, kiviaines ja muovi ovat sekalaisen rakennusjätteen suurimmat jätelajit. (Liikanen ym., 2018.)

Karelia-ammattikorkeakoulun rakennusjätekoostumustutkimuksessa tutkittiin myös sekalaista rakennusjätettä. Tutkittava rakennusjäte ei sisältänyt maa-aineksia, eikä tietoa ollut siitä, miten paljon jätettä oli lajiteltu rakennustyömailla. Jätelajien jaottelu myös poikkeaa jonkin verran LUT:n tutkimuksen jaottelusta. Karelia-AMK:n tutkimus jaettiin kahteen osatutkimukseen: ensimmäinen tutkimus kohdistui uudiskohdejätteisiin ja toinen saneerausohdejätteisiin. Jätenäytteet kerättiin jäteaseman rakennusjätelavoilta. Uudiskohteiden suurin jätelaji oli kiviainesjäte (n. 55 %). Muoveja oli 10,5 prosenttia ja puuta 10 prosenttia. Saneerausohhteiden suurin jätelaji oli erilaista puujätejakeita

sisältävä puujäte (n. 46 %). Kiviainesta saneerauskohteiden rakennusjätteet sisälsivät hieman alle 10 prosenttia, ja muovin osuus oli 8,7 prosenttia. (Paukkunen.) Sekä LUT:n että Karelia-AMK:n tutkimuksissa kolme suurinta sekalaisen rakennusjätteen jätelajia ovat kiviaines, muovi ja puu, vaihtelevassa järjestyksessä. LUT:n ja Karelia-AMK:n saneerauskohteiden jätekoostumukset olivat suuruusjärjestykseltään yhteneväiset: eniten sekalaisen rakennusjätteen joukosta löytyi puujätettä, toiseksi eniten kiviainesta ja kolmanneksi eniten muovia.

Euroopan unionin jätedirektiivien uudistaminen ja sen pohjalta annetut kansalliset lait ja asetukset sisältävät tiukennuksia rakennus- ja purkujätteen lajitteluun, uusiokäyttöön ja kierrätykseen. Tämä asettaa alan yrityksille lisävaatimuksia, mutta luo samalla myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Rakennusteollisuuden mukaan Suomessa rakennusjätteiden hyödyntämistä on muuhun Eurooppaan verrattuna alhainen. Etenkin rakennusten korjaamisessa ja purkamisessa syntyvien jätteiden lisääntyvä uusiokäyttö ja kierrätys korostuvat tulevaisuudessa yhä enemmän, samoin kuin eri teollisuussektorien sivuvirtojen hyödyntämisen lisääminen. (Rakennusteollisuus RT ry.)

1.4 Purkualan yrityksiä Suomessa ja Satakunnassa

Purkualalla toimii Suomessa noin 100 yritystä. Osa yrityksistä on erikoistunut sekä purkamiseen että purkujätteiden kierrätykseen, osa pelkästään kierrätykseen. Osa rakennusalan yrityksistä tekee myös purkutöitä. Keskimäärin purkualan yrityksissä työskentelee parikymmentä työntekijää per yritys.

1.4.1 Suurimmat purkualan yritykset Suomessa

Suurimpia valtakunnallisesti toimivia purkualan yrityksiä liikevaihdon ja henkilökunnan määrällä mitattuna ovat Delete, Lotus Demolition Oy, Umacon Oy ja Purkupiha Oy. Deleteä lukuunottamatta edellä mainittujen yritysten toiminta on keskittynyt pääasiassa purkamiseen.

Deleten toiminta jakautuu kolmeen liiketoiminta-alueeseen: puhdistuspalvelut, kierrätyspalvelut ja purkupalvelut. Delete Finland Oy on osa Delete Group Oy:tä, joka syntyi v. 2010 Toivonen Yhtiöiden ja Tehocin yhdistyessä. Nykyinen pääomistaja on Axcel. Deleten suurimmat asiakasryhmät ovat teollisuus- ja rakennusalan yritykset sekä julkinen sektori. Deleten toimialueena on koko Suomi. Vuonna 2020 Delete Finland Oy:n liikevaihto oli 70 miljoonaa euroa ja työntekijöitä sillä oli n. 500. (Fonecta Oy.)

Lotus Demolition Oy (ent. Delete Demolition Oy) on vuonna 2015 perustettu, kokonaan purkamiseen keskittynyt yritys. Lotus Demolition Oy toimii valtakunnallisesti Suomessa. Se on osa pohjoismaista purku-, kuljetus- ja maisemointiliiketoimintaa harjoittavaa Lotusta. Vuonna 2020 yrityksen liikevaihto oli 49 miljoonaa euroa ja se työllisti noin 150 työntekijää. (Fonecta Oy.)

Umacon Oy on kouvolaalainen v. 1988 perustettu yritys, jonka toiminnan painopiste on kone- ja rakennuspurkutöissä. Kone- ja laitepurussa purettavat kohteet voidaan purkaa ehjänä uudelleenkäyttöä varten tai romupurkuna, jolloin purettu materiaali lajitellaan, pilkotaan ja toimitetaan kierrätykseen. Rakennuspurku sisältää teollisuuslaitosten ja rakennuksien purkamisen ja lajittelun sekä lajitellun purkumateriaalin kierrätyksen. Viimeisimmän tilinpäätöksen mukaan yrityksen liikevaihto oli 22 miljoonaa euroa ja yrityksessä työskenteli lähes 70 työntekijää. (Fonecta Oy.)

Purkupiha Oy on vuonna 2003 perustettu purkualan yritys. Purkupihan palveluihin kuuluvat teollisuushallien, tehtaiden ja rakennusten purkutyöt. Purkupihan omat kierrätysasemat sijaitsevat Lahdessa, Vantaalla ja Lappeenrannassa. Purkupihan emoyhtiö on Purkupiha Group, johon kuuluu Purkupiha Oy:n lisäksi haitta-ainepurkuihin erikoistunut Purkupiha Asbestityöt (ent. Dammega) ja vuonna 2018 konserniin liitetty SK-Purku. Purkupihan toimialueena on koko Suomi. Yrityksen liikevaihto oli v. 2020 22 miljoonaa euroa ja se työllisti noin 60 henkilöä. (Fonecta Oy; Purkupiha Oy.)

1.4.2 Purkualan yrityksiä Satakunnassa

Satakunnassa toimii erikokoisia purkualan yrityksiä. Yritysten työntekijämäärät vaihtelevat muutamasta työntekijästä muutamiin kymmeneen. (Fonecta Oy.)

Rakennepurku M & K Oy on kokonais- ja rakennepurkua suorittava harjavaltaisen yritys. Rakennepurku palvelee Satakunnan lisäksi koko Suomen alueella. Yrityksen palveluihin kuuluvat betoni- ja rautarakenteen purkutyöt, asbestityöt, koneellisesti tehtävät piikkaukset ja käsiapiikkaukset, teollisuuspurut sekä saneeraus- ja kokonaispurut. Viimeisen tilinpäätöksen mukaan yrityksen liikevaihto oli 4,2 miljoonaa euroa ja se työllisti 15–20 työntekijää. (Fonecta Oy.)

Rakennussaneeraus Koivisto Oy on harjavaltaisen vuonna 1980 perustettu teollisuusrakennusten erikoiskunnostukseen keskittynyt yritys. Yhtiön palveluihin kuuluvat saneerausprojektit eri puolella Suomea. Teollisuusrakennusten saneerauksessa käytetään mm. BROKK-piikkausrobotteja sekä Bobcatin koneita. Yrityksen liikevaihto oli v. 2020 2,9 miljoonaa euroa ja työntekijöitä oli reilu 20. (Fonecta Oy.)

Timantti-Nieminen Oy on vuonna 1994 perustettu, raumalainen yritys. Aikaisemmalla nimellä yritys on toiminut jo vuodesta 1964 alkaen. Yrityksen pääasiallinen toimiala on timanttipuraukset ja -sahaukset. Yrityksen toimialaan kuuluvat tämän lisäksi myös purku- ja maanrakennustyöt. Yrityksen liikevaihto oli 2,3 miljoonaa euroa ja se työllisti 10 henkeä. (Fonecta Oy.)

Purkupiha Asbestityöt Pori Oy:n emoyhtiö on Purkupiha Group Oy. Purkupiha Asbestityöt Pori Oy:n toimialaa ovat erikoissaneeraustyöt, kuten asbesti-, kreosootti- ja homepurkutyöt. Yhtiö tekee purkuurakointia koko Suomessa. Asbesti- ja homepurkutöiden lisäksi palveluihin kuuluvat rakennepurut, kokonaispurkutyöt sekä piikkaustyöt. Viimeisimmän tilinpäätöksen mukaan yrityksen liikevaihto oli 2,1 miljoonaa euroa ja yrityksellä oli 9 työntekijää. (Fonecta Oy.)

Lännen Timanttipurku Oy on perustettu vuonna 2014 ja sen kotipaikka on Pori. Yrityksen pääasiallinen toimiala on purkutyöt. Viimeisin saatavilla oleva liikevaihto oli 397 000 euroa vuonna 2017 ja tilikauden tulos v. 2020 oli 79 000 euroa. Yritys on erikoistunut timanttipuraukseen ja -sahaukseen, teollisuuden vaativiin purkutöihin sekä asuin- ja liikerakennusten saneerauspurkuun. Toimialueena on pääosin Porin seutu sekä Satakunta, mutta myös muu Suomi. (Fonecta Oy.)

Purkukolmio Oy on perustettu vuonna 1997. Purkukolmion purkutoiminta on keskittynyt lähinnä Satakunnan alueelle; haitta-ainekartoituksia yritys tekee Satakunnan lisäksi Turun, Hämeenlinnan ja Tampereen seuduilla. Yrityksen liikevaihto oli 162 000 euroa. Yritys työllistää 1–4 henkilöä. (Fonecta Oy.; Purkukolmio Oy)

Porin Purku ja Saneeraus Oy on porilainen yritys, joka on erikoistunut teollisuus- ja asuinrakennusten purkamiseen. Vuonna 2020 yrityksen liikevaihto oli 115 000 euroa ja se työllisti 6 työntekijää. (Fonecta Oy.)

1.5 Purkujättemateriaalien hyödyntäminen

Tässä luvussa käsitellään purkumateriaalien hyödyntämistä nykyisin. Erityisesti keskitytään jätelajeihin, joilta lain mukaan edellytetään erilliskeräystä ja/tai joilla on kierrätyspotentiaalia. Ensin keskitytään mineraalijätteisiin, jotka ovat suurin jäteluokka. Sen jälkeen käsitellään muut jätelajit.

1.5.1 Betoni

Betoni on maailman eniten käytetty rakennusmateriaali. Betonin pääraaka-aineita ovat sementti, vesi ja kiviaines, jota on betonin tilavuudesta noin 70 prosenttia. Sementin raaka-aineita ovat luonnonmineraalit, lähinnä kalkkikivi, joka on maankuoren yleisin kivilaji. Betonin kiviaines eli ns. runkoaine koostuu erikokoista kivirakeista (murske, luonnonsora, luonnonhiekk). Runkoaineena voidaan käyttää myös murskattua betonia. Betoniresepti valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Siihen vaikuttavat haluttu betonin lujuus ja rasitusluokka, sekä muut betonilta vaaditut ominaisuudet. (Betoniteollisuus ry A.)

Betonia käytetään ympäri maailmaa erilaisten rakennusten, kuten asuinkerrostalojen, toimisto- ja liikerakennusten sekä pysäköintirakennusten runkorakenteissa. Myös suuri osa ympärillämme olevasta infrastruktuurista, kuten tierakenteet, sillat, tunnelit, rautatiet, laiturit, aallonmurtajat ja lentokentät on betonista rakennettuja. Betonin suosio rakennusmateriaalina perustuu mm. betonin hyvään saatavuuteen, edulliseen hintaan, monipuoliseen muokattavuuteen, palon- ja kosteudenkestoon sekä lujuuteen ja jäykkyyteen. Vuonna 2020 betoniteollisuuden kotimaan liikevaihto oli 1148 miljoonaa euroa, mikä on lähes kaksi kertaa enemmän kuin 2000-luvun alussa. Suurin osa liikevaihdosta tulee betonielementtien valmistuksesta. (Betoniteollisuus ry A)

Kiertotalouden kannalta betonin etuja ovat betonirakenteiden pitkäikäisyys, mikä vähentää materiaalin tarvetta sekä korjaamisessa ja purkamisessa syntyvää jätteen määrää. Lisäksi betoni on lähes kokonaan kierrätettävissä, jolloin kierrätysmateriaalilla pystytään korvamaan neitseellistä kiviainesta. Kun betonirakenteet ovat tulleet käyttöikänsä päähän, ne murskataan, ja syntyvä kierrätyskiviaines käytetään joko maarakentamisessa korvaamaan neitseellisiä kiviaineksia tai uuden betonin valmistuksen raaka-aineena. Betonirakenteet pystytään kierrättämään yli 80 prosenttisesti. Maanrakentaminen on murskatun betonin suurin käyttöalue. Betonimurske on suurin yksittäinen rakennusjätejake. Betonimursketta syntyy Suomessa vuosittain n. kaksi miljoonaa tonnia, mukaan lukien betoniteollisuuden ylijäämäbetoni. (Betoniteollisuus ry A)

Betonin ja sen raaka-aineiden valmistamiseen hyödynnetään teollisuuden sivuvirtoja kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa. Tutkimustulosten mukaan seosaineiden käyttö vähentää selvästi betonin ympäristökuormitusta. Energian kulutus pienenee jopa 50 %, kun käytetään 70 % masuunikuonaa, ja lähes 40 %, kun käytössä on lentotuhka. Betoniteollisuus käyttää tuhkaa ja kuonaa vuosittain yhteensä noin 350 000 tonnia. (Betoniteollisuus ry A)

Purkubetonia voidaan käyttää karkeasti jaoteltuna kolmella eri tavalla: kokonaisina elementteinä, betonimurskeena tai betonin uusioraaka-aineena. Kokonaisina purettuja elementtejä voidaan hyödyntää toisissa käyttökohteissa. Kokonaisten elementtien hyödyntäminen voi olla haastavaa eikä vanhoja betonirakenteita ole aina mahdollista purkaa elementtejä hajottamatta. (Betoniteollisuus ry. A)

Käyttöikänsä päässä olevat betonirakenteet ja -elementit voidaan murskata ja käyttää syntyvä kierrätyskiviaines joko maanrakentamisessa korvaamaan neitseellisiä kiviaineita tai uuden betonin valmistuksessa. Betonijätteestä hyödynnetään nykyisin 80 prosenttia ja sillä pystytään korvaamaan luonnon kiviaineita. (Betoniteollisuus ry. A.) Murskatun betonin suurin käyttöalue on maanrakentaminen, kuten tiet, kadut ja pysäköintialueet. Betonin on todettu sitovan ilman hiilidioksidia, kun kalsiumhydroksidi muuttuu takaisin kalkkikiveksi (karbonatisoituminen). Betonin murskaaminen nopeuttaa ja tehostaa betonin kykyä sitoa ilman hiilidioksidia itseensä. Kun betonimurskaa hyödynnetään esimerkiksi teiden tai pihojen kantavissa rakennekerroksissa, betoniin saadaan sidottua pitkällä aikavälillä noin puolet sen valmistuksessa syntyneistä hiilidioksidipäästöistä. (Betoniteollisuus ry B.)

1.5.2 Tiili

Tiiltä on käytetty rakentamisessa tuhansia vuosia. Tiilet valmistetaan luonnonmateriaaleista, kuten savesta, hiekasta, kalkista ja sahanpurusta. Tavallisen poltetun tiilen pääraaka-aine on savi. Savitiilen valmistusprosessissa tarvitaan yli tuhannen asteen lämpötila, mikä kuluttaa runsaasti energiaa ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. (Tiiliteollisuus.) Kalkkihiekkatiilet valmistetaan puristamalla ne muotoonsa, ja niiden valmistus kuluttaa vähemmän energiaa kuin savitiilien. (Lahti, 2019, 9). Kun tarkastellaan tiilenvalmistuksessa kuluva energia ja päästöt koko sen elinkaaren ajalta, päästöjen osuus on n. 0,04 prosenttia Suomen kokonaispäästöistä. Tähän vaikuttaa tiilen pitkäikäisyys ja huoltovapaus. Pitkäikäisyyden ja huoltovapauden lisäksi tiilen etuja rakennusmateriaalina ovat turvallisuus (tiili ei pala, lahoa eikä ruostu), hyvä lämpötila- ja kosteudenvaihtelujen sieto sekä mekaaninen kestävyys. (Tiiliteollisuus.)

1.5.3 Kipsipohjainen jäte

Kipsilevyjen pääraaka-aineet ovat kipsi, kartonki ja vesi. Kipsilevy koostuu valetusta kipsiytimestä, jota kiertää kartonki. Kipsiä saadaan luonnosta kipsikiveä louhimalla. Lisäksi kipsilevyjen valmistuksessa voidaan käyttää voimalaitoksien savukaasujen puhdistuksessa syntyvää kipsiä. Voimalaitoskipsi on itse asiassa puhtaampaa kuin luonnonkipsi ja soveltuu hyvin kipsilevyn raaka-aineeksi. Kipsilevyä käytetään yleisrakennuslevynä rakennuksien eri osissa, kuten lattioissa, seinissä ja katoissa. (Knauf Oy.)

Kipsilevyjä voidaan käyttää uudelleen, jos ne puretaan varovasti ja ne säilyvät ehjinä. Käytännössä kipsilevyt puretaan pääasiassa osina. Kankaanpäässä sijaitseva Knaufin kipsilevytehdas ottaa vastaan rakennustyömailta syntyvää puhdasta kipsilevyjätettä. Kipsilevyjäte kierrätetään ja käytetään uusissa levyissä. (Knauf Oy.) Myös Saint-Gobainin Gyproc-kipsilevyjä valmistava tehdas Kirkkonummella käyttää tuotannossaan kierrätyskipsiä. Uusien Gyproc-levyjen valmistuksessa seokseen lisätään noin viidennes puhdasta kierrätyskipsiä. Kierrätetyn kipsin lisääminen ei huononna valmistettavan levyn

ominaisuuksia, mutta vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta. (Saint-Gobain.) Kipsijätettä voidaan käyttää soveltuvin osin myös esimerkiksi maanparannusaineena. (Knauf Oy).

1.5.4 Maa- ja kiviaines

Maa- ja kiviaines koostuu rakentamisen yhteydessä irrotetuista tai kaivetuista maa- ja kallioperän aineksista, jotka koostuvat esimerkiksi pintamaasta, hiekasta, sorasta, kalliomurskeesta tai näiden sekoituksesta. Jätteeksi maa- ja kiviainekset luokitellaan silloin, kun niissä olevat haitta-aineet voivat aiheuttaa ympäristöhaittoja, jatkohyödyntäminen on epävarmaa, materiaali ei ole hyödynnettävissä ilman käsittelyä, tai jos seassa on paljon muuta materiaalia, jota ei pystytä erottamaan maa-aineksesta. (Circhubs, 2018.) Puhdasta maa- ja kiviainesta voi toimittaa jätekeskuksiin tai kuntien omille ylijäämämaiden läjitysalueille. Mikäli on syytä epäillä, että maa- tai kiviaines on pilaantunutta, on otettava yhteyttä kunnalliseen ympäristönsuojeluviranomaiseen. (Rakennusjäteopas 2018.) Rakennus- ja purkutyömaiden maa- ja kiviaineksen käyttöä edistäisi aiempaa selkeämpi lainsäädäntö maan ja kiviaineksen hyödyntämistä koskien, mikä voisi myös lisätä käyttökohteita.

1.5.5 Asfaltti

Asfaltti on kiviaineksen eli murskatun kallion sekä sideaineen eli yleensä bitumin muodostama kuumana levitettävä seos, joka jäähtyessään jähmettyy kestäväksi massaksi. Kiviaines ja sideaine valitaan kohteen mukaan. (Asfalttitieto.fi.) Asfalttipinnoitteita käytetään monessa eri käyttötarkoituksessa. Suomessa kaikki päätiät ja iso osa muuta tiestöä ovat asfalttipäällysteisiä. Asfalttia käytetään myös mm. katujen, kevyen liikenteen väylien ja erilaisten piha-alueiden päällysteenä. Asfalttipäällysteen etuja ovat pölyämättömyys, kestävyys, sileys ja alhainen melutaso. (Uusioasfaltti 2012.)

Asfaltti kierrätetään nykyisin lähes 100-prosenttisesti. Ylös kaivettu tai tienkorjauksissa jyrstetty asfaltti kuljetetaan asfalttiasemalle tai muulle vastaavalle vastaanotto paikalle. Asfalttiasemalla asfaltti murskataan asfalttirouheeksi, ja se hyödynnetään uuden asfalttimassan valmistuksessa. (uusioasfaltti) Osa käytetystä asfaltista käytetään rouheena tie- ja pohjarakentamisen materiaalina. Taloudellisesti ja ympäristön kannalta on parasta, että mahdollisimman suuri osa kierrätysasfaltista hyödynnetään asfalttituotannon raaka-aineena, jolloin materiaalin sisältämä bitumi voidaan hyödyntää kokonaan. (Uusioasfaltti, 2012.)

1.5.6 Kattohuopa

Kattohuopajätteeseen voidaan lajitella kattohuovan palaset sekä bitumikattohuoparullat. Kattohuopajätteen kierrättämisen haasteena on sen mahdollisesti sisältämä asbesti. Jos kattohuopa on peräisin 1930–1980 väliseltä ajalta, eikä asbestikartoitusta ole tehty, tai tehdyn kartoituksen mukaan jäte sisältää asbestia, kattohuopa kierrätetään asbestijätteenä. Jos asbestia ei ole, huopa kierrätetään kattohuopajätteenä. (Kiertokapula.) Käytännössä varsinkin pienissä purkukohteissa osa kattohuovasta päätyy sekalaisen rakennusjätteen mukana kaatopaikkakäsittelyyn. Kattohuopajätteen energiapoltossa syntyy paljon tuhkaa, minkä vuoksi se ei kovin hyvin sovi hyödyntämiseen energiana.

1.5.7 Lasi

Lasin valmistuksessa kuluu paljon energiaa, minkä vuoksi lasi tulisi aina kerätä erilleen. Rakennusten purkamisessa karmeineen ja puitteineen puretut lasit voidaan käyttää uudelleen. Usein lasien purkaminen ehjänä ei ole mahdollista eikä niille ole käyttöä. (Puhelinhaastattelu 3.9.2021.) Forssassa sijaitseva Uusioaines Oy kerää lasijätettä ympäri Suomen. Pakkauslasin lisäksi Uusioaines Oy käyttää uusien tuotteiden raaka-aineina myös rakennus- ja purkutyömailta kerättyä, kierrätyskelpoista tasolasijätettä (mm. ikkunat, karkaistut lasit, muut purkulasit). Puhdistetusta ja lajitellusta sirusta valmistetaan muun muassa vaahtolasia, lasivillaa, pakkauslasia tai uutta tasolasia. (Uusioaines Oy.) Kiertotalouden kannalta olennaisinta on saada lasi kerättyä huolellisesti talteen ja kierrätykseen, sen sijaan että sitä menisi esimerkiksi sekalaisen rakennusjätteen mukana kaatopaikoille.

1.5.8 Metalli

Metallijäte sopii loistavasti kierrätettäväksi, sillä metallia voidaan käyttää uudelleen lukemattomia kertoja. Hävikin osuus kierrätysprosessissa on häviävän pieni. Metallin ominaisuudet eivät myöskään heikkene kierrätysprosessin aikana. Lähes kaikki Suomessa kerättävä metallijäte päätyykin uudelleenkäyttöön. Rautaa käytetään teräksen valmistukseen ja ohutlevyjen, palkkien ja putkien valmistukseen. Ruostumaton teräs kestää vaativissakin ympäristöissä, minkä vuoksi sitä käytetään muun muassa teollisuustuotteissa ja pesukoneissa. Kuparin hyvän sähkönjohtokyvyn vuoksi sitä käytetään esimerkiksi kaapeleissa ja muissa sähkö- ja elektroniikkatuotteissa. Alumiini on materiaalina kevyt, ja se johtaa myös hyvin sähköä. Kierrätettyä alumiinia voidaan käyttää esimerkiksi sähköjohdoissa, juomatölkeissä ja lentokoneiden runkomateriaalina. (Stena Recycling Oy.)

Kerätty rauta- ja metalliromu toimitetaan jäteasemille tai yksityisille romuliikkeille. Ennen jatkokäsittelyä metallijäte puhdistetaan liasta ja ylimääräisistä aineista. Tämän jälkeen metalli yleensä murskataan ja sulatetaan. Näin saadaan eroteltua metallilaadut toisistaan. Erottelun jälkeen metallit toimitetaan raaka-aineeksi. Osa erotellusta metallista ja metalliromusta toimitetaan ulkomaille jatkojalostukseen. Suomeen myös tuodaan metalliromua ulkomailta. Suomessa metalliromun keräys on organisoitu hyvin, joten on pitkälti lajitellijoista ja kierrättäjistä kiinni, päätyykö metalli takaisin kiertoon. (Biolaitosyhdistys.com.)

1.5.9 Kyllästämättömät puujätteet

Rakennus- ja purkujätteessä on betoni- ja tiilijätteen jälkeen toiseksi eniten puujätettä. Nykyisin lähes kaikki purkutyömaiden puujäte hyödynnetään energiakäytössä eli puu poltetaan energiaksi. (Häkämies ym., 2019, 8.) Tämä johtuu siitä, että puumateriaalin uudelleenkäyttö ja kierrättäminen on haastavampaa kuin esimerkiksi metallin tai betonin. Lisäksi metsäteollisuuden sivutuotteina syntyy Suomessa runsaasti puhdasta ja hyvälaatuista puumateriaalia, jota käytetään esimerkiksi lastulevyjen ja komposiittien valmistamiseen. Purkupuulle ei olekaan Suomessa kehittynyt niin laajaa jatko hyödyntämistoimintaa kuin esimerkiksi muualla Euroopassa. Jätepuuta hyödyntäviä yrityksiä ei ole samalla tavalla kuin esim. yhdyskuntajätteen puolella. (5–9, Lahti 2019; Yle 2017 A.) Myös Eurostatin tilastojen mukaan Suomessa puujätettä kertyy selvästi yli keskiarvon. Vuonna 2018 puujätettä kertyi EU:ssa keskimäärin 110 kiloa asukasta kohden. Suomessa vastaava luku on 793 kg/asukas ja esimerkiksi Ruotsissa vain 189 kg/asukas. (Eurostat.)

Puujäte voidaan jakaa karkeasti kolmeen jättejakeeseen: kyllästetty puu (vaarallinen jäte), käsittelemätön puujäte (runkotavara, kattotuolit, käsittelemättömät laudat) sekä käsitelty puujäte (maalatut ja pinnoitetut laudat ja levyt, vanerit, lastulevyt, liimapuu jne.) Kyllästetty puu luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi ja se hyödynnetään tällä hetkellä pääosin energiana. (Kestopuuteollisuus ry.) Puun uudelleenkäytön ja materiaalikierrätyksen näkökulmasta potentiaalisin puujäte on käsittelemätön puujäte. Käsittelemätön puujäte on tasalaatuisempaa kuin muu puujäte, eikä se sisällä maaleja, liimoja tai muita kemikaaleja. (Häkämies ym., 2019, 25). Puujätteen hyödyntämisen haasteena ovat puujättejakeen monimuotoisuus (laudat, puurunkotavara, puulevyt jne.), erilaiset pintakäsittelyt, kosteusvauriot ja vaihteleva laatu (likaisuus, naulat, betonijäämät ym.) (Häkämies ym., 2019, 2.)

1.5.10 Muovijäte

Muoveja käytetään kaikkialla ympärillämme vaatteista teollisuuden työkoneisiin. Alkujaan muovit ovat olleet biopohjaisia ja ne on kehitetty mm. korvaamaan kallista norsunluuta. Lopulta muoveja alettiin kuitenkin valmistaa öljystä, koska sitä oli reilusti saatavilla ja muovin jalostaminen siitä oli helppoa ja edullista. (Biomuoviopas 2020.) Nykyään maailman raakaöljyn kulutuksesta n. 4–6 % käytetään muovituotteiden tuotantoon. Muoveja valmistetaan raakaöljyn tuotannon yhteydessä syntyvistä hiilivedyistä eli monomeereistä polymeerimalla eli liittämällä niitä yhteen. Erilaisia muovilaatuja on suuri määrä. Valtamuoveihin kuuluvat polyeteeni PE (eri laatuksena) n. 30 %, polypropeeni PP n. 20 %, polyvinyylidikloridi PVC n. 10 %, polyeteenitereftalaatti PET n. 7 % ja polystyreeni PS n. 7 %, jotka kattavat noin 75 prosenttia kaikesta muovin tuotannosta. (Plasthouse.) Muovin etuja rakentamisen materiaalina ovat kestävyys, resurssitehokkuus, muokattavuus ja keveys. Muovilla voidaan myös korvata muita materiaaleja, kuten metallia ja lasia. (Muoviteollisuus ry.)

Muovipakkausten tuottajalla (tuotteen pakkaaja tai pakatun tuotteen maahantuoja) on jätelakiin perustuva tuottajavastuu pakkauksestaan. Tuottajavastuuseen kuuluvat esim. veloitusettoman vastaanoton järjestäminen kuluttaja- ja yrityspakkauksille. Uusien EU:n jätedirektiivissä asetettujen tavoitteiden mukaisesti muovipakkausten kierrätysaste tulisi nostaa 55 prosenttiin vuoteen 2025 mennessä. (Ympäristöministeriö 2020.) Eurostatin mukaan muovijätettä kertyi v. 2018 Euroopan unionin alueella keskimäärin 39 kg/asukas. Suomessa vastaava luku on 22 kiloa muovijätettä asukasta kohden.

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa tehdyssä sekalaisen rakennusjätteen koostumustutkimuksessa muovien osuus rakennustyömaan jätteistä oli noin 18 prosenttia. Kovamuovin osuus muovijätteestä oli 72 prosenttia, kalvomuovin 22 prosenttia ja PVC-muovin 6 prosenttia. (Liikanen ym., 2018). Karelia-ammattikorkeakoulun rakennusjätekoostumuksen tutkimuksessa huomionarvoista on, että riippumatta siitä, oliko kysymyksessä uudiskohte vai saneerauskohde, muovin osuus sekalaisesta rakennusjätteestä oli lähes yhtä suuri, uudiskohteessa 10,5 prosenttia ja saneerauskohhteessa 8,7 prosenttia. Myös jakauma eri muovijakeiden kesken oli samankaltainen niin uudis- kuin saneerauskohhteissa: Eniten muovin joukossa oli kalvomuovia (85–92 %), toiseksi eniten PVC-muovia (5–8 %) ja vähiten kovamuovia (3–7 %). (Paukkunen.) Karelia-AMK:n tutkimuksen tulokset poikkeavat selvästi LUT:n tutkimuksesta. Karelia-AMK:n tutkimuksessa muovin määrä oli noin 50 prosenttia pienempi kuin LUT:n. LUT:n tutkimuksessa $\frac{3}{4}$ muovista oli kovamuovia, kun taas Karelia-AMK:n tutkimuksessa kovamuovin osuus jäi alle kymmenesosaan. Suurin osa Karelia-AMK:n tutkimuksen muovista oli kalvomuovia. Erilaisiin tutkimustuloksiin saattaa vaikuttaa mm. se,

että kummassakaan tutkimuksessa ei ole tietoa siitä, kuinka tarkasti rakennusjätettä on lajiteltu jo etukäteen rakennustyömailla.

Opinnäytetyössä (Kinnunen & Kupiainen, 2019) tutkittiin muovijätevirtoja Joensuussa sijaitsevalla rakennustyömaalla. Tutkimusaineistona käytettiin rakennustyömaan muovipuristimen sisältöä, joita kerättiin kahtena otoksena. Molemmat tutkimusjaksot kestivät n. 2 kuukautta ja suoritettiin peräjälkeen. Tulosten perusteella 89–98 prosenttia tutkimusaineistosta oli muovijätepuristimeen kelpaavaa materiaalia. Suurin osa tästä materiaalista oli kalvomuovia. Tulosten mukaan lajittelu työmaalla parani toisessa otoksessa, mikä saattaa kertoa tiedonjakamisen merkityksestä lajittelua tehostettaessa. Tutkimuksessa suoritettujen ympäristövaikutuslaskelmien mukaan muovien kierrätyksellä voidaan välttää n. 50 prosenttia elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä ja polttamalla n. 25 prosenttia.

Suomessa on useita muovia käsitteleviä laitoksia, joiden toiminta perustuu pääosin muovin mekaaniseen kierrätykseen. Lajiteltu muovi pestään ja puhtaat muovilaadut murskataan tai silputaan, granuloidaan ja ohjataan kierrätysmuovituotteiden valmistukseen (Suomen Uusiomuovi Oy.) Uusimpia tai viimeksi laajennettuja muovinkierrätyslaitoksia ovat Fortumin muovijalostamo Riihimäellä, Lassila & Tikanojan muovijalostamot Merikarvialla ja Porissa, Clean Plastic Finland Oy:n muovijalostamo Merikarvialla ja Remeo Oy:n materiaalinlajittelulaitos Vantaalla. Fortumin Riihimäellä sijaitseva muovijalostamo on ainoa kuluttajapakkauksia kierrättävä laitos Suomessa. (17, Ympäristöministeriö, 2020).

Satakunnan alueen laitoksista Lassila & Tikanojan Merikarvian muovinkierrätyslaitos vastaanottaa ja jalostaa teollisuuden ylijäämä- ja hylkymuoveja ja teollisuuden kuljetuslaatikoita. Tehtaalla syntyy yli sataa erilaista uusiomuovigranulaattia, jota hyödynnetään pääosin kotimaisessa teollisuudessa. Yleisimmät laitoksella käsiteltävät muovijakeet ovat PE- ja PP-muovit. Kierrätyslaitoksen vuonna 2019 käyttöönottama jätemuovin käsittelylinjasto vastaa osaltaan muovin tehokkaan kierrättämisen haasteisiin. Uuden käsittelylinjaston avulla laitoksella pystytään käsittelemään entistä likaisempia muoveja ja haasteellisempia muovilaatuja. Tätä kautta saadaan entistä enemmän muovia uusiokäyttöön. Merikarvian laitoksen muovinkäsittelykapasiteetti on noin 20 000 tonnia vuodessa. (Lassila & Tikanoja.)

Toinen L&T:n Satakunnassa sijaitsevista muovijalostamoista on pienemmän kapasiteetin muovijalostamo Porissa. Porin jalostamolla vastaanotetaan pääasiassa kalvomuovia. Merikarvialla sijaitseva Clean Plastic Finland Oy:n (CPF) muovijätteen kierrätyslaitos vastaanottaa maatalouden, kaupan ja teollisuuden lajiteltua kalvomuovijätettä. Muovijakeet murskataan, pestään, sulatetaan ja granuloidaan muoviteollisuuden käyttöön. Laitos on aloittanut toimintansa vuonna 2020. (Ympäristöministeriö, 2020, 18).

1.5.11 Paperi- ja kartonkijäte

Kuiva ja puhdas paperi- ja kartonkijäte voidaan lajitella normaalisti paperi- ja kartonkijätteeksi. Purkutyömaan likaantuneet pahvit ja paperit hyödynnetään pääosin energiana (Rakennusjäteopas 2018; puhelinhaastattelu 3.9.2021). Tutkittaessa sekalaista rakennusjätettä on todettu, että likaantuneita pahveja ja papereita päätyy myös jonkin verran sekalaisen rakennusjätteen mukana kaatopaikoille.

2 Purkualan kiertotalouden kehittämistarpeet

Kiertotaloudessa pyritään maksimoimaan tuotteiden, osien ja materiaalien sekä niihin sitoutuneen arvon kiertäminen ja pysyminen taloudessa mahdollisimman pitkään. Kun käyttöön otetut materiaalit ja tavarat pysyvät käytössä pidempään, tarvitaan vähemmän energiaa ja neitseellisiä materiaaleja uusien materiaalien ja tavaroiden valmistamiseen. Tällä tavoin syntyy myös mahdollisimman vähän jätettä. Materiaalitehokkuudesta seuraa ympäristö- ja ilmastohyötyjä, joiden avulla voidaan taata kestävä kasvu. Kiertotalous mahdollistaa Suomelle myös taloudellisia ja sosiaalisia mahdollisuuksia mm. uusien työpaikkojen kautta. (Sitra, 2016.)

Maailman ensimmäinen kiertotalouden kansallinen tiekartta valmisteltiin Suomessa Sitran johdolla vuonna 2016. Tiekartassa on määritelty tavoitteet ja toimet viidelle painopistealueelle: kestävä ruokajärjestelmä, metsäperäiset kierrot, tekniset kierrot, liikkuminen ja logistiikka sekä yhteiset toimenpiteet. Tiekartan valmistelussa ohjaavana ajatuksena on ollut muodostaa kiertotaloudesta Suomen taloudellisen kasvun ja investointien moottori. Sitran arvion mukaan kiertotalous tarjoaa Suomessa arvioiden mukaan 2–3 miljardin euron vuotuisen arvopotentiaalin vuoteen 2030 mennessä. Päämääränä on, että Suomi rakentaa kilpailukykyään käyttämällä materiaaleja kestävästi. Tämä tarkoittaa, että neitseellisiä raaka-aineita käytetään mahdollisimman vähän, materiaalien ja tuotteiden elinkaaret ovat mahdollisimman pitkiä, ja tuotteet ovat monikäyttöisiä sekä uudelleenkäytettäviä. mahdollisimman pitkiä sekä hyödynnetään uudelleenkäytön mahdollisuuksia. (Sitra, 2016.)

Kiertotalouden tiekarttaa päivitettiin vuonna 2019, jolloin julkaistiin Kriittinen Siirto – Kiertotalouden tiekartta 2.0 (Sitra). Päivitetyn tiekartan mukaan Suomen kiertotalouden toteutuminen tiivistyy neljään strategiseen tavoitteeseen:

1. Kilpailukyvyyn ja elinvoiman perusta uusiksi. Tavoitteena on kehittää taloutta niin, että kilpailukyvyyn ja talouden kasvustrategian keskiössä ovat erilaiset kiertotalouden ratkaisut.
2. Vähähiiliseen energiaan siirtyminen. Käytetyn energian tulee olla kestävästi tuotettu, uusiutuvaa ja vähähiilistä. Lisäksi energian käyttöä on tehostettava.
3. Luonnonvaroihin suhtaudutaan niukkuutena. Keskeisiä keinoja ovat materiaalien tehokas kierto, tuotteiden materiaalitehokkuus ja kiertotalouden liiketoimintamallien hyödyntäminen.
4. Arjen päätöksistä käyttövoimaa muutokselle. Suomen ilmastopäästöistä lähes 70 % on kytköksissä asumiseen, liikkumiseen ja ruokaan. Suomalaisten nykyelintavat vaativat lähes neljä maapallollista luonnonvaroa.

Rakennus- ja purkualalla käsitellään vuosittain merkittäviä määriä raaka-aineita ja materiaaleja. Oikein toteutetulla purkutyöllä onkin kiertotalouden kannalta keskeinen rooli. (Rakennusteollisuus RT ry.) Rakennetun ympäristön näkökulmasta katsottuna kiertotaloutta voidaan edistää hyödyntämällä entistä tehokkaammin jo olemassa olevaa rakennus- ja infrastruktuurikantaa. Uuden rakentamisessa on huomioitava rakennusten muunneltavuus, korjattavuus ja purettavuus sekä kierrätysmateriaalien käyttö rakennuksen koko elinkaaren aikana. Elinkaaren lopussa purkumateriaalin lajittelua ja

hyötykäytön mahdollisuuksia tulisi tehostaa nykyisestä. Jos kiertotaloutta halutaan edistää, täytyy rakennetun ympäristön tiedon hallintaa parantaa. Kun on tiedossa, mitä materiaaleja rakennettu ympäristö sisältää, voidaan materiaalien kiertoa suunnitella ennakkoon. (Rakli ry.)

Ympäristöministeriössä on laadittu kolme opasta purkuhankkeiden laadun parantamiseksi ja rakennus- ja purkumateriaalin hyödyntämisen lisäämiseksi. Oppailla on tarkoitus vauhdittaa alan kiertotaloutta ja ilmastotyötä. *Purkutyöt – opas teettäjälle ja tekijälle* -oppaassa kuvataan koko hallittu purkuprosessi ja eri toimijoiden vastuut. *Purkukartoitus – opas laatijalle* opastaa purettavan rakennuksen inventoinnin laatimisessa ennen purkua. Kartoituksen tarkoituksena on edistää purkumateriaalien hyödyntämistä ja laadukasta purkuprosessia. Purkukartoituksen tukena on lomake, jolla voidaan raportoida muun muassa purettavan rakennuksen haitalliset aineet ja uudelleenkäytettävät rakennusosat. *Kiertotalous purkuhankkeissa – opas julkisiin hankintoihin* -oppaassa on kuvattu hankintakriteerit, joiden avulla korjaus- ja purkuhankkeissa voidaan tehostaa kiertotaloutta ja parantaa materiaalitehokkuutta. Näiden lisäksi on annettu materiaalikohtaisia kriteerejä. (Ymparisto.fi.)

2.1 Purkutyömaiden jätelajien kiertotalouden kehittämistarpeet

2.1.1 Betoni

Betonin käyttö rakennusmateriaalina kiihtyy yhtä matkaa ihmisten elintason nousun kanssa. Betonin on sanottukin olevan veden jälkeen maailman toiseksi käytetyin materiaali. Betoniteollisuuden toimitusjohtajan Jussi Mattilan mukaan esimerkiksi Kiinassa rakennetaan Suomen koko rakennuskannan verran lisää joka kuukausi. (Yle 2017 B.) Samaan aikaan rakennuksia myös puretaan kiihtyvällä vauhdilla (Yle, 2019).

Kiertotalouden näkökulmasta ja etusijajärjestyksen mukaisesti purkubetonia tulisi tulevaisuudessa hyödyntää maanrakentamisen sijaan yhä enemmän raaka-aineena, esimerkiksi uusien betonituotteiden materiaalina. Kun betonin valmistuksessa kierrätetyn betonimurskeen osuus on korkeintaan noin 20 % kiviaineksen kokonaismäärästä, säilyvät betonin ominaisuudet lähes samoina kuin neitseellisillä kiviaineksilla valmistettuna. Uusiokiviaineksen käyttö betonissa voi alentaa lujuuksia ja aiheuttaa tiettyjen ominaisuuksien heikkenemistä. Tutkimusten mukaan valmistustekniikkaa kehittämällä voidaan uusiobetonin ominaisuuksia merkittävästi parantaa, ilman tarvetta lisätä sementtiä. Edelleen tarvitaan lisää yhteistyötä ja kehitystyötä eri sidosryhmien, kuten viranomaisten, suunnittelijoiden, betonivalmistajien ja purkualan yritysten välillä, jotta saavutettaisiin riittävän tehokas prosessi betonimurskeen järjestelmälliseen hyödyntämiseen betonivalmistuksessa. Purkujätteen ja sitä kautta uusiokiviaineksen laatuluokittelu lisää mahdollisuuksia hyödyntää uusiokiviainesta myös korkeamman vaatimustason betonien valmistuksessa. (Nieminen, 2015.) Kiertotalouden kannalta huonoin vaihtoehto betonijätteen käsittelylle on sen sijoittaminen kaatopaikalle tai käyttäminen sellaiseen maarakentamiseen, mitä ei katsota jätelain mukaiseksi jätteen hyödyntämiseksi (Kuittinen, 2019).

Betonin kohdalla erityisesti sementin valmistus tuottaa isoja hiilidioksidipäästöjä, arvioiden mukaan jopa 5–8 prosenttia kaikista maailman hiilidioksidipäästöistä. Vertailun vuoksi, esimerkiksi paljon päästöjensä vuoksi esillä ollut lentoliikenteen osuus on tätä pienempi, noin 2 prosenttia. (Lentovero). Suomessa sementinvalmistuksen kasvihuonekaasupäästöt ovat keskimääräistä pienemmät, n. 1,5 prosenttia kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Tämä johtuu mm. siitä, että Suomessa sementin valmistuksessa käytetään enenevässä määrin fossiilisia polttoaineita korvaavia energialähteitä, kuten autonrengasmurskettä ja pakkausjätettä. Lisäksi polttouunien energiatehokkuutta on saatu parannettua. (Betoniteollisuus ry; Finnsementti Oy.)

Sementin valmistuksessa päästöjä syntyy niin kalkkikiven polton kuluttamasta energiasta, kun kalkkikivestä polttamisen yhteydessä irtoavasta hiilidioksidista (Rakentaja.fi). Kalkkikiveen sitoutunut hiilidioksidi vapautuu ilmaan, kun kalkkikiveä poltetaan yli 1400 asteessa. Poltosta jää jäljelle klinkkeriä, joka jauhetaan yhdessä apuaineiden kanssa sementiksi. (Yle 2020 B.) Betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on haettu keinoja korvata sementtiä. Betonin ja sen raaka-aineiden valmistamisessa on jo vuosikymmeniä hyödynnetty teollisuuden sivuvirtoja, kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa, alun perin kylläkin lähinnä kustannussyistä. Tutkimustulosten mukaan seosaineita käyttämällä voidaan vähentää merkittävästi myös betonin ympäristökuormitusta. Betoninvalmistuksen kokonaisenergian kulutus pienenee jopa 50 %, kun käytetään 70 % masuunikuonaa ja lähes 40 %, kun käytetään lentotuhkaa. Betoniteollisuudessa käytetään tuuhkaa ja kuonaa noin 350 000 tonnia vuosittain. (Betoniteollisuus ry A.)

Syksyllä 2021 tuli markkinoille Finnsementin ja Ruduksen yhteistyönä kehitetty betoni, jonka raaka-aineena on uusi, ympäristöystävällisempi ja vähäpäästöisempi Kolmossementti. Vähäpäästöisemmän sementin yhtenä raaka-aineena toimii teollisuuden sivutuotteena syntynyt kuona, joka korvaa klinkkeriä seosaineena. Kolmossementissä kuonan osuus sementistä on merkittävä, n. 40–45 prosenttia. (Finnsementti Oy.) Ruduksen kehittämä Vihreä betoni on ollut markkinoilla jo yli vuosikymmenen ajan. Vihreän betonin valmistuksessa hyödynnetään myös teollisuuden sivuvirtoja, kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa. Sen ympäristökuormitus on tuotteesta riippuen 20–60 prosenttia pienempi kuin vastaavalla perinteisellä betonilla, ja sillä saavutetaan sama tai korkeampi loppulujuus perinteiseen betoniin verrattuna. (Rudus.) Suomalainen rakennusmateriaaliteknologian yritys Betolar on kehittänyt sementtiä korvaamaan Geoprime-innovaation. Geoprime-teknologia hyödyntää mm. energia-, teräs- paperi-, sellu ja kaivosteollisuuden sivuvirtoja. Tuloksena on jopa täysin sementittömät tuotteet, joiden kestävyys ja kantavuus vastaavat perinteisiä betonituotteita, mutta joiden hiilijalanjälki on parhaimmillaan n. 80 prosenttia pienempi. (Betolar Oy.)

Sementin korvaamisessa hyviä tuloksia on saatu myös geopolymeereillä. Geopolymeerit ovat kemiallisesti toisiinsa sidottavia mineraalipohjaisia aineita, joiden koostumusta voidaan säätää tarvittavan betonityypin mukaan. Yhtenä esimerkkinä geopolymeerien käytöstä on taipuva betoni. Taipuvan betonin valmistuksessa käytetään synteettisiä polymeereja ja lentotuhkaa sementin sijaan. Geopolymeerien valmistus vaatii murto-osan perinteisen sementin valmistukseen tarvittavasta energiasta. Tutkimuksissa polymeerien ja lentotuhkan yhdistelmällä on saavutettu n. 400 kertaa normaalia joustavampaa betonia. Yhtenä taipuvan betonin käyttökohteena voisi toimia esimerkiksi maanjäristysalueet. (Rakentaja.fi.)

Kuitubetoni on yksi tapa parantaa betonin käytön monipuolisuutta. Lisäämällä betoniin teräs- ja muovikuituja parannetaan betonin taipuisuutta ja lujuutta. Kuitujen lisääminen betoniin voi tuoda säästöjä esimerkiksi teräskuitubetonin kohdalla, sillä teräskuitubetonia voi käyttää ilman perinteistä teräsraudoitusta. Näin säästyään teräsverkkojen kuljettamiselta, varastoimiselta ja asentamiselta. (Rakentaja.fi.)

Hamppubetonin (hemcrete) käyttö on vielä kehitysasteella, mutta hyödyt voivat nostaa sen suosiota tulevaisuudessa. Hamppubetonin rakenteeseen kuuluu kolme pääraaka-ainetta: hamppupäistäre (kuituosa), kalkkikivijauhe (liima) ja vesi (yhdistävä tekijä). Rakenteeltaan hamppubetoni muistuttaa läheisesti betonin rakennetta. Veden kuivuessa pois jäljelle jää ajan myötä kovettuva ja vahvistuva rakenne. Hamppubetonin hyviä puolia ovat hyvä eristävyys, höyrynläpäisevyys, antibakteerinen materiaali sekä kalkkiseoksen kanssa yhdistettynä palonkestävyys. Tietysti hampun käyttö on myös ekologisesti kestävä, sillä hamppu sitoo itseensä hiilidioksidia jo kasvuajanaan. Hamppubetonin haasteena on, että se kestää heikosti kulutusta, minkä vuoksi se sopiikin käytettäväksi paremmin seinä- kuin lattiarakenteena. (Rakentaja.fi.)

Yksi betoni-innovaatio ovat titaanioksidilla päällystetyt betonilaatat ja -kivet, jotka tutkimusten mukaan vähentävät haitallisen typpioksidin määrää ilmassa. Suomessa laattoja valmistaa Betonilaatta Oy, ja niitä on käytetty esimerkiksi Porissa kauppakeskus Puuvillan edustalla. Titaanidioksidi reagoi auringon uv-säteilyn kanssa ja sitoo ilman typpioksidia betonilaattaan vaarattomaksi yhdisteeksi, joka huuhtoutuu sadeveden mukana pois. (Simola, 2015.)

Ympäristöministeriö lähetti 15.10.2021 EU-komission ennakkonotifiointimenettelyyn asetusluonnoksen koskien arviointiperusteita, joilla rakentamisessa käytetty murskattu betoni lakkaisi olemasta jätettä ja se määriteltäisiin tuotteeksi (End of Waste -menettely). Tällöin materiaalia voitaisiin käyttää asetuksessa määriteltyihin käyttötarkoituksiin kuten vastaavaa uutta tuotetta. Materiaalien jätteen luokittelun päätyminen on nykyisin liian monimutkaista ja siihen kaivataan selkeyttä. Paine on kova, sillä toisaalta, materiaaleja pitäisi saada uusiokäyttöön, mutta samalla on varmistettava, että uusiotuotteet ovat riittävän turvallisia. Uusiomateriaalien tuotteistamista ja sen haasteita pohditaan parhaillaan ympäristöministeriön asettamassa työryhmässä. (Ympäristöministeriö, 2021.)

2.1.2 Tiili

Tiilen valmistuksessa voidaan hyödyntää raaka-aineena teollisuuden sivutuotteita, kuten masuunikuonaa ja keramiikkateollisuuden hylkytuotteita, ja korvata näin neitseellisiä raaka-aineita. Tiiliä voidaan käyttää uudelleen kokonaisina puhdistamalla purettavista rakennuksista saatavia tiiliä ja käyttämällä niitä edelleen uudessa kohteessa muuraukseen. (Tiiliteollisuus.) Puhdistus on tehtävä pääosin käsin, minkä vuoksi se on hidasta. Tämä jarruttaa tiilien käyttöä uudelleen. (Lahti, 2019.) Purettuja tiiliä voidaan myös murskata ja käyttää uudelleen korvaamaan hiekkaa ja savimassaa uusien tiilien raaka-aineena. Tiiliä voidaan käyttää myös maantäyttöaineena ja murskattuna esimerkiksi tenniskenttien pintamateriaalina. (Tiiliteollisuus.) Purettu tiilet kerätään usein käytännössä yhteen betonijätteen kanssa. Murskattua betoni-tiili -seosta voidaan hyödyntää maanrakentamisessa. (Lahti, 2019.) Esimerkiksi Peittoon Kierrätysterminaali on määritellyt, että betonia ja tiiltä sisältävä jätekuorma saa sisältää tiiltä enintään 20 prosenttia. Mitä puhtaampaa ja paremmin esikäsiteltyä jäte

on, sitä halvempaa on sen kierrättäminen. Pienikokoisen betonimurskeen ja tiilimurskeen kierrättäminen erikseen jaoteltuina maksavat Peittoon Kierrätysterminalissa noin 5–7 euroa/tonni, kun taas sekalainen, sekä betonista että tiilestä koostuvan jätekuorman käsittely maksaa 20 euroa tonnilta. (Hinnasto Peittoon Kierrätysterminali Oy)

Tanskalainen Gamle Mursten on kehittänyt tiilien uudelleenkäytön lisäämiseksi laitteen, jonka avulla purkutiilet puhdistetaan patentoidulla värinapohjaisella menetelmällä. Yrityksen mukaan yhden tiilen uudelleenkäyttö säästää 0,5 kiloa hiilidioksidipäästöjä (Gamle Mursten.)

2.1.3 Kipsipohjainen jäte

Purkutyömaan kipsijätteen kierrättämisen haasteena on purkukipsin sisältämät epäpuhtaudet ja muut ainesosat. Sekä Knaufin tehtaan että Gyprocin kipsilevyjen tuotannossa pystytään käyttämään vain puhdasta kierrätyskipsiä esimerkiksi uudisrakentamisesta tai talotehtailta. Tältä osin käsittelylaitteisto vaatisi kehittämistä. Epäpuhtaan kipsijätteen käsittelyn ja kierrättämisen edelläkävijä Pohjoismaissa on tanskalainen Gypsum Recycling International A/S. Yhtiö kerää kipsijätettä isoihin kontteihin ja kuljettaa sen sitten varastohalliin. Hallissa kipsijäte murskataan ja käsitellään patentoidulla ja liikuteltavalla käsittelylaitteistolla (Recycling Unit). Käsittelylaitteisto erottelee kipsijätteestä kartonkikuidut ja muut epäpuhtaudet, joten sillä voidaan käsitellä myös esimerkiksi maalia, tapetteja ja ruuveja sisältävää kipsijätettä. Lopputuloksena on 99-prosenttisen puhtas kipsijauhe, jota voidaan käyttää sellaisenaan uusien kipsilevyjen raaka-aineena. Uuden kipsilevyn raaka-aine voidaan korvata 25-prosenttisesti kierrätetyllä kipsipulverilla. (Saarinen, 2013, 6). Gypsum Recycling International A/S on käsitellyt mm. Espoon Ämmänsuon ekoteollisuuskeskukseen varastoitavaa kipsijätettä (Uusiouutiset, 2014).

Vaikka kipsijäte on periaatteessa kierrätettävissä uusien kipsilevyjen raaka-aineeksi lähes kokonaan, haasteena on kipsilevyjätteen keräyksen järjestäminen. Kipsijäte vaatii erilliskeräyksen, jossa se pysyy kuivana. Lisäksi kipsijätteen keräysverkosto ei ole nykyisellään riittävän tehokas ja kattava. (Lahti, 2019, 17). Puhelinhaastattelussa Porin kaupungin jäteneuvojalla ei ollut tietoa, kerätäänkö kipsiä erillisenä Satakunnassa (puhelinhaastattelu 3.9.2021). Käytännössä edelleen osa kipsilevyjätteestä päätyy kaatopaikalle tai polttoon. Kaatopaikalla kipsi voi nostaa maan sulfaattipitoisuutta ja aiheuttaa hajuhaittoja. Poltettaessa kipsijätteestä syntyy pääasiassa tuhkaa, joten kipsi on energiantuotantoon soveltumaton. (Lahti, 2019, 17.)

2.1.4 Asfaltti

Asfalttoinnin menetelmiä kehittämällä on pyritty yhä ympäristöystävällisempään suuntaan. Paikallasekoitusmenetelmässä (esim. Remix) vanha asfalttipäällyste lämmitetään, jonka jälkeen se jyrsitään ja joukkoon sekoitetaan uutta asfalttimassaa ja bitumia. (Peab, 2021.) Paikallasekoitusmenetelmällä myös liikenteestä aiheutuvat päästöt vähenevät.

Bitumin vaahdotusmenetelmällä ja matalalämpömenetelmällä pystytään säästämään energiaa ja vähentämään ilmastopäästöjä. Molemmissa menetelmissä voidaan myös hyödyntää kierrätysasfalttia. (NCC, 2021.) Yleisesti asfalttituotannon päästöjä voidaan vähentää siirtymällä käyttämään yhä enemmän hiilineutraaleja biopolttoaineita kaluston ja laitteiston polttoaineena. Tällä

hetkellä biopolttoaineen käytön hidasteena on verotus, joka tukee edelleen fossiilisten polttoaineiden käyttöä asfaltin valmistuksessa. Vaihtoehtona olisi kehittää verotusta pohjoismaiseen malliin biopolttoaineita tukevaksi. Esiin on noussut myös öljyn jalostuksen sivutuotteena syntyvän bitumin korvaaminen uusilla sideaineilla, mikä vaatii lisää tutkimusta sideaineiden käytettävyydestä ja turvallisuudesta. Myös asenteiden muutoksella voitaisiin mahdollisesti lisätä siirtymistä yhä vähemmän päästöjä aiheuttavampaan asfaltin valmistuksen suuntaan. Esimerkiksi energiaa säästävään matalalämpöasfalttiin ja sen käyttöön suhtaudutaan varovaisesti. (Väänänen & Thompson, 2020.)

2.1.5 Kattohuopa

Lahdessa sijaitsevassa tanskalaisen Tarpaper Recycling Finland Oy:n tuotantolaitoksessa käsitellään ympäri Suomen tullutta kattuhuopajätettä. Tarpaper murskaa patentoidulla käsittelymenetelmällä huopajätteen 0–8 mm raekoon palasiksi. Uusioraaka-aine on nimeltään BitumenMix ja se sopii asfaltin valmistukseen korvaamaan bitumia ja hiekkaa. Tarpaperin mukaan noin puolet asfalttiteollisuuden tarvitsemasta bitumista voitaisiin korvata heidän valmistamallaan uusioraaka-aineella. (Uusiouutiset, 2014.) Tuote on käynyt läpi End of Waste -menettelyn, mikä on helpottanut tuotteen saamista markkinoille. Väylävirasto on hyväksynyt Tarpaperin BitumenMix-bitumirouheen käytettäväksi asfalttimassoissa. (Tarpaper Recycling Finland Oy.) Kiertotalouden näkökulmasta Tarpaperin yritysidea säästää neitseellisiä luonnonvaroja ja vähentää bitumin tarvetta asfalttiteollisuudessa.

2.1.6 Kyllästämätön puujäte

Isoja määriä rakennus- ja purkupuujätettä ei pystytä tällä hetkellä Suomessa hyödyntämään materiaalina (Häkämies ym., 2019, 32). Yhtenä kiertotalouden kehityssuuntana on puujätteen hyödyntäminen komposiittimateriaaleissa, kuten Destaclean Oy:n puukivi ja Wimao Oy:n puumuovikomposiittituotteet. Puukiven tuotannossa puujätteestä valmistetulla hakkeella korvataan osa betonituotteiden kiviaineksesta, mikä tekee tuotteista kevyempiä. Menetelmää on käytetty esimerkiksi pihalaattojen valmistuksessa. Eri materiaalien yhdistämisessä haasteena on niiden kierrätettävyyden; materiaalien erottaminen toisistaan elinkaaren loppupäässä kierrättämistä varten. Toisaalta jättemateriaaleista valmistetut komposiittituotteet säilyttävät materiaalit ainakin yhden kierroksen lisää materiaalikierrossa. (Häkämies ym., 2019, 26.) Eräs jätepuun hyödyntämismahdollisuus on biohiilen raaka-aineena. Biohiilituotannossa hiilipitoinen kiintoaine on pyrolyysiprosessin lopputuote. (Lassilantuomi, 2020, 6.) Rakennusjätepuusta tuotetulla biohiilellä on käyttöpotentiaalia esimerkiksi betonin, sementin ja asfaltin tukiaineena. Saven, kalkin ja sementtilaastin kanssa yhdistettynä biohiiltä voidaan käyttää kipsin ja betonielementtien lisäaineena jopa 80 %:n osuuteen asti. (Lassilantuomi, 2020, 12.) Biohiilen muita käyttömahdollisuuksia ovat pinnoitteet ja eristysmateriaalit, kompostoinnin tehostaminen, vedensuodatus, kasvualustan parantaminen, viherrakentaminen ja erityisesti hiilen sidonta (Suomen biohiiliyhdistys).

Kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen ovat haaste puujätteen uudelleenkäytölle ja kierrättämiselle. Materiaalin välivarastointi ja pitkät välimatkat nostavat kierrätysmateriaalin kustannuksia. Purkupuun talteenotto, lajittelu ja kierrättäminen vaativat myös lisää työvoimaa ja osaamista, mikä omalta osaltaan nostaa myös kustannuksia. Yhdeksi isoimmaksi kompastuskiveksi puujätteen kierrätykselle nouseekin kysymys taloudellisesta kannattavuudesta. Tällä hetkellä raakapuun hinta on niin alhainen

ja metsäteollisuuden puhtaita sivuvirtoja paljon käytettävissä, että kierrätyspuun käyttö ei ole taloudellisesti kannattavaa. (Häkämies ym., 2019, 27–28.)

Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotaloutta käsitelleessä loppuraportissa (Häkämies ym., 2019, 28) esitettiin, että positiiviset mielikuvat kierrätyspuun käytöstä ja ympäristöystävällisyydestä, yhdessä yritysten hiilijalanjäljen pienentämisen kanssa, voivat luoda merkittävimmät mahdollisuudet kierrätyspuun käytölle. Kierrätyspuuhun liittyviä mielikuvia puhtaana ja trendikkäänä raaka-aineena tulisi voimistaa, mikä voisi lisätä kierrätyspuun arvostusta ja sitä kautta kysyntää.

2.1.7 Muovijäte

Maailmassa tuotetaan muovia reilusti yli 300 miljoonaa tonnia vuodessa, ja määrän ennustetaan tuplaantuvan kymmenessä vuodessa. Maailmanlaajuisesti muovista kierrätetään materiaalina vain kymmenesosa. (Granath, 2020.) Muovi on monella tapaa hyvin käyttökelpoinen materiaali, eikä sen käytön lopettaminen ainakaan tällä hetkellä ole realistista. Olennaisempaa onkin tehokkaalla kierrättämisellä pyrkiä korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita ja minimoida kierrätysprosessista syntyvät päästöt ja ympäristökuormitus.

Muovien kierrätysasteen nostaminen rakennus- ja purkutyömailla on olennaista kiertotalouden toteutumisen ja ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta (Kuittinen, 2019). Muovin kierrättämisen ja uudelleenkäyttämisen tehostamiseksi ympäristöministeriössä laadittiin syksyllä 2018 yhteistyöverkoston ja kansalaisten tuella *Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Muovitekartta Suomelle* -raportin. Muovitekartassa on lueteltu toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää muoveista aiheutuvia haittoja, pienentää muovin kulutusta ja tehostaa muovien kierrätystä. (Ympäristöministeriö, 2018). Rakennusalan vapaaehtoinen Green Deal -sopimus 2020–2027 on yksi Ympäristöministeriön julkaiseman Rakentamisen muovitekartan toimenpiteistä, osana kansallisen Muovitekartan toteutusta. Green Deal -sopimuksen taustalla on EU:n direktiivi 2018/852 pakkauksista ja pakkausjätteistä, jonka mukaan vuonna 2030 muovipakkausten kierrätysaste on nostettava 55 prosenttiin. Taustalla vaikuttaa myös jätedirektiivin muutos ja eurooppalaisen teollisuuden alulle panema Circular Plastic Alliancen aloite lisätä kierrätetyn muovin käyttöä. Sopimuksen ovat allekirjoittaneet ympäristöministeriö, Rakennusteollisuus RT ry, Suomen Kuntaliitto ry, Kemianteollisuus ry, Muoviteollisuus ry, Ympäristöteollisuus ja -palvelut YTP ry, Teknisen Kaupan liitto ry, Sähköteknisen Kaupan liitto ry ja rakennus- ja sisustustarvikekaupan liitto RASI ry. Rakennusalan Green Deal -sopimuksen päämääränä on tehostaa rakentamisessa käytettyjen kalvomuovien erilliskeräystä, lisätä uusiomuovien käyttöä sekä hillitä kalvomuovien kulutusta. (Motiva, 2021.) Kalvomuoveja käytetään mm. rakennustarvikkeiden pakkaamisessa ja sisätilojen suojaamisessa, ja ne ovat helpon talteen otettavia ja kierrätettäviä. Tavoitteena on, että vuoteen 2027 mennessä kalvomuovien raaka-aineesta 40 prosenttia on kierrätettyä kalvomuovia. (Ympäristöministeriö, 2020, 5.) Muovien syntypaikkalajittelu rakennus- tai purkutyömaalla, tai niiden erottelu jätteenkäsittelyasemalla tai -laitoksessa on edellytys sille, että niitä voidaan käyttää hyvälaatuisen kierrätysraaka-aineen tuotannossa. Kaiken kaikkiaan tehokkaampi muovien kierrättäminen vaatii rakentamisen muovien parempaa tunnistamista sekä purkukäytäntöjen, erilliskeräyksen, kierrätysjärjestelmien ja muovijätteen hyödyntämisen tehostamista. (Ympäristöministeriö, 2020.)

Purkukohteissa syntyy paljon myös sekalaista, likaista ja vaikeasti tunnistettavaa muovilaatua, mikä vaikeuttaa sen hyödyntämistä materiaalina. Rakennustyömailla syntyvä sekalainen muovijäte, kuten kovamuovit ja putket, päätyvät usein hyödynnettäväksi energiana tai sekalaisen rakennusjätteen sekaan. (Ympäristöministeriö, 2020.) Kaatopaikoista annetun valtioneuvoston asetuksen (331/2013, kaatopaikka-asetus) kiristyttyä vuonna 2016 kaatopaikalle ei ole voinut enää viedä orgaanista jätettä, mikä on entisestään lisännyt muovijätteen polttoa energiakäyttöön. Vaikka muovijätteen hyödyntäminen energiana on parempi ratkaisu kuin loppusijoitus kaatopaikalle, syntyy polttamisesta päästöjä ja tuhkaa ja materiaalin arvo uuden tuotteen raaka-aineena menetetään. VTT:n (2019) mukaan Suomessa arviolta 40–60 prosenttia erilliskerätystä muovijätteestä päätyy energiapoltoon.

Muovien uudelleenkäyttö ja kierrätys helpottuisi, jos rakennuksessa käytetyistä muoveista sekä niiden laadusta ja määrästä olisi tieto jo ennakkoon. Rakentamis- ja purkualan kalvomuvijätteen määristä tai käytöstä työmailla ei nykyisellään ole olemassa kattavaa tiedonkeruujärjestelmää. Nykytilanteessa rakennustyömailla syntyvän muovijätteen seuranta on vähäistä. Tarvetta on myös rakennusjätteen nykyistä paremmalle ja tarkoituksenmukaisemmalle raportointijärjestelmälle, mikä voisi tarkoittaa esim. sähköisiin siirtoasiakirjoihin siirtymistä. Jäteseurantatietokantojen kehittäminen tarjoaisi merkittävän mahdollisuuden rakentamisen kiertotalouden kehittämiseen. (Ympäristöministeriö, 2020.) Myös yleisissä jätetilastoissa on kehittämisen varaa. Esimerkiksi Tilastokeskuksen toimialakohtaisessa jätetaulukossa ei ole eritelty muovia jäteluokkana. Tilastokeskuksen mukaan tilastoinnissa ei ole mahdollista eritellä muovijätteitä, koska niille ei ole laadittu materiaalina eritteleviä jäteluokkia eikä jäteraportoinnissa käytettäviä jäteluokkia eritteleviä koodeja. Tilastokeskuksen mukaan muovipakkausjätteistä on saatavilla tarkempaa tietoa ympäristöhallinnon tuottajavastuu-jätteitä koskevista raportointitiedoista. (Sähköposti 25.10.2021.)

Pääosalle rakennustuotteista sovelletaan EU:n alueella rakennustuoteasetusta (305/2011/EU), jonka mukaan rakennustuotteella on oltava CE-merkintä. CE-merkinnällä ilmoitetaan tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisesti koko EU:ssa. CE-merkinnän tavoitteena on parantaa rakennustuotteiden vertailukelpoisuutta ja myymistä maasta toiseen. Nykyinen rakennustuoteasetus estää CE-merkinnän käyttämisen jo kertaalleen käytössä olleilla rakennustuotteilla, mikä vaikeuttaa purettavien rakennuksen osien uudelleenkäyttöä. (Ympäristöministeriö, 2020, 39.) Joissakin tuoteryhmissä kierrätysraaka-aineen käyttö on kielletty standardilla, koskien esim. tiettyjä muoviputkia.

Rakentamisen muovitiekartassa on tuotu esille toimia muovijätteen kiertotalouden edistämiseksi rakennusalalla. Sen mukaan, jotta valtioneuvoston asetuksella jätteiden erilliskeräyksestä olisi tehokkaampi vaikutus käytännössä, olisi asetuksen tulkintaa tiukannettava niin, että erilliskerättyä jätettä ja muovia ei enää kulkeutuisi poltettavaksi. Yhtenä syynä muovin erilliskeräyksen puuttumiselle on tilanpuute työmailla: jättejakeiden kerääminen erikseen jätelavoille vie paljon tilaa. Uusien, lupaavien teknologiaratkaisujen avulla (materiaalin tunnistus, automaattinen lajittelu, tekoälyratkaisut) on mahdollista eritellä ja saada talteen puhteita jättejakeita myös käsittelylaitoksessa. (Ympäristöministeriö, 2020, 31–32.)

Myös rakentamisen jätehuollon vastuita pitäisi selkeyttää. Tällä hetkellä voi olla epäselvää, kenen vastuulla lopulta on, että erilliskeräysvaatimus toteutuu, jätteen haltijan vai rakennusurakoitsijan. Yhtenä isona ongelmana nähdään viranomaisten resurssivaje: monen kunnan ympäristövalvonnalla ei riitä resursseja rakennusalan yritysten valvontaan ja annettavilla rakennusjäteilmoituksilla ei nykyisellään ole juurikaan informaatioarvoa. Osana kiertotalouteen kannustamista ovat taloudelliset

ohjaukskeinot, kuten jätteenpolton verottaminen ja jätteenpolton siirtäminen päästökaupan piiriin. Näin kannustettaisiin kierrätyskelpoisen muovin erottamiseen jätteestä. (Ympäristöministeriö, 2020, 32–34.)

Muovin valmistuksessa raaka-aineena voitaisiin enenevässä määrin korvata öljy uusiutuville ja kierrätettävillä materiaaleilla, kuten sellupohjaisilla kuitumateriaaleilla. Paras ratkaisu voisi olla muovien ja kuitumateriaalien rinnakkaiskäyttö niin, että hyödynnetään kumpienkin materiaalien parhaat ominaisuudet. Kierrätyksessä kuitu ja muovi voidaan nykytekniikoilla erottaa toisistaan, jolloin niitä voidaan käyttää taas uusien tuotteiden valmistamiseen. (Käyhkö, 2019.) Biopohjaisten muovien raaka-aineena voidaan selluloosan lisäksi käyttää viljaa, sokeria, tärkkelystä tai erilaisia rasvoja ja öljyjä. Biomuovien ovat erityisen hyödyllisiä sovelluksissa, joissa biohajoavuus tai kompostoitavuus lisää huomattavasti tuotteen arvoa. Biopohjaisuus on perusteltua, kun raaka-aineet voidaan tuottaa kuormittamatta ympäristöä liikaa. Biopohjaiset muovit voidaan kierrättää samaan tapaan kuin fossiilisetkin muovit. Biohajoavat muovit taas voidaan hyödyntää biokaasulaitoksissa tai teollisissa kompostoreissa, joissa ne pystytään hajottamaan. (Muoviteollisuus ry.)

Tähän asti muovin kierrätys on perustunut pääosin mekaanisiin tekniikoihin, jotka eivät sovellu kovin hyvin monimutkaisille materiaaleille. Esimerkiksi monikerroskalvojen sisältämien muovilajien erottaminen toisistaan mekaanisesti on usein mahdotonta. (Käyhkö, 2019.) Mekaaninen kierrätys aiheuttaa myös materiaalien hajoamista, ja voi johtaa materiaalin heikkenemiseen ja arvonmenetykseen. Kemiallisella kierrättämisellä tarkoitetaan muovin rakenteen hajottamista niin, että muovijäte saadaan takaisin monomeereiksi. Suomessa muovin kemiallisen kierrätyksen merkittävimpiä kehittäjiä ovat Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Neste. Kemiallisen kierrätyksen pääteknikat ovat pyrolyysi, kaasutus, depolymerointi ja solvolyyysi (ks. lisää luku 3.3 Kemiallinen erottelu) VTT:n kehitystyö perustuu termokemiallisiin hajotusmenetelmiin eli kaasutukseen ja pyrolyysiin. Näiden tekniikoiden etuna on, että ne sopivat hyvin myös eri muovilaaduista koostuvalle jättemateriaalille ja komposiittirakenteille. VTT tekee aiheesta myös kansainvälistä yhteistyötä useiden tutkimuslaitosten ja muoviklusterien kanssa. Muovin kemiallinen kierrätys on herättänyt maailmanlaajuisesti kiinnostusta ja useita kemiallisen kierrätyksen pilotointirakennuksia on rakennettu. (Granath, 2020.)

Kemiallisen kierrätyksen etuna mekaanisen kierrätykseen verrattuna on, että heikkolaatuinen ja muu hankalasti kierrätettävä muovijäte saadaan sen avulla kiertoon. Mekaanisessa kierrätyksessä muovin laatu saattaa heikentyä. Merkittävin etu on, että kierrätetyistä monomeereistä valmistettu muovi ei eroa mitenkään neitseellisestä muovimateriaalista. (Ympäristöministeriö, 2020, 10.) Kemiallinen kierrätys mahdollistaa laajamittaisen muovien kiertotalouden. Teknologia on jo olemassa, mutta sitä on vielä parannettava ja tehostettava. Kemiallisesti kierrätetty tuote ei nykyisessä tilanteessa pysty kilpailemaan hinnalla raakaöljystä valmistetun tuotteen kanssa. Lainsäädäntöä on kemialliseen kierrätykseen liittyen täsmennettävä. Tarvittaisiin harmonisoitu lainsäädäntö, jotta kierrätettyjen tuotteiden kuljetus, myynti ja prosessointi eri valtioiden välillä onnistuu. Tällä hetkellä EU:n lainsäädäntö ei tunnista muovien kemiallista kierrätystä mekaanisen rinnalla. Tämä aiheuttaa alalla epävarmuutta ja hidastaa tarvittavia investointeja (Granath, 2020.)

Kierrätysmuovien käyttökohteita Suomessa ovat mm. muovipullot, muovipussit, putket, levytuotteet ja rakennuseristeet. Kierrätysmuovia käytetään myös erilaisten komposiittimateriaalien ja -tuotteiden kehittämiseen. Komposiitilla tarkoitetaan kahden tai useamman materiaalin yhdistelmää. Rakennustyömailta kerätyllä muovikalvojäätteellä on hyötykäyttöpotentiaalia mm.

puumuovikomposiittien valmistuksessa. (Eskelinen, 2016.) Komposiittituotteiden raaka-aineena voidaan kierrätetyn muovin ja puukuidun lisäksi käyttää erilaisia kierrätys- tai uusiokuituja, kuten paperia ja kartonkia, mineraali-, tekstiili- ja lasikuitua sekä teollisuuden sivuvirtoja. Tuotteilla voidaan korvata nykyisiä muovista, puusta tai metallista valmistettuja tuotteita tai tuotteiden osia. (Greenreality.) Komposiittituotteiden haasteena on, että käytön loppupäässä eri materiaaleja ei nykyisin useinkaan pystytä erottamaan toisistaan kustannustehokkaasti. Tällöin komposiittia ei pystytä hyödyntämään materiaalina vaan se päättyy polttoon tai loppusijoitukseen. (Sitra, 2018.)

Maanrakentaminen on hyvä käyttökohde kierrätysmuoveille, sillä siinä kierrätysmateriaali ei sijoitu näkyviin, eikä niiden mahdollisista hajuista ole haittaa. Geosyntetit ovat polymeereista valmistettuja tuotteita, joita voidaan käyttää maaperän muokkauksessa. Gyosyntettejä ovat mm. geotekstiilit eli maanrakennuskankaat, ja geovahvisteet eli lujiteverkot ja -kankaat. Geosyntettien kohdalla keskustelua on herättänyt tuotteista mahdollisesti irtoavat mikromuovit ja niiden päätyminen ympäristöön (Eskelinen, 2016.)

Jätevedenpuhdistuksessa kierrätysmuovi voi toimia jäte- ja hulevesien käsittelyssä tukirakenteena tai pinnoitettuna rakenteena. Muita potentiaalisia kierrätysmuovin käyttökohteita ovat esim. kriisialueille suunnitellut kevyet ja helposti siirrettävät hätämajoitukset ja luokkatilat. Euroopassa kierrätysmuovia hyödynnetään mm. autoteollisuudessa, junaratojen ratapölkkyissä ja asfaltissa. (Eskelinen, 2016.)

Tulevaisuudessa jäteongelman yhtenä ratkaisuna voisi olla muovia syövätkä mikrobit. Luonnon ja ympäristön mukautumiskyvystä kertovan tuoreen ruotsalaisen Chalmersin teknillisen yliopiston tutkimuksen mukaan muovia hajottavien entsyymien määrä ja kirjo kasvavat sen mukaan, mitä enemmän muovijätettä on ympäristössä. Tutkimuksessa kerättiin dna-näytteitä eri puolilta maapalloa. Näytteiden perusteella löytyi yli 30 000 mikrobien tuottamaa entsyymiä, jotka pystyvät hajottamaan kymmentä eri muovityyppiä. Lähes 60 prosenttia entsyymeistä ei sopinut mihinkään tunnettuun entsyymiluokkaan, eli todennäköisesti molekyylit hajottavat muoveja tavoilla, joita ei ole aiemmin tunnettu. Luonnostaan muovi hajoaa hyvin hitaasti, esimerkiksi pet-muovipullon hajoaminen kestää 16–48 vuotta. Tutkimustulosten perusteella seuraavana askeleena olisi testata ja kehittää entsyymejä, joita voitaisiin käyttää ja kohdistaa tiettyjen polymeerityyppien hajottamiseen, ja näin valjastaa mikrobit avuksi muovijätteen hävittämisessä. (Tiede, 2022.)

2.2 Kiertotalouden kehittämisen haasteita ja ratkaisuja rakennus- ja purkualalla

Ympäristöministeriön raportissa (21/2011) on selvitetty purkujätteen hyödyntämisen esteitä ja haasteita. Raportin mukaan käytettyjen materiaalien ja rakennusosien kysyntä on heikkoa ja niistä saatava hinta alhainen. Säästävä purkamistapa vaatii enemmän tietoa, osaamista sekä työvoimaa, mikä nostaa purkamisen kustannuksia. Uudelleen käytettäville materiaaleille ja osille ei myöskään ole välttämättä saatavissa kunnan takuuta laadusta. Lisäksi säästävään purkutyöhön ja purkumateriaalien kierrättämiseen tai hyödyntämiseen keskittyviä yrityksiä on vähän, niiden kapasiteetti ja toiminta-alue on suppea, eikä niiden tarjoamia palveluja tunneta tarpeeksi hyvin. Purkutuotteiden käyttöön voi myös liittyä ennakkoluuloja ja kielteisiä asenteita, mitkä vaikuttavat halun käyttää kierrätysmateriaaleja. Myös puutteellinen lajittelu ja tilan puute työmailla hidastavat ja hankaloittavat purkujätteen hyödyntämistä.

Isona haasteena kiertotalouden edistämässä näyttäytyy lainsäädäntö. Kun esimerkiksi jätepuu poistetaan käytöstä ja se toimitetaan jätteidenkäsittelyyn, se luokitellaan jätelain mukaisesti jätteeksi. Tämä voi vaikeuttaa materiaalin uudelleen käyttöä ja kierrättämistä. Myös rakennustuotelainsäädäntö aiheuttaa haasteita. Rakennustuoteasetus vaatii CE-merkintää niin neitseellisistä kuin kierrätysraaka-aineista tehdyiltä rakennustuotteilta. Tämä hankaloittaa rakennusosien uudelleenkäyttöä ja kierrättämistä. (Häkämies ym., 2019, 2; 27.) Yhtenä keinona kiertotalouden vauhdittamiseen on etsitty ratkaisua End-of-Waste-menettelyn avulla, mikä tarkoittaa, että menettelyprosessin läpikäynyt materiaali lakkaa olemasta jätettä ja muuttuu tuotteeksi. EOW-menettelyyn kuuluu, että tuote on käynyt läpi jonkin hyödyntämistoimen, tuotteella on käyttötarkoitus ja markkinat, tuote täyttää tekniset ja tuotelain vaatimukset eikä se aiheuta vaaraa tai haittaa ympäristölle tai ihmisille. Jäteluokittelusta eroon pääseminen mahdollistaa, että materiaalia voidaan käsitellä ilman ympäristölupaa. EOW-menettelyn läpikäyneet materiaalit kilpailevat tasaveroisemmin neitseellisten materiaalien kanssa. (Ympäristöteollisuus ja -palvelut YTP ry.) Ympäristöministeriön raportissa (9/2018) on nostettu esiin mahdollisia haittavaikutuksia EOW-menettelystä. Jätteeksi luokittelun päättävän sääntelyn sivuvaikutuksena voi olla (jäte)materiaalin laittoman ja haitallisen käytön lisääntyminen. Tämän lisäksi on riski, että sääntely monimutkaistuu entisestään, kun siirrytään jättesääntelystä tuote- ja kemikaalisääntelyn piiriin.

Yhdeksi haasteeksi materiaalien hyödyntämisessä voi muodostua viranomaistyön hitaus ja kankea byrokratia, mikä saattaa pahimmillaan estää materiaalien hyödyntämisen. Näin voi käydä esimerkiksi rakennuksia purettaessa, jos luvansaanti viipyy, eikä jätettä voida varastoida purkutyömaalla pitkiä aikoja. (Ympäristöteollisuus ja -palvelut YTP ry.) Rakennus- ja purkualalla pitkään vaikuttaneen toimijan mukaan esim. MARA-asetuksen mukaisessa jätteen ympäristökelpoisuuden määrittämisessä laboratorioanalyysineen voi kulua aikaa useampi viikko. Tämä on ongelmallista purkujätteen hyödyntämisen kannalta, sillä harvalla purkutyömaalla on tilaa purkujätteen säilyttämiseen muutamaa päivää pidempään. (Haastattelu 16.9.2021.)

Kiertotalouden edistämistä ja sen ohjaamista vaikeuttaa se, ettei jätejakeiden koostumuksesta ja syntypaikoista ole riittävästi tietoa tarjolla. Työmailta ei kerätä systemaattisesti tietoja rakennus- ja purkujätteistä virallisiin tiedostoihin. Olisi tarpeen luoda valtakunnallinen jätetietojärjestelmä, johon kerättäisiin tiedot rakennus- ja purkutyömaakohtaisesti. Lisäksi hyötyä olisi jätenimikkeiden yhtenäistämisestä ja suunnitelmallisesta tietojen tilastoinnista. (Häkämies ym., 2019, 17; 21.)

2.3 Rakennus- ja purkualan yrityshaastattelut

Osana esiselvitystä haastateltiin rakennus- ja purkualalla toimivien yritysten johtoa. Haastatteluihin osallistui viisi yritystä, jotka on lueteltu liitteessä 1. Haastateltavat yritykset valittiin niin, että ne edustaisivat mahdollisimman monipuolisesti rakennus- ja purkualan toimijoita. Yritysten henkilöstömäärä vaihtelee 10–75 välillä. Osa yrityksistä toimii pääosin Satakunnan alueella, osa valtakunnallisesti sekä Pohjoismaissa ja Baltian alueella. Tässä kappaleessa tehdään yhteenveto haastatteluista esiin tulleista asioista. Esiselvitykseen osallistuvien anonymiteetin suojelemiseksi yhteenvedossa ei käytetä haastateltavien nimiä, eikä sellaisia tietoja, joista yrityksen tai haastateltavan voisi tunnistaa. Ennen haastattelujen alkua haastateltaville kerrottiin perustiedot esiselvityksestä ja sen tavoitteista, sekä kerrottiin, että tuloksissa ei tule ilmi kenenkään haastateltava

yksittäisiä sanomisia tai mielipiteitä. Haastattelut toteutettiin helmikuussa 2022. Haastattelijoina toimivat projektipäällikkö Minna Haapakoski ja tutkija Taru Kuusisto.

Osa yrityksistä käsittelee ja kuljettaa rakennus- ja purkumateriaalia, ja osalla rakennus- ja purkujättemateriaalia syntyy oman yritystoiminnan kautta. Suurimpia jätelajeja ovat kivijäte (betoni ja tiili), puujäte ja sekalainen (rakennus)jäte. Syntyvän jätteen määrä yrityksissä vaihteli huomattavasti toimialan mukaan, muutamista tonneista 100 000 tonniin vuodessa. Yrityksissä on kerätty ja lajiteltu mm. sekajätettä, energijätettä, metallia ja puujätettä, ja osassa myös muovi on kerätty erikseen.

Yrityksissä suhtaudutaan kiertotalouteen ja kierrättämiseen positiivisesti. Ympäristö- ja kierrätysasiat on otettu huomioon yhtiöiden toiminnassa, ja jätteen määrää haluttaisiin saada pienemmäksi. Osa haastateltavista kertoi, että heillä oli omat järjestelmänsä ja toimintatapansa jätteiden käsittelyyn. Eri jätelajeille oli varattu omat jäteastiat tai -lavat kierrätysohjeineen. Haastateltavien mukaan lajittelua ja kierrättämistä yrityksissä haluttaisiin edelleen mahdollisuuksien mukaan lisätä ja kehittää. Haastatteluissa nousi myös esille, että osa tilaajista ja suunnittelijoista on nykyään enenevässä määrin kiinnostunut siitä, miten yritys ottaa huomioon ympäristöasiat toiminnassaan ja tuotteissaan.

Suurimmassa osassa yrityksistä on pystytty uudelleenkäyttämään osa rakennus- ja purkumateriaaleista tai käytetyistä laitteista. Purkukohteiden käytettyjä koneita ja laitteita sekä huonekaluja on toimitettu uusiokäyttöön, ja joitakin rakennusosia on otettu talteen uudelleenkäytettäväksi. Yrityksen omissa rakennuksissa on voitu hyödyntää käytettyjä materiaaleja. Yhdessä yrityksessä materiaalivaihtoehtoina on jonkin verran kierrätysmateriaalista valmistettuja tuotteita. Kaiken kaikkien käytettyjen tuotteiden ja kierrätystuotteiden käyttäminen yrityksissä on kuitenkin melko pienimuotoista ja järjestäytymätöntä. Osa yrityksistä on murskannut itse kierrätysbetonia, ja sitä on hyödynnetty maanrakennuksessa.

Vaikka suhtautuminen kiertotalouden kehittämiseen oli yrityksissä pääosin myönteistä ja asiaa oli selvästi yrityksissä pohdittu, koettiin kiertotalouden kehittäminen myös haasteelliseksi asiaksi. Lähes kaikissa haastatteluissa nousi esiin tiedon puute koskien materiaalien uudelleenkäyttöä ja kierrättämistä. Erityisesti muovin ja lasin kierrättäminen koettiin hankalaksi ja vaivalloiseksi. Muovia ja lasia saattoikin päätyä esimerkiksi sekalaisen rakennusjätteen ja energijätteen sekaan. Kierrättämisestä kaivattaisiin lisää konkreettista tietoa ja ohjeita. Yhtenä ongelmana mainittiin työntekijöiden välinpitämätön suhtautuminen lajitteluun. Osa työntekijöistä ei lajitellut asianmukaisesti jättemateriaaleja, yritysjohton painokkaista yrityksistä ja selkeistä lajitteluohjeista huolimatta. Myös kiire vaikutti kierrätyshalukkuuteen negatiivisesti. Isona haasteena tuotteiden ja niiden osien uudelleenkäytölle tai kierrätysraaka-aineesta valmistettujen tuotteiden käytölle oli, että niitä ei joillain toimialoilla ollut mahdollista hyödyntää. Tämä saattoi johtua esimerkiksi tilaajasta, jonka vaatimuksesta kaikkien käytettävien osien oli oltava uusia. Yleisesti ottaen haastatteluissa tuli erinomaisesti esille se, että huolimatta erilaisista sääntelyistä ja sopimuksista kansainväliselläkin tasolla, yritystoiminnan ympäristövaikutusten minimoiminen harvoin on yrityksille ensisijainen asia kannattavuuteen verrattuna. Raha ratkaisee, ja olennaista olisikin mielestämme miettiä mahdollisimman konkreettisia ja käytännönläheisiä *kustannustehokkaita* toimia kiertotalouden kehittämiseksi rakennus- ja purkualoilla yhdessä alan yrittäjien kanssa.

Esiselvityksessä esitellään uudenlaista tekniikkaa hyödyntävä jäteasema. Kaikki haastateltavat suhtautuivat jäteasemaan myönteisesti, ja se koettiin kiinnostavana ja tarpeellisena. Haastatteluissa nousi esiin, että tarvetta olisi jätelaitokselle, joka ottaisi vastaan monenlaisia eri jätelajeita sisältäviä

jäte-eriä. Näin yritykset saisivat jätteet käsittelyyn nopeammin ja yksinkertaisemmin, ja lajitellut jätejakeet saataisiin tehokkaasti jatkokäyttöön. Muutamassa yrityksessä oli haastattelujen mukaan aktiivisesti pohdittu, miten omaa lajitteluaan voisi tehostaa, esim. pienen lajitellulinjaston avulla. Haastatteluissa nostettiin myös esiin, että kuljetuskustannukset nousevat koko ajan, joten olisi hyvä, että kierrätysmateriaalia tarvitsisi kuljettaa mahdollisimman vähän paikasta toiseen.

3 Purkumateriaalien uudenlainen lajittelu teknologian keinoin

Jättemateriaalin uusiokäytön edellytyksenä on asianmukainen lajittelu. Kun jätteet lajitellaan heti syntyvaiheessa, eri jättejakeet on helpointa erottaa toisistaan, ja kerättävä jättejake on mahdollisimman homogeenistä. Syntypaikkalajittelun haasteena rakennus- ja purkutyömailla on usein tilanpuute, sillä jätettä syntyy runsaasti ja huolellinen syntypaikkalajittelu vaatii useita keräysastioita ja -lavoja (haastattelu 25.8.2021). Purkutyömailla syntyy myös runsaasti sekalaista jätettä, jonka erottelu on hankalaa ja työlästä. Syntypaikkalajittelun ohella tai sitä täydentävänä vaihtoehtona on kerätä jätteet samalle lavalle ja lajitella ne vasta lajitteluasemalla. Näin saadaan säästettyä työmaalla aikaa ja tilaa, sekä vähennettyä työmaakoneiden ja kuljetuskaluston käytöstä ja kuljetuksista aiheutuvia päästöjä ja kuluja. (Delete.)

Jäteasemalla tai jätteidenkäsittelylaitoksella jätteiden erotteluun voidaan käyttää erilaisia automatisoituja, teknisiä menetelmiä, kuten mekaanista ja optista lajittelua. Erilaiset menetelmiä käytetään usein täydentämään toisiaan. Jätteiden erottelu jätteidenkäsittelylinjastoilla tai jätteidenkäsittelylaitoksella vaatii jätteen esikäsittelyä. Esikäsittelyssä jäte murskataan, jotta materiaalista saadaan tasakokoista ja mahdollisimman helposti käsiteltävää. (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy.) Erilaisia murskaimia on käyttötarkoituksen mukaan monenlaisia, kuten repijämurskaimia, vasamyllyjä ja leukamurskaimia. (Christensen, 2011, viitattu lähteessä Sihvola, 2016, 32.)

3.1 Mekaaninen erottelu

Mekaanisissa erottimissa lajittelu perustuu materiaalin kokoon, muotoon tai fysikaalisiin ominaisuuksiin (esim. massa, tilavuus). Erilaiset seulat ovat paljon käytettyjä mekaanisia erottimia, joissa jättemateriaalin erottelu perustuu jätteepartikkelien kokoon (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy.) Seulat erottelevat jätteitä seulojen pinnassa olevien aukkojen avulla. Aukon koko määrittelee syntyvien jätevirtojen koostumuksen. Seulan yli kulkeva jäte on ylitettä ja seulan läpi mennyttä jätettä kutsutaan alitteeksi. (Christensen, 2011, viitattu lähteessä Sihvola, 2016, 35–36.)

Ballistinen erotin erottelee kitkaa ja erottimen liikettä hyödyntäen jätettä muodon ja kovuuden mukaan 2D- ja 3D -jakeisiin (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy). Samalla erotin seuloo hienoaaineksen pois. 2D-jättejake on litteää ja pehmeää, kun taas alitteeseen menevä 3D-jake on kolmiulotteista ja helpommin jatkolajiteltavissa. (Vimelco A, 2018.)

Magneettierottimia käytetään jätteidenkäsittelyprosessissa rautametallien erottamiseen jätevirrasta. Yleensä magneetilla varustettu liukuhihna on asennettu jätevirtaa kuljettavan liukuhihnan yläpuolelle. Huolellinen esimurskaus on olennaista, jotta metallit saadaan mahdollisimman tehokkaasti eroteltua muusta jätteestä. Useammalla perättäisellä magneetilla päästään parempaan erottelutulokseen kuin käytettäessä vain yhtä magneettierotinta. Ei-rautametallien, kuten alumiinin, erotteluun käytetään pyörrevirtaerottimia, ns. Eddy Current -erottimia. Pyörrevirtaerottelijassa on kuljetinhihna, jonka pudotuspään hihnarummun sisällä pyörii nopeasti moninapainen neo-magneettiroottori. Kevyen painon ja hyvän sähkönjohtavuuden takia tavallisista metalleista erottuu parhaiten alumiini. Myös kupari on hyvin eroteltavissa pyörrevirtaerottimella. (Christensen, 2011, viitattu lähteessä Sihvola, 2016, 40–42.)

Tuulieroittimia käytetään erottelemaan kevyet materiaalit erilleen raskaista materiaaleista niiden aerodynaamisten ominaisuuksien perusteella. Materiaalien erottelu perustuu kappaleen putoamisnopeuteen ilmapirrassa. Kevyet ja huokoiset materiaalit, kuten paperi ja muovi, kulkevat ilmapirran mukana, kun taas painavimmat materiaalit, kuten kivet, betoni, lasi, tiilet ja keramiikka, putoavat alaspäin. Myös tuulieroitinta käytettäessä huolellisella esimurskaamisella on suuri vaikutus erottelun tehokkuuteen. (Christensen, 2011, viitattu lähteessä Sihvola, 2016, 40–42.)

3.2 Optinen erottelu

Optisten erottimien avulla on mahdollista erotella toisistaan mm. eri muovilaatuja, kuituja sekä eriväristä lasia. Toimivan optisen erottelun edellytyksenä on poistaa jätteestä esimurskauksen jälkeen kappaleiden tunnistamista vaikeuttava hienoaines. Optista erottelua voidaan käyttää myös hienojakoisten, muutamien millien kokoisten partikkelien erotteluun, mutta tällöin materiaalin tulee olla sekalaista jätettä homogeenisempaa ja kokonaisuudessaan pienikokoisempaa. Optisessa erottelussa sopiva palakoko lajiteltavalle materiaalille on n. 60–300 mm (Vimelco B, 2018.)

Optisessa erottelussa hyödynnetään mm. lähi-infrapunaspektroskopiaa (near-infrared spectroscopy, NIRS), RGB-kameroita ja ultraviolettisensoreita todentamaan eri materiaalien paikka liukuhihnalla. Tallennettua tietoa hyödyntäen paineilmasuihkut puhaltavat valitut kappaleet erilleen muusta jätteestä. (Christensen, 2011, viitattu lähteessä Sihvola, 2016, 43.) Muovien ja kuitujen erottelu perustuu NIR- eli infrapuna-alueen aaltopituuksiin. Esikäsitelty materiaali kulkee erottimen kuljetinhihnalla, jonka loppupäässä on kirkas, suora valokeila. Jättemateriaalin kulkiessa valokeilan ohi erottimen skanneri kerää niistä takaisin heijastuvan infrapunavalon. Valo kulkeutuu spektrometrille, joka tunnistaa, mitkä valon aaltopituudet kappale on absorboinut. Eri muovilaadut (esim. polyeteeni, polypropeeni, PET ja polystyreeni) absorboivat eri aaltopituuksia. Erottimen tietokone vertaa heijastusta eri muovilaaduista saatuun dataan, ja mikäli tunnistuksen antama käyrä eli ”nimikirjoitus”, on tarpeeksi samanlainen tietyn muovilaadun kanssa, materiaali tunnistetaan. Jos kyseinen materiaali on valittu eroteltavaksi, tietokone antaa kuljettimen päässä olevalle ilmasuutinpalkin suuttimille käskyn puhaltaa tietyllä hetkellä tietyssä kohtaa kuljetinta, jolloin materiaali lentää sille tarkoitettuun erottelukammioon. Myös kuidut eli paperi, pahvi, puu ja luonnonkankaat absorboivat infrapunavaloa tunnistettavasti, mutta erot niiden välillä ovat melko pienet. (Vimelco B, 2018.)

Mitä enemmän tiettyä materiaalia jätejakeessa on, sitä puhtaampana se saadaan erilleen. Yhdellä erottimella voidaan erottaa yksi tai kaksi jaetta. Koska jätekappaleet eivät putoa ideaalisesti kuljettimelle, vaan ajautuvat esimerkiksi päällekkäin, tarvitaan useampia erottimia optimaalisen laadun saavuttamiseksi. Hyvä erotteluaste edellyttää toistoa, eli silloin haluttu materiaali ajetaan erottimen läpi sellaisenaan ja erotin poistaa joukosta väärät materiaalikappaleet. Tätä kutsutaan negatiiviseksi erotteluksi. (Vimelco B, 2018.)

Ensimmäisiä optista lajittelua hyödyntäviä jätteenkäsittelylaitoksia Suomessa oli pietarsaarelainen Ab Ekorosk Oy:n lajittelulaitos. Lajittelulaitoksessa käsiteltiin yli 20 vuoden ajan yhdyskuntajätteitä. Kotitalouksia oli ohjeistettu lajittelemaan biojäte mustiin pusseihin ja energijäte vaaleisiin pusseihin. Pussit sai laittaa samaan jäteastiaan. Laitoksella oli käytössä Optibag-järjestelmä, jossa järjestelmä rekisteröi vaaleat pussit ja erotteli nämä mustista pusseista. Energijäte päätyi murskauksen kautta hyödynnettäväksi polttoaineena sähkön ja lämmön tuotannossa, ja biojätteestä valmistettiin mm. biokaasua energiakäyttöön. Laitoksen vuosikapasiteetti oli n. 16 000 tonnia (JLY – Jätelaitosyhdistys

ry.). Jotta toiminta olisi täyttänyt nykylainsäädännön vaatimukset ja mahdollistanut tehokkaan lajittelun, 90-luvulla toimintansa aloittanut lajittelulaitos olisi vaatinut isoja uudistuksia ja investointeja. Lopulta vuonna 2018 elinkaarensa päähän tullut Ab Ekorosk Oy:n optinen lajittelulaitos päätettiin sulkea. (Pohjanmaan jätelautakunta, 2017.)

Nykypäivän esimerkkejä optisen lajittelun hyödyntämisestä jätteiden käsittelyssä ovat esimerkiksi Fortumin Riihimäen Kiertotalouskylässä sijaitseva Suomen ensimmäinen Muovijalostamo. Muovijalostamolla muovilaatuja tunnistetaan ja lajitellaan NIR-tekniikkaan perustuvilla optisilla lajittelijoilla, minkä jälkeen muovit pestään, silputaan ja granuloidaan Fortum Circo®-kierrätysmuovigranulaatiksi muoviteollisuuden käyttöön. (Fortum, 2022.) Paimiossa taas on rakenteilla poistotekstiilien jalostuslaitos. Kotitalouksilta kerätyt poistotekstiilit on tarkoitus jalostaa kierrätyskuiduksi Paimiossa sijaitsevassa pilottivaiheen laitoksessa. Lounais-Suomen Jätehuolto Oy (LSJH) valmistelelee samaan aikaan Turkuun rakennettavaa täyden mittakaavan jalostuslaitosta koko Suomen poistotekstiileille. Yhteistyössä ovat mukana LSJH:n lisäksi Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY, Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy, Pirkanmaan Jätehuolto ja Rauman seudun jätehuoltolaitos. Kukin jätelaitos organisoi poistotekstiilien keräyksen ja esilajittelun omilla alueillaan, minkä jälkeen poistotekstiilit toimitetaan LSJH:n lajitteluhallille jatkolajittelua varten. Jatkolajittelun yhteydessä poistotekstiilit luokitellaan eri kuituluokkiin optisen tunnistustekniikan avulla. Lajiteltu poistotekstiili jalostetaan kuituraaka-aineeksi teollisuuteen. (Lounais-Suomen Jätehuolto Oy, 2020.) Raumalainen kierrätys- ja jätteenkäsittelyteknologiaan erikoistunut BMH Technology toimittaa Vietnamiin Tyrannosaurus-jätteenkäsittelylaitoksen vuoden 2022 lopussa. Laitoksen päiväkapasiteetti on noin 600 tonnia. Täysin automatisoitu jätteenkäsittelylaitos on kaksilinjainen ja koostuu murskain- ja erottelulaitoksesta. Laitoksen avulla on tarkoitus käsitellä yhdyskuntajätteitä sekä teollisuuden jätteitä kierrätyspolttoaineeksi. Murskatusta jätteestä on tarkoitus lajitella hyötykäyttöön käyttökelpoiset raaka-aineet, kuten metallit, sekä poistaa jätevirrasta palamattomat materiaalit, kuten kivet ja lasi. (Satakunnan Kansa, 2022.)

3.3 Kemiallinen erottelu

Kemiallista erottelua käytetään erityisesti muovin kierrättämisessä. Kemiallisella erottelulla tarkoitetaan muovin rakenteen hajottamista niin, että muovijäte saadaan takaisin monomeereiksi. Kemiallinen kierrättäminen nousi esille jo Muovijätteen kiertotalouden kehittämistarpeita käsittelevässä luvussa (2.1.7 Muovijäte). Käytännössä kemiallisella kierrättämisellä tarkoitetaan samaa prosessia kuin kemiallisella erottelulla. Tässä lajittelutekniikoita koskevassa luvussa prosessista käytetään molempia nimityksiä rinnakkain.

Koko ajan tiukentuvat ympäristösäännökset ohjaavat yhä tehokkaamman kiertotalouden suuntaan. Kemiallisen erottelun avulla voidaan kierrättää sellaisia (muovi)jätteitä, joita ei mekaanisen erottelun avulla ole mahdollista kierrättää. Kemiallisen erottelun avulla myös värilliset, monikerrokset ja sekamateriaalijätteet voidaan käsitellä prosessissa, joka muuttaa muovijätteen raakaöljyn kaltaiseksi materiaaliksi. Kemiallista, mekaanista ja optista erottelua ei tule nähdä toisiansa poissulkevinä, vaan pikemminkin toisiaan täydentävinä menetelminä. (Neste A, 2022.)

Muovijätteen kemiallinen erottelu vaatii esikäsittelyn, jossa muovin joukosta poistetaan sinne kuulumaton aines, kuten lasi ja metalli. Sen jälkeen jätemuovin suuret polymeerimolekyylit hajotetaan pieniksi monomeereiksi, joita voidaan käyttää uusien muovipolymeerien ja -tuotteiden

rakentamisessa. Kemiallisen erottelun pääteknikat ovat pyrolyysi, kaasutus, depolymerointi ja solvolyyysi. Pyrolyysissä muovi hajotetaan lämmön avulla hapettomassa tilassa 400–600 asteen lämpötilassa. Kaasutuksessa muovia hajotetaan 700–1200 asteen lämpötilassa, jolloin muodostuu vedyn ja hiilimonoksidin seosta, joka puhdistetaan muovien raaka-aineeksi. Depolymeroinnissa muovin polymeeriketjut pilkotaan kemiallisten reaktioiden avulla monomeereiksi. Solvolyyysissa muovipolymeeri liuotetaan liuottimeen ja puhdistuksen jälkeen saadaan puhdasta polymeeriä uudelleenkäyttöä varten. Termokemiallisten tekniikoiden eli pyrolyysin ja kaasutuksen etuna on, että ne sopivat hyvin myös eri muovilaaduista koostuvalle jätteelle ja komposiittirakenteille. Depolymerointi ja solvolyyysi taas edellyttävät, että jätevirta koostuu vain yhdestä muovilaadusta. Teknologia on saatavilla, mutta sitä on vielä hienosäädettävä ja tehostettava. (Granath, 2020.) Kemiallisen erottelun merkittävin etu mekaaniseen erotteluun verrattuna on, että kierrätysmonomeereistä valmistettu muovi ei poikkea mitenkään öljystä valmistetusta muovista. (Ympäristöministeriö, 2020, 10.)

Suomessa kemiallisen erottelun merkittävimpiä kehittäjiä ovat VTT ja Neste. VTT:n kehitystyö perustuu termokemiallisiin konversioteknologioihin eli hajotusmenetelmiin. VTT on ollut mukana kehittämässä kaasutus- ja pyrolyysitekologioita muovin lisäksi myös mm. biomassatähteiden käsittelyä varten. VTT:n Espoossa sijaitseva Bioruukin pilotointikeskus on keskittynyt uusiin biopohjaisiin tuotteisiin ja kiertotalousratkaisujen kehittämiseen. Bioruukissa on mm. kehitetty biopohjaisten raaka-aineiden erottelua pääkomponentteihin. Erottelumenetelmä pohjautuu VTT:n kehittämään alkalihapetusmenetelmään. Menetelmällä on mahdollista erotella toisistaan selluloosa-, hemiselluloosa- ja ligniinijakeet jatkoxydyntämistä varten. Eroteltuja raaka-aineita on mahdollista hyödyntää mm. pakkausten vahvikkeena, 3D-tulostettujen materiaalien rakenneosina, pakkausten suojakalvoissa ja apuaineina lääketieteellisissä sovelluksissa. (VTT, 2022.)

Neste on toisena suomalaisena toimijana panostanut muovijätteen kemialliseen erotteluun. Nesteen päämääränä on prosessoida yli miljoona tonnia jätemuovia vuodessa vuodesta 2030 lähtien. Neste aikoo käyttää nesteytettyä jätemuovia perinteisen öljynjalostuksen raaka-aineena ja jalostaa siitä olemassaoleviin tuotantoprosesseihin soveltuvaa ”drop-in” -raaka-ainetta uusien muovien tuotantoa varten. Syksyllä 2020 Neste suoritti onnistuneesti ensimmäisen teollisen mittakaavan koeajon Porvoon öljynjalostamollaan. Ajossa prosessoitiin 400 tonnia pakkaus- ja sekajätemuovia kierrätysraaka-aineeksi. (Sieppi, 2020.)

Vuonna 2021 koeajoja jatkettiin suunnitelmien mukaisesti. Tulevaisuudessa Nesteen tavoitteena on tehdä nesteytetyn jätemuovin jalostamisesta kierrätysraaka-aineeksi jatkuvaa, kaupallista toimintaa. Nesteen tarkoituksena on tulevaisuudessa pystyä käsittelemään entistä suurempia määriä jätemuovia. Nesteen mukaan toiminnan ja tuotannon laajentaminen tulevaisuudessa edellyttää myös sääntelytukea: kemiallinen erottelu olisi tärkeä saada hyväksytyksi täydentävänä teknologiana, jotta kierrätystavoitteet olisi mahdollista saavuttaa. (Sieppi, 2022.)

Koeajoissa valmistettua raaka-ainetta on hyödynnetty uusien muovituotteiden valmistuksessa. Neste lanseerasi jo vuonna 2020 Neste RE-tuotteen (Neste RE Renewable and Recycled TM), joka on kokonaan uusiutuvista ja kierrätetyistä raaka-aineista valmistettu tuote. Neste RE:n valmistuksessa on kemiallisesti kierrätetyn muovijätteen lisäksi käytetty uusiutuvia jäte- ja tähdeperäisiä öljyjä ja rasvoja sekä kestävästi tuotettua kasviöljyä. Neste RE:llä valmistetuilla materiaaleilla ja tuotteilla on täysin yhteneväiset ominaisuudet ja laatu kuin fossiilisista raaka-aineista valmistetuilla. Mahdollisia RE-tuotteen käyttökohteita ovat mm. huonekalut, tekniset vaatteet ja urheilutekstiilit, lelut,

rakentamisen tuotteet, pakkaukset ja suojat, autoteollisuus, elektroniikka sekä terveydenhoito. (Neste B, 2020.)

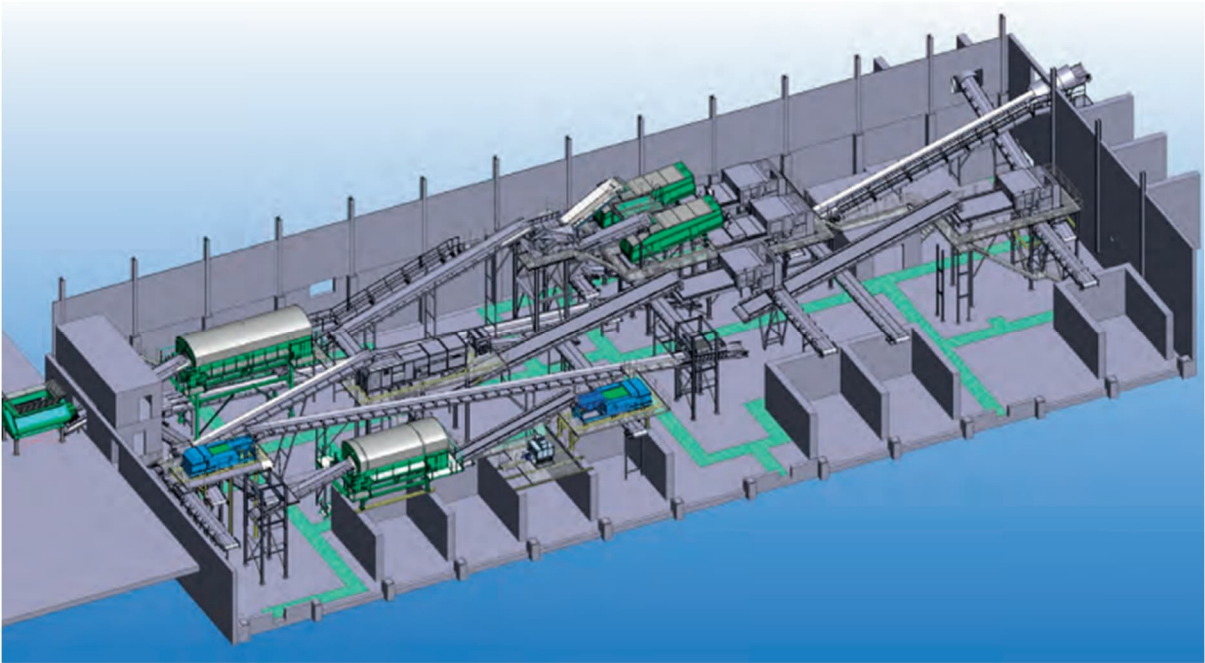
3.4 Case LATE-lajittelulaitos



Kuva 2. LATE-lajittelulaitos ulkoapäin (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy)

Vuonna 2016 Lahden Kujalan jätekeskukseen valmistunut Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n (nyk. Salpakierto Oy) LATE-lajittelulaitos (kuvat 2 ja 3) on uraauurtava ratkaisu jätteiden lajittelussa ja ensimmäinen laatuaan Suomessa. Laitos vastaanottaa seka- ja energijätteen lisäksi hankalammin kierrätettäviä rakennus- ja teollisuuden jätteitä, jotka pystytään kaikki käsittelemään samalla tuotantolinjalla. Kymmenen miljoonan euron laitoksessa on yhdistetty monenlaista teknologiaa jätelajien tunnistamista varten. Lajittelussa hyödynnetään mekaanista ja optista erottelua, joiden avulla saadaan eroteltua muovia, metalleja ja erilaisia kuituja materiaali kierrätykseen ja jatkojalostukseen. Kierrätykseen kelpaamaton jäte hyödynnetään energiana. Kaatopaikalle jää loppusijoitettavaksi vain muutama prosentti painavaa jätettä, kuten kiviainesta ja muuta epäorgaanista jätettä. (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy.)

Kun laitosta ajetaan kahdessa vuorossa, sen vuosikapasiteetti on noin 65 000 tonnia. Murskauksen kapasiteetti on tunnissa keskimäärin 20 tonnia jätettä, ja päivässä laitoksella käsitellään yhteensä n. 250 tonnia jätettä. Laitos sisältää erilaisten erottimien (kuva 4.) lisäksi kuljettimia lähes puolen kilometrin verran. Laitoksella pystytään erottelamaan toisistaan 14 eri jätteä. (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy.)



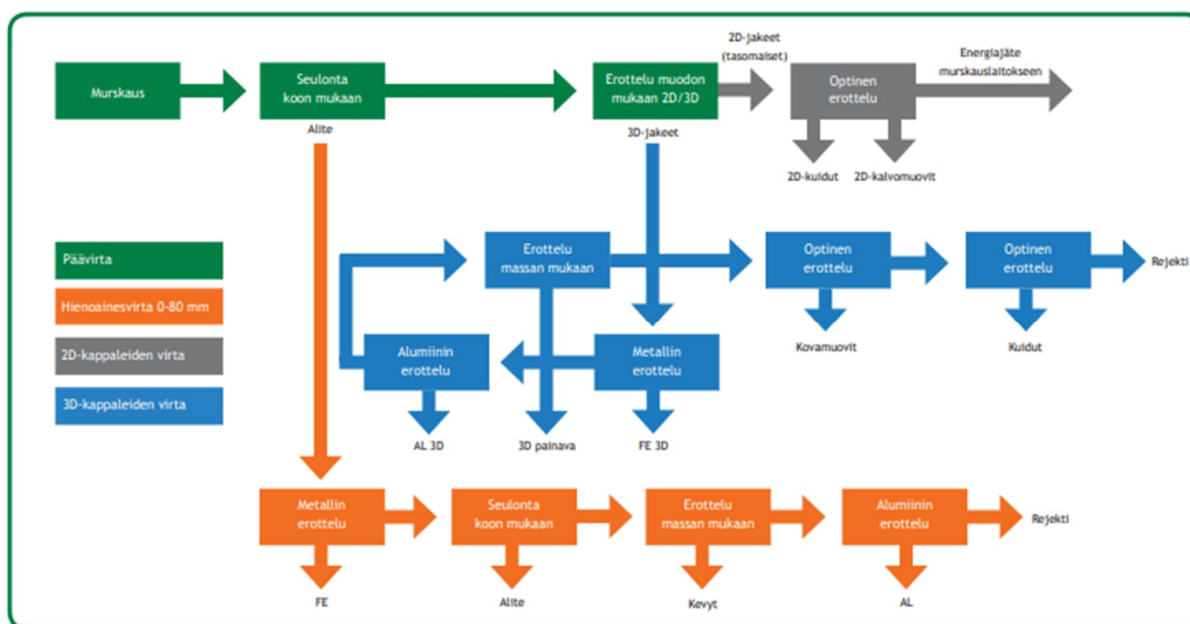
Kuva 3. Late-lajittelulaitos, sisäkuva (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy)



Kuva 4. Ballistinen erotin erottelee jätteitä muodon mukaan, kun taas optinen erottelija jakaa materiaaleja omiin jakeisiinsa (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy)

Kappaleen alla olevassa kuvassa 5 on kuvattu LATE-lajittelulaitoksen prosessi. Jäte saapuu syntypaikkalajittelun jälkeen LATE-lajittelulaitokseen jätelajeittain ja se syötetään kahmarilla tuotantolinjan alussa murskaukseen. Koko laitoksen toiminta on optimoitavissa syötettävän jätelajin ja kulloinkin tavoiteltavien lopputuotteiden mukaan. Murskain murskaa jättejakeet kulloinkin sopivaan ja haluttuun palakokoon. Tällä varmistetaan seulojen ja erottimien optimaalinen toiminta.

Murskauksen kapasiteetti on n. 20 tonnia tunnissa. Ensimmäinen jätteen erotteluvaihe on rumpuseula. Rumpuseulassa jäte seulotaan kokonsa perusteella kahteen eri jakeeseen: suurempi jätejake siirtyy muodon mukaan tapahtuvaan erotteluun ja alle 80 mm jätejake jatkaa matkaansa metallien poistoon. Ballistinen erotin erottelee kitkaa ja erottimen liikettä hyödyntäen muodon mukaan 2D- ja 3D kappaleet toisistaan eri jatkovirtoihin. 2D-kappaleet ovat tyypillisesti hyvin kierrätettäviä kuituja ja kalvomaisia muoveja. Hihnamagneetti ja alumiinierotin huolehtivat prosessin eri vaiheissa arvokkaiden metallien, kuten alumiinin ja raudan erottelun hyötykäyttöön muusta jätevirrasta. Hihnamagneetilla erotetaan voimakkaan magneettikentän avulla jätevirrasta magneettiset metallit. Alumiinierotin kykenee erottamaan jätevirrasta alumiinin muuttuvan sähkö- ja magneettikentän avulla. Tuulierottimessa painava materiaali erotetaan kevyestä. Tuulierottimen tärkein käyttökohde on seuloa materiaalivirrasta pois painavat osat, kuten rakennusjätteen kivi, betoni, tiili ja lasi. Näiden mekaanisten erotteluvaiheiden jälkeen jätevirta siirtyy nykyaikaiseen optiseen erotteluun. Optisen erottimet tunnistavat esimerkiksi lukuisia eri muovilaatuja ja kuituja. Infrapunaspektriin ja värikameroihin perustuva tekniikka pystyy luotettavasti tunnistamaan materiaali kierrätykseen kelpaavat raaka-aineet. (Salpakierto Oy, 2017.)



Kuva 5. LATE-lajittelulaitoksen prosessikuvaus (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy)

Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy kertoo tavoitteenaan olevan mm. hyödyntää materiaalina suurin osa syntyvästä yhdyskuntajätteestä. Tavoitteen saavuttamisessa moderni LATE-lajittelulaitos on yhtenä olennaisena tekijänä asianmukaisen syntypaikkalajittelun, jätehuoltomääräyksien ja neuvonnan lisäämisen lisäksi. (Uusiouutiset, 2016.)

4 Esitys uudesta purkumateriaalien jäteasemasta

Tässä kappaleessa esitetään näkökulmia uudesta purkumateriaalien jäteasemasta. Suomesta löytyy uusia moderneja purkujätteen kierrätysasemien referenssi kohteita Oulusta ja Vantaalta, joissa tehtyjä ratkaisuja ja kokemuksia kannattaa hyödyntää. Tällä hetkellä purkujäte käsitellään pääosin mahdollisimman isoina kokonaisuuksina, ja lajittelutyö vaatii useita kaivinkoneita sekä useita työntekijöitä. Purkukohteesta jäte lähtee kuorma-autoilla eteenpäin.

Jäteaseman suunnittelussa on otettava huomioon, että jakeiden määrä lisääntyy edelleen jatkossa. Esimerkiksi eri muovijakeita voi olla jatkossa yhä enemmän. Tämä tekee jäteaseman suunnittelusta hieman haasteellisemmän kuin jos keskityttäisiin erottelemaan vain yhtä tiettyä jaetta muusta jätteestä. Tämän takia kannattaa arvioida tarkkaan, kuinka pitkälle kunkin jakeen, kuten esimerkiksi muovin, jaottelua vie, vai lähettääkö esijaotellun jätteen eteenpäin kyseiseen jakeeseen erikoistuneeseen laitokseen. Tämän tyyppistä erikoistumista on havaittavista nykyisessä toimintaympäristössä.

Esitys uudesta purkumateriaalien jäteasemasta perustuu Satakunnan muuta maata heikompaan kierrätysasteeseen sekä valtakunnalliseen tavoitteeseen nostaa kierrätysastetta korkeammaksi. Lisäksi esitys perustuu yrityksiltä tulleeseen kiinnostukseen helpottaa rakennusten purkamiseen liittyvää logistiikkaa ja kierrätystä. Satakunnasta löytyy jo monipuolista osaamista jätteiden lajitteluun ja jatkojalostamiseen. Kyse on siis enemmän siitä, että tätä osaamista hyödynnettäisiin Satakunnassa syntyvien jätteiden lajitteluun ja jatkojalostamiseen huomattavasti paremmin.

4.1 Teknologiset mahdollisuudet

Lajittelun kehittymistä vie eteenpäin erityisesti optisten laitteiden, robotiikan, tekoälyn ja kemiallisten tekniikoiden kehittyminen. Tämän takia jäteaseman suunnittelussa tulee huomioida uusien vielä kehityksessä olevien teknologioiden tuleminen. Tämä tulee esiin esim. eri muovilaatujen tunnistamisessa. Muovilaatuja on monenlaisia ja muovia käytetään erilaisina pinnoitteina, jolloin alempi kerros jää tunnistamatta tai esimerkiksi musta muovi on optisesti haastavampi tunnistaa. Edellisissä kappaleissa on käyty kattavasti läpi eri kierrätysjakeiden määriä ja niiden erittelyitä sekä myös osittain niihin liittyviä tekniikoita.

Optiset laitteet kehittyvät vauhdilla ja niitä voi hyödyntää lajitteluasemalla monipuolisesti, kuten edellisessä luvussa esitellyssä Lahden jäteasemassa oli tehty. Materiaalien tunnistaminen niiden ominaisuuksien mukaan on automatisoitavissa hyvin pitkälle, mutta se voi vaatia useampia saman materiaalivirran toistoja. Optisten laitteiden avulla voidaan saada materiaalivirrasta jatkuvaa tilastotietoa eri jakeista ja samalla toteutettua laadun seurantaa, joka voi olla yhteydessä myös mahdolliseen laskutukseen, mikäli sisään tuleva kuorma halutaan kohdistaa jollekin jätteen tuojalle. Laadun taltiointi kullakin jakeella auttaa kyseisen jakeen jatkojalostajia, jotta he pystyvät tekemään tarkempaa prosessin säätämistä. Erikoiskameroilla päästään yhä korkeampiin optisiin taajuuksiin, mutta samalla niiden hinta kasvaa eksponentiaalisesti. Teknologian kehittyminen on kuitenkin yleensä vaikuttanut laitteiden hintoihin laskevasti.

Ennen materiaalivirran murskaamista olisi hyvä käyttää esilajittelijaa, jotta suuret kappaleet, jotka ovat samaa jaetta, voitaisiin sijoittaa jo oikeaan loppukohteeseen. Näin loppujakeiden laatu nousisi, koska jakeesta suurin osa menisi jo oikeaan loppuustiaan verrattuna siihen, että se murskataan ja vasta sen jälkeen pyritään tunnistamaan jae, jolloin osa menee ei-tunnistettaviin tai vahingossa väärään jakeeseen. Esijaottelu nopeuttaisi muun materiaalivirran jaottelua ja nostaisi loppujakeiden laatua sekä vähentäisi hyvin pienen jäterakeen syntyä. Betonin osalta esijaottelua tukee se, että murskattua betonia tulisi materiaalivirtaan todella suuria määriä, jonka erottaminen vaatisi suuressa määrin mekaanisempaa erottelua. Tällöin erottelutarkkuus heikkenee eli materiaalivirran mukana menisi helposti myös muita jakeita. Esimerkiksi tiilen ja betonimurskan erottaminen jälkikäteen on haasteellisempaa kuin esilajittelemalla jätettä. Betonin osalta murskaus alkaa muuttaa sen kemiallisia ominaisuuksia, mikä voi olla jatkojalostajalle huono asia.

Esilajittelussa tulisi hyödyntää 3d-kameran syvyysnäköä, jolla saadaan tunnistettua materiaalivirrasta tiettyä kokoa tai muotoa olevaa materiaalia kuten maaliastioita, lautoja tai spraypulloja. Kameran eivät tee jaottelua itsenäisesti, vaan ne pitää kytkeä robotiikkaan, joka tekee varsinaisen mekaanisen erottelun tavaravirrasta.

Varsinaisessa tunnistamisessa tulisi käyttää kamerateknologioita, joilla saadaan materiaalivirrasta tarkempaa alkuaineanalyysia, sekä tunnistettua materiaaleja lajittelua varten. Kameroilta saatava spektridata tulee yhdistää tiedossa oleviin eri kierrätysmateriaalien spektreihin. Tässä olisi mahdollisuus kehittää myös tekoälyä, jota opettamalla voisi yhä tarkemmin tehdä jakeiden jaottelua. Tekoälyn kehittäminen eri jakeille vaatii kuitenkin paljon opetusmateriaalia ja käsin tehtävää tulkintaa, joka vaatii käytännössä paljon kehittämistyötä. Tämän takia tekoäly ei ole nopea ratkaisu purkumateriaalien jaotteluun, ellei valmiita opetusmateriaaleja tai algoritmeja ole avoimesti jo käytettävissä.

Optiset kamerat toimivat laboratorioissa olevissa laitteissa jo todella korkeilla taajuuksilla, mutta ne ovat kalliita. Mentäessä röntgentaajuuksien puolelle XRF-tekniikka edustaa ehkä tarkinta mahdollista tekniikkaa selvittää jakeen ominaisuudet sen pinnasta. XRF pystyy kertomaan jakeen alkuaineiden määrät ja suhteen. Teknisesti tämä on kuitenkin vielä haasteellista toteuttaa laajassa mittakaavassa koko materiaalivirralla, koska tekniikka on kallista ja kameroita pitäisi olla useita vierekkäin koko materiaalivirralla, ellei materiaalivirtaa pystytä järkevästi kierrättämään jaottelussa useita kertoja.

GPR-teknologioiden käyttäminen auttaa siihen, että jaottelussa päästään erityisesti isompien jakeiden rakenteiden sisälle. GPR-taajuuksien hyödyntäminen on kuitenkin pitkän oppimisprosessin takana, joten nopeaa ratkaisua jaotteluun se ei tarjoa, ellei joku toimittaja tarjoa valmiita ratkaisuja.

Vantaalla syksyllä 2021 käynnistynyt Remeon jätteenkierrätyslaitos on moderni esimerkki rakennusjätteiden sekä kaupan- ja teollisuusjätteiden lajittelusta. Lajittelu tapahtuu robottien avulla. Kyseinen laitos pystyy käsittelemään rakennusjätettä 30 tonnia tunnissa. Laitoksen robotit on toimittanut Zenrobotics. Lajittelun onnistumisessa on olennaista, että jätteitä ei saa murskata. Kyseisessä laitoksessa jäte erotellaan aluksi yli ja alle 80 mm jakeisiin. Näistä pienempää erotellaan optisin anturein, magneetein, ilman sekä kaksoisiskuseulojen avulla. Isompi jae erotellaan robotiikan avulla. Ennen robotteja jakeet tunnistetaan hyperspektrikameroiden, metallinpaljastimien, 3d- ja vga-kameroiden muodostaman datapaketin avulla, jota tulkitsee tekoäly. Jakeita on opetettu maailmalla satoja, mutta kyseinen laitos hyödyntää tällä hetkellä näistä kymmenkunta. Kierrätysaste on saatu rakennusjätteiden osalta yli 70 prosenttiin. (Tekniikka&talous, 28.2.2022)

2021 alussa avattu Oulun Energian Ruskon lajittelukeskus käsittelee pakkaus-, purku- ja rakennusjätteitä. Kyseisessä laitoksessa jätteelle tehdään ensin koneellinen esilajittelu. Sen jälkeen se murskataan linjastolle. Lajittelu perustuu taso- ja tuuliseuloihin, jolloin lajittelu tapahtuu painon ja koon perusteella. Sen jälkeen magneettien avulla erotellaan metalliset jakeet. NIR-kameroilla valitaan, mitä jakeita poistetaan polttoon menevästä SRF-kierrätyspolttoaineesta. Huomioitavaa on, että suurin osa menee Oulun Energian lämmityslaitokselle. Suunnitelmissa on laajentaa eri jakeiden talteenottoa eri teknologisin keinoin kuten robotiikan avulla. (Tekniikka&talous, 10.11.2021, Oulun Energia)

Edellä mainitut Oulun ja Vantaan lajittelukeskukset poikkeavat toisistaan hyvin merkittävällä tavalla. Oulussa materiaali murskataan hyvin aikaisessa vaiheessa, kun taas Vantaalla sitä pyritään välttämään ohjeistamalla jopa rakennustyömaita. Oulussa lajittelun tuloksena syntyy pääasiassa paaleja, joita hyödynnetään energian poltossa. Vantaalla puolestaan syntyy useita eri jakeita, joita lähetetään jatkokäyttöön. Nämä kaksi laitosta ovat erittäin hyviä referenssikohteita, toteuttaen kaksi hyvin erilaista toimintamallia kierrätyksen toteuttamiseen, niin tekniikoiltaan kuin lopputuotteiltaan. Näiden kahden referenssikohteen perusteella on hyvä lähteä suunnittelemaan Satakunnan tarpeita ja toteutusmallia.

4.2 Käytännön järjestelyt

Purkumateriaalien jäteaseman tavaravirrat muodostuvat eri kohteista. Tässä tapauksessa tarkoituksena on kohdistaa tarkastelu verovapaisiin matereriaaleihin. Jäteaseman toiminnan päätavoitteena on nopeuttaa kierrätettävyyttä ja siten tehostaa huomattavasti purkualan kiertotalouteen siirtymistä ja kiertotalouden edelleen kehittämistä. Purkumateriaalit, joita jäteasemalla pääasiassa käsiteltäisiin, olisivat betoni, metalli, puu, muovi, lasi, villa sekä paperi.

Jätejakeiden jatkokäsittely ja jalostus pienentävät purkualan hiilijalanjälkeä. Lisäksi purkualan kuljetus- ja kuormauskulujen pienentämiseksi jakeiden kertakäsittelyä pitää lisätä. Tämän vuoksi jäteasemalla jakeet tulee ohjata suoraan omiin lavoihinsa, jolloin välivarastointi jää pois.

Yritysten haastatteluissa nousi esiin näkökulma, jonka perusteella purkumateriaalien jäteaseman tulisi sijaita Satakunnassa niin, että toimijoiden olisi helppo ja nopea toimittaa jätteet sinne. Lyhyt kuljetusmatka pitäisi kustannukset kurissa ja nopeuttaisi kierrätystä. Polttoainekustannukset ovat purkualalla isot, joten siksi logistiikkaan tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Yritysten haastatteluissa pohdittiin myös jäteaseman toiminnan järjestelyitä. Hyvänä vaihtoehtona pidettiin sitä, että jäteasema olisi jonkin yritysryppään hallinnassa. Näin toiminnan kehittämistyötä pystyttäisiin tekemään riittävän isolla volyymillä ja samalla toiminta saataisiin organisoitua tehokkaasti.

5 Eri tekniikoiden soveltumisen testaus valituille purkumateriaaleille

Rakentamis- ja purkuala tuottaa Suomessa toiseksi eniten jätettä kaivosteollisuuden jälkeen. Ensimmäisessä ja toisessa luvussa on käyty läpi eri purkujättemateriaalien hyödyntämistä ja niiden kiertotalouden kehittämistarpeita. Katsauksen perusteella testattavaksi purkumateriaaliksi valittiin betoni. Betonijätteen, kuten usean muunkin jätteen hyödyntämiseen, vaikuttavat lainsäädäntö ja erilaiset viranomaisvaatimukset. Jätehuollon periaatteena toimii etusijajärjestys eli jätehierarkia. Etusijajärjestyksen mukaan ensisijaisesti pyritään vähentämään syntyvää jätettä ja sen haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jäte valmistellaan uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätetään. Vain silloin, kun jätteen hyödyntäminen ei ole mitenkään mahdollista, jäte voidaan viedä kaatopaikalle tai loppukäsitellä muulla tavoin. Jäteasetuksessa (179/2012) on määritelty jätelajit, jotka on erilliskerättävä siten, että mahdollisimman suuri osa jätteestä voidaan käyttää uudelleen tai vaihtoehtoisesti kierrättää. Betonijäte on yksi erilliskerättäväksi määritellyistä jätelajeista. Kansallisessa jätesuunnitelmassa rakennus- ja purkujätteiden osalta tavoitteena on, että talonrakentamisen jätemäärää saadaan vähennettyä, ja jätekohtaista lajittelua ja materiaalihyödyntämistä tehostetaan. Jätteen vähentämiseksi Euroopan Unionissa ja Suomen kansallisessa lainsäädännössä määriteltyjä tavoitteita ei ole saavutettu; rakennus- ja purkujätteen kierrättäminen materiaalina laahaa jäljessä yhä lähes 20 prosenttiyksikköä.

Betonimurske on suurin yksittäinen rakennusjätejake Suomessa. Betonimursketta syntyy vuosittain n. kaksi miljoonaa tonnia, sisältäen betonituotannon ylijäämäbetonin. (Betoniteollisuus ry A) Määrä on moninkertainen verrattuna toiseksi suurimpaan jätelajiin puujätteeseen, jota syntyy n. 0,4 miljoonaa tonnia vuodessa. (Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto. Liitetaulukko 1. 2019.) Porin kaupungin rakennusvalvonnan Lupapisteen (2021) yksittäisten rakennusten purkamista koskevien tietojen mukaan suurin osa, yli 75 prosenttia eli lähes 1000 tonnia purkujätteestä koostui betoni- ja tiilijätteestä.

Betonia valmistetaan vuosittain n. 4,2 miljardia kuutiota, ja se on maailman yleisin rakennusmateriaali. (Betoniteollisuus A.) Kiertotalouden kannalta betonin etuna on betonirakenteiden pitkäikäisyys ja kestävyys, mikä vähentää materiaalin kulutusta ja syntyvää jätteen määrää. Ikuista betoni ei kuitenkaan ole, ja lisäksi rakennusten käyttötarpeiden muuttuminen ja maankäytön muutokset lisäävät enenevässä määrin rakennusten purkamista ja korjausrakentamista. Suomen rakennuskannasta puolet on yli 30-vuotiasta, ja rakennusteollisuuden mukaan korjausrakentamisen merkitys talonrakentamisessa tulee kasvamaan entisestään tulevaisuudessa. (Rakennusteollisuus RT ry.) Tämä tietää yhä suurempia määriä hyödynnettäväksi kelpaavaa betonijätettä.

Käyttöikänsä päässä olevat betonirakenteet murskataan ja n. 80 prosenttia syntyvästä betonimurskasta hyödynnetään maanrakentamisessa tai uuden betonin valmistuksessa. Nykyisin suurin osa betonimurskasta hyödynnetään maanrakentamisessa. (Betoniteollisuus ry A) Kiertotalouden näkökulmasta ja etusijajärjestyksen mukaisesti purkubetonia tulisi hyödyntää maanrakentamisen sijaan yhä enemmän raaka-aineena, esimerkiksi uusien betonituotteiden materiaalina. Näin betonin raaka-aineet saadaan pidettyä käytössä ja uudelleen kierto. Käyttämällä betonijätettä uusien (betoni)tuotteiden materiaalina säästetään neitseellisiä raaka-aineita ja

pienennetään hiilijalanjälkeä. Tehokkaalla materiaalien uudelleenkäytöllä voidaan myös pienentää energiankulutusta ja kuljetuskustannuksia.

Uusiokiviaineksen käyttö betonissa voi aiheuttaa joiden ominaisuuksien heikkenemistä, kuten alentaa betonin lujuuksia. Uusiokiviaineksella on mm. korkeampi vedenimukyky ja alhaisempi tiheys luonnonkiveen verrattuna. Purkubetonimursketta käytettäessä on otettava huomioon alkuperäisen betonin laatu. Kun betonin valmistuksessa purkubetonimurskeen osuus pidetään enintään 20 prosentissa kokonaismäärästä, säilyvät betonin ominaisuudet lähes samoina kuin neitseellisillä kiviaineksilla valmistettuna. Valmistustekniikkaa kehittämällä voidaan tutkimusten mukaan parantaa uusiobetonin ominaisuuksia entisestään, ilman tarvetta lisätä sementtiä. Purkujätteen ja uusiokiviaineksen laatu luokittelu helpottaa mahdollisuuksia hyödyntää uusiokiviainesta myös korkeamman vaatimustason betonien valmistuksessa. Betonimurskeen järjestelmälliseen hyödyntämiseen uusiobetonin valmistuksessa tarvitaan lisää yhteistyötä ja kehittämistä eri sidosryhmien, kuten viranomaisten, suunnittelijoiden, betonivalmistajien ja rakennus- ja purkualan yritysten välillä. (Nieminen, 2015.)

5.1 Betonin uudelleenkäyttö ja hyödyntäminen uusiomateriaalina

Suomessa kierrätyskiviainesta tuotteissaan on hyödyntänyt mm. Rudus. Rudus on kehittänyt viherrakentamiseen soveltuvia Uuma-tuotteita, joissa on käytetty betonituotetehtaan omasta ylijäämäbetonista valmistettua uusiobetonia. Uuma-betonin valmistuksessa on korvattu jopa 30 prosenttia kiviaineksestä kierrätyskiviaineksella ilman, että betonin toimivuudessa yleisimmissä rasi-luokissa (X0-XC4, XD1, XF1 ja XA1) on havaittu muutoksia. Uuma-betonia testattiin syksyllä 2021 pilottihankkeessa YIT:n rakenteilla olevan asuinkerrostalon pysäköintialueen tukimuurien perustuksissa onnistuneesti. Ruduksen mukaan Uuma-betonia voidaan käyttää kaikessa tavanomaisessa rakentamisessa. Uusiotuotteen tuotantoprosessi vaatii vielä sisäänajoa, jotta uusi tuotekokonaisuus saataisiin normaaliin tuotantoon. (Rudus, 2021.)

Tampereen yliopistossa on käynnissä kansainvälinen ReCreate-hanke, jonka tarkoituksena on löytää ratkaisuja käytettyjen betonielementtien hyödyntämiselle uusissa rakennuksissa. Tampereen yliopiston koordinoimassa hankkeessa tutkitaan, miten käytetyt betonielementit voitaisiin irrottaa ehjinä ja hyödyntää uusien rakennusten osana liiketoiminnallisesti kannattavasti. Hankkeessa on mukana yliopistoja ja niiden alueellisia yritys-kustoreita neljästä maasta: Suomesta, Ruotsista, Hollannista ja Saksasta, sekä viestintäkumppanina toimiva Green Building Council Kroatiasta. ReCreate-hanke (2021–2025) on saanut rahoitusta EU:n H2020-hausta, joka rahoittaa rakennusjätteen hyötykäyttöön keskittyviä hankkeita. Nelivuotisen hankkeen kokonaisbudjetti on noin 12,5 miljoonaa euroa. Hankkeen johtaja dosentti Satu Huuhka Tampereen yliopistosta painottaa, että kyseessä on nimenomaan kokonaisten elementtien hyödyntäminen uudelleen sellaisenaan, eikä esimerkiksi uusien betonielementtien raaka-aineena. Hankkeessa on tarkoitus selvittää, miten betonielementit saadaan irrotettua ehjinä ja miten niiden kunto selvitetään. Lisäksi on selvitettävä, miten kierrätettävät elementit sertifioidaan ja tuotteistetaan niin, että rakentamismääräykset täyttyvät, ja miten materiaalista, joka ei ole tasalaatuista, voidaan saada kannattavaa liiketoimintaa. Lisäksi Huuhkan mukaan on huomioitava sosiaalinen näkökulma eli mitä uusia taitoja tai työn tekemisen tapoja työssä kenties tarvitaan. Toimivien ratkaisujen löytäminen käytettyjen betonielementtien hyödyntämiseen kokonaisuudessaan tarkoittaisi merkittäviä ympäristöhyötyjä ja

mahdollisuutta pienentää huomattavasti uudisrakentamisen materiaaleista aiheutuvaa hiilijalanjälkeä. (Tampereen yliopisto, 2021.)

Jokainen maaklusteri toteuttaa hankkeessa omat koerakentamishankkeensa koskien betonielementtien purkamista ja niiden hyödyntämistä uusien rakennusten osana. Suomen maaklusteriin kuuluvat Tampereen yliopisto, rakennusliike Skanska, purkuliike Umacon, betonielementtien valmistaja Consolis Parma, insinööritoimisto Ramboll, Liike Oy Arkkitehtistudio sekä Tampereen kaupunki. Suomen koerakennushankkeet toteutetaan Skanskan keskustakohteessa, jossa purettavan rakennuksen osia pyritään uudelleenkäyttämään mahdollisimman monipuolisesti. (Tampereen yliopisto, 2021.)

Euroopan unionin rahoittamassa kolmivuotisessa DeConcrete-hankkeessa on haettu ratkaisuja mm. kierrätysbetonin materiaalihyödyntämiseen, ja uusien kierrätysmenetelmien kehittämiseksi. Hankkeessa jatketaan Kolarctic CBC -ohjelman Pohjoiskalotin alueen maiden (Suomi, Ruotsi, Norja ja Venäjä) rajat ylittävää yhteistyötä. Pääpaino hankkeessa onkin nimenomaan Arktisten alueiden kierrätysaasteissa. DeConcrete-projektissa ovat mukana Oulun yliopisto Suomesta, Pohjoinen federaatioyliopisto Venäjältä, Tromssan yliopisto ja Narvikin tutkimuskeskus Norjasta sekä alueellisia yritysklustereita ja viranomaisia. (Ohenoja ym., 2020, 94–99.)

Hankkeen päätavoitteena on rakennusmateriaalien, lähinnä betonin, uudelleenkäytön ja uusien kierrätysmenetelmien kehittäminen ympäristö ja arktinen ilmasto huomioon ottaen. Arktisten alueiden infrastruktuuri kehittyi muun maailman mukana, ja vanhojen rakennusten purkaminen on alueella lisääntynyt. Tämän vuoksi teräsbetonirakenteiden kierrätykselle ja uudelleenkäytölle halutaan löytää uusia mahdollisuuksia maarakentamisen rinnalle. Arktisilla alueilla pitkät etäisyydet, kierrätysasemien sekä purkuvälineiden ja purkuyritysten puute tuovat tavallistakin suurempia haasteita jätteiden käsittelylle. Hankkeen päämääränä on määritellä yhteiset suositukset betonijätteen ympäristöystävälliseen ja taloudellisesti järkevään uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen sekä luoda alueellinen strategia raaka-aineiden hyödyntämiseksi. (Ohenoja ym., 2020, 94–99.)

Oulun yliopiston rooli hankkeessa on kehittää menetelmiä kierrätysbetonin hyödyntämiseksi materiaalina, joko kiviaineksena tai sementtiä osittain korvaavana sideaineena. Kierrätysbetonista voidaan murskauksen ja lajittelun avulla saada kivimateriaalia, jota on mahdollista hyödyntää kierrätyskiviaineksena betonissa. Kierrätysbetonin haasteena on, että kiviaineksen pinnalle on usein kiinnittynyt kovettunutta sementtiä, mikä taas heikentää kiviaineksen ominaisuuksia. Kierrätyskiviaineksen ominaisuuksia ja laatua voidaan parantaa joko poistamalla sen pinnalta vanha ja kovettunut sementti, tai muuttamalla pinnan sementin ominaisuuksia sellaisiksi, että sitä voidaan uudelleenkäyttää betonissa. Kovettuneen sementin poistamiseen voidaan käyttää erilaisia menetelmiä. Mekaanisen käsittelyn ohella sementtiä voidaan käsitellä lämmön avulla pitämällä se 300 °C:ssa kahden tunnin ajan, tai altistamalla se mikroaaltokäsittelylle. Molemmat menetelmät irrottavat sementin kiviaineksen pinnalta. (Ohenoja ym., 2020, 94–99.)

Kierrätyskiviaineksen pinnan sementin muokkaus perustuu pinnan kyllästämiseen esimerkiksi polymeereillä. Menetelmällä tiivistetään materiaalin pintaa täyttämällä polymeerimolekyyleillä sementin huokokset. Pinnan tiivistäminen voidaan tehdä myös pakottamalla hiilidioksidia sementin

huokosiin. Jälkimmäinen menetelmä parantaa erityisesti kiviaineksen kestävyyttä ja mekaanisia ominaisuuksia. (Ohenoja ym., 2020, 94–99.)

Betonijätteen murskaaminen ja kierrätetyn kiviaineksen prosessointi tuottavat paljon myös hienoainesta, joka usein jää hyödyntämättä. Yleensä betonimurskasta saadaan 40–60 prosenttia karkeaa kiviainesta, ja loppu on halkaisijaltaan enintään 4 mm kiviainesta. DeConcrete-hankkeessa on pyritty löytämään myös hienolle kiviainekselle hyötykäyttöä. Päämääränä on valmistaa hienoaineesta uutta kierrätyskiviainesta granuloidulla se ja syntyneiden rakeiden pintaominaisuuksia muokkaamalla. Lisäksi hankkeen pohjalta Oulun yliopistossa tutkitaan rakeiden karbonointia eli hiilidioksidin sitomista materiaaliin sekä täyttökiviaineksen hyödyntämistä sementtiä korvaavana sideaineena laastissa ja alkali-aktivoituissa materiaaleissa. (Ohenoja ym., 2020, 94–99.)

5.2. Betonin uusiokäytön testaus

Jo hyvin aikaisessa vaiheessa esiselvityksen laatimista ilmeni, että betonin uusiokäytön testaaminen on erittäin potentiaalinen kehittämiskohde mietittäessä purkualan kiertotalouden kehittämistä. Syitä tähän on monia, esimerkiksi betonin heikko kierrätettävyyys Satakunnan alueella ja materiaalin suuri määrä.

5.1.1 Materiaali

Purkumateriaalina saatavan betonin testaamiseen tarvittiin testausvaiheen alussa kierrätysmateriaalia. Materiaalia olisi ollut saatavilla paljon useista eri paikoista. Testauksessa käytettävän raaka-aineen toimitti lopulta Maanrakennus Jouko Kärkkäinen Oy, koska heiltä löytyi purkumateriaalia helposti ja lisäksi erittäin hyvä kalusto purkubetonin murskaamiseen. Oletuksena alkuvaiheessa oli, että murskattu betoni jää erittäin teräväreunaiseksi, mutta lopputuloksena oli varsin hyvälaatuista betonimurskaa.

Tässä purkubetonierässä oli käytetty vahvistuksena säikeitä (kuva 6). Niiden pituudet olivat noin 5cm. Erilaiset vahvistukset betonin seassa on huomioitava jo murskausvaiheessa, jotta myös lopputuotteessa on sopiva vahvistus. Lisäksi erilaiset raudoitukset voivat hankaloittaa murskausta.



Kuva 6. Betonin vahvistamiseen käytettyjä säikeitä

5.1.2 Testausasetelma

Uusiobetonin testauksia varten leikattiin sylinteriputkia, joiden halkaisija oli 10 cm sekä korkeus 15 cm. Näiden muottien tavoitteena oli toteuttaa puristuslujuustestit eli testata murtumalujuus ja murtuman muoto. Valuja varten tehtiin useita laattamuotteja, joiden tavoitteena oli tehdä perusvalutestejä betonille. Muottien paksuudet olivat 15cm. Valumuoteilla tehtiin perustestejä eli haettiin tuntumaa eri seosten kovettumisesta sekä niiden kovuuksista. Lisäksi valuista mitattiin lämpötilat ja valun yhteydessä ph-arvot. Sylintereitä oli vähemmän, mutta niitä valettiin vain niistä sekoituksista, jotka näyttivät lupaavilta.

Mittauksia varten tilattiin myös SmartRock-sensoreita mittaamaan betonin ominaisuuksia kovettumisen aikana, kuten lämpötilaa ja kovuutta. Sensorit eivät ehtineet ensimmäisiin testauksiin.

5.1.3 Havainnot

Lähtöoletuksena oli, että purkubetoni ei reagoisi kovinkaan herkästi. Tämän takia olikin hieman yllätys, että purkubetoni reagoi melko hyvin. Uusiobetonin ominaisuuksia testattiin erilaisin murskatun betonin ja sementin seoksen valun aikana, sen jälkeen ja muutaman päivän kuluttua.



Kuva 7. Apteekin ph-liuskoja

Ensimmäiseksi mitattiin murskatun purkubetonin pH-arvo. Ensimmäisessä vaiheessa käytössä oli edulliset apteekista saatavat ph-liuskat (kuva 7). Nämä eivät olleet kovinkaan käyttökelpoisia betonin ph-arvon mittaamiseksi, koska betoni tarttui liuskaan kiinni. Mittausarvoksi saatiin useammalla mittauksella noin 13. Tämän arvon mittaamiseen tarvitaan jatkossa tarkempia ja käyttökelpoisempia mittausvälineitä. Murskatun betonin ph-arvo oli korkea, mikä oli hyvä asia betonin uusiokäytön näkökulmasta. Hyvin pian valujen jälkeen oli havaittavissa lämmönnousua, joka käytännössä tarkoitti kemiallista reagointia. Lämpötiloja ei alustavissa testeissä mitattu tarkasti, mutta lämmönnousu oli selkeäsi käsin havaittaissa.



Kuva 8. Ilmakuplia betonivalussa.

Kuten kuvassa 8 näkyy, valuissa tapahtui myös voimakasta kuplimista, joka oli merkki kemiallisesta reagoinnista, mutta osittain myös sekoituksesta. Vahvemmillä seoksilla ilmakuplien määrä oli suurempi. Sopivan veden määrän arviointi valuseoksissa oli haasteellista. Myös muiden tekemisissä tutkimuksissa on huomioitu veden määrän arvioinnin olevan hankalaa. Vettä pitää olla joka tapauksessa enemmän kuin neitseellistä betonia tehdessä. Betoniseos alkoi jähmettyä yllättävänkin nopeasti heti sekoittamisen jälkeen. Tämä on huomioitava uusiobetonin käyttökohdetta arvioitaessa, koska käsittelyaika voi olla normaalia huomattavasti lyhyempi.

5.1.4 Tulokset

Testit antoivat vahvistuksen siitä, että uusiobetonin käyttöä tulee edistää, ja sen takia testaamista ja kehittämistä tulee jatkaa. Oikeanlaisen uusiobetonimurskeen koon, veden määrän ja sementin määrän testaaminen on tärkeää, jotta uusiobetonista saadaan laadukasta lopputuotetta. Jatkossa on myös tutkittava, että voidaanko murskattavan betonin ominaisuuksia mitata nopeasti ja kustannustehokkaasti jo ennen murskausta. Näitä tietoja tarvitaan, jotta sekoituksista saadaan oikeanlaiset ja lopputuotteelle voidaan antaa tietyt laatutakuut.

6 LÄHTEET

- Asfalttitieto.fi. <http://asfalttitieto.fi/>. Viitattu 10.11.2021.
- Betolar Oy. <https://www.betolar.com>. Viitattu 26.10.2021.
- Betoniteollisuus ry A. <https://betoni.com>. Viitattu 30.9.2021.
- Betoniteollisuus ry B. <https://concretesolution.fi/karbonatisoituminen/>. Viitattu 26.10.2021.
- Biolaitosyhdistys.com. <http://biolaitosyhdistys.com/>. Viitattu 10.11.2021.
- Biomuoviopas, 2020. Muovipoli Oy: New Plastics Center NPC.
- Circhubs, 2018. <https://circhubs.fi/tietopankki/maa-ja-kiviainekset/>. Viitattu 10.11.2021.
- Delete. Deleten hiilijalanjälkimittaus purkutyömailla. <https://www.delete.fi/deletelehti/?showMenu>. Viitattu 24.8.2021.
- Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H. & Dahlbo, H.. RAPORTTI NRO D4.1–3 HELSINKI. Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet 2016.
- EU:n jätesäädöspaketin täytäntöönpano. Työryhmän mietintö. 2019.
- Eurostat. European Commission. Viitattu 21.10.2021.
- FDA. FDA – Finnish Demolition Association – Suomen Purkuliikkeiden liitto ry. www.fda.fi. Viitattu 23.8.2021.
- Finnsementti Oy. <https://finnsementti.fi/>. Viitattu 26.10.2021.
- Fonecta Oy. www.finder.fi. Viitattu 23.8.2021.
- Fortum, 2022. <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/kierratys-ja-jatepalvelut/kierratustuotteet-ja-palvelut/muovit>. Viitattu 25.1.2022.
- Gamle Mursten. <http://www.gamlemursten.eu/technology/>. Viitattu 10.11.2021.
- Granath, Juha (2020). Ratkaiseeko kemiallinen kierrätys muovien megaongelman? Kemia 7/2020.
- Greenreality. [Wimaon kiertotaloustehdas | Greenreality](#). Viitattu 12.11.2021.
- Haastattelu 25.8.2021. Matti Jaakkola.
- Haastattelu 16.9.2021. Matti Jaakkola.
- HE 40/2021. <https://finlex.fi/fi/esitykset/he/2021/20210040>. Viitattu 31.8.2021.
- Hinnasto Peittoon Kierrätysterminaali. Viitattu 27.10.2021.
- Häkämies, S., Lähdesmäki-Josefsson, K., Pitkämäki, A., Gaia Consulting Oy, Lehtonen, K. & Ytekki Oy. Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Loppuraportti 20.12.2019.
- JLY – Jätelaitosyhdistys ry. [JLY](#). Viitattu 19.1.2022.

Jäteasetus 179/2012. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120179>. Viitattu 3.9.2021.

Jätehinnastot. Deleten, Hevossuon jäteaseman ja Porin seudun jätteenkäsittelymaksujen hinnastot. Viitattu 2.9.2021.

Jätelaki 646/2011. <https://www.Finl.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>. Viitattu 3.9.2021.

Jäteverolaki 1126/2010. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126>. Viitattu 13.9.2021.

Kaatopaikka-asetus

Kemikaalilaki (599/2013). <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130599>. Viitattu 15.9.2021.

Kestopuuteollisuus ry. <https://www.kestopuu.fi/>. Viitattu 10.11.2021.

Kiertokapula. www.kiertokapula.fi. Viitattu 21.10.2021.

Kinnunen, R. & Kupiainen, R. (2019). Rakennustyömaan muovijätevirrat ja lajittelun ympäristövaikutukset. Opinnäytetyö. Energia- ja ympäristötekniikan koulutus. Karelia-ammattikorkeakoulu.

Knauf Oy. <https://knauf.fi/knauf-oy/ymparisto-laatu-ja-turvallisuus/kipsi>. Viitattu 10.11.2021.

Kuittinen, Matti (2019). Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa: Hankintaopas. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:31.

Käyhkö, Tuija (2019). Muovipakkausten jalanjälki voidaan puolittaa. Kemia 5/2019.

Laaksonen, J., Salmenperä, H., Stén, S., Dahlbo, H., Merilehto, K. & Sahimaa, O. (2018). Kierrätyksestä kiertotalouteen. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. Ympäristöministeriö.

Lahti, Jussi (2019). Purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehdot. Ekokumppanit Oy, Tampere.

Lassila & Tikanoja. <https://tietopankki.lt.fi/muovimuuvi-muovinaattori>. Viitattu 20.10.2021.

Lassilantuomi, Silja-Sofia (2020). Rakennusjätepuu biohiilen raaka-aineena ja biohiilen käyttösovellukset rakennusalalla. Opinnäytetyö.

Lentovero. <https://www.lentovero.fi/lentoliikenteen-kasvu-ja-paastot>. Viitattu 26.10.2021.

Liikanen, M., Helppi, O., Havukainen, J., & Horttanainen, M. (2018). Rakennusjätteen koostumustutkimus–Etelä-Karjala. LUT Scientific and Expertise Publications/Tutkimusraportit–Research Reports 82.

Lounais-Suomen Jätehuolto Oy, 2020. Valtakunnallinen poistotekstiilinkeräys laajenee – käsittelyn pilottilinjasto rakennetaan Paimioon. Mediatiedote 5.3.2020. <https://www.lsjh.fi/fi/valtakunnallinen-poistotekstiilinkerays-laajenee-kasittelyn-pilottilinjasto-rakennetaan-paimioon/>. Viitattu 25.1.2022.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (134/1999). <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. Viitattu 3.9.2021.

Motiva, 2021. Motivan uutiset. Kalvomuovi kiertoon rakentamisessa.

Muoviteollisuus ry. <https://www.plastics.fi/>. Viitattu 22.10.2021.

NCC. www.ncc.fi. Viitattu 12.11.2021.

Neste A, 2022. [Miksi kemiallista kierrätystä tarvitaan? | Neste](#). Viitattu 25.1.2022.

Neste B, 2020. [Neste RE mahdollistaa tulevaisuuden, jossa kaikki muovituotteet voidaan valmistaa uusiutuvista, kierrätetyistä materiaaleista – ja tulevaisuus alkaa tänään | Neste](#). Viitattu 27.1.2022.

Nieminen, Anna-Maria (2015). Murskatun betonin hyödyntäminen uusiokiviaineksena betonissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Nippala, E., & Vainio, T. (2016). Asuinrakennusten korjaustarve 2006-2035. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology No. 274.

Ohenoja, K., Danilov, V., Novakova I. & Perumal P. Betoni 3/2020. De-Concrete-hankkeessa tutkitaan rakennus- ja purkujätteen kierrätystä arktisilla alueilla.

Oulun energia, <https://www.ouluenergia.fi/palvelumme/kiertotalouden-edellakavija/>. Viitattu 4.4.2022.

Pajunen, Emmi. Eräiden jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa 6.11.2018. Pirkanmaan ELY-keskus. Viitattu 30.9.2021

Paukkunen, Simo. Rakennusjätekoostumustutkimuksen tuloksia Pohjois-Karjalassa. Karelia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.10.2021.

Peab, 2021. <https://peabasfalt.fi/asfalttituotteet/ymparistoystavalliset-ratkaisut/remix/>. Viitattu 12.11.2021.

Plasthouse. <https://plasthouse.fi/muovit>. Viitattu 20.10.2021.

Pohjanmaan jätelautakunta, 2017. (<https://www.ekoso.fi/fi/news/2018-01-04>). Viitattu 19.1.2022.

Porin kaupungin rakennusvalvonnan Lupapiste. Tiedot saatu 18.10.2021.

Puhelinhaastattelu 3.9.2021. Porin seudun jäteneuvonta.

Purkukolmio Oy. www.purkukolmio.fi. Viitattu 13.9.2021

Purkupiha Oy. www.purkupiha.fi. Viitattu 27.8.2021.

Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy. www.salpakierto.fi. LATE-lajittelulaitos -pdf esite. Viitattu 19.1.2022.

Rakennetun omaisuuden tila ROTI 2021-raportti, 2021.

Rakennusjäteopas 2018. Porin kaupunki. Viitattu 10.11.2021.

Rakennustarkkailija. <https://rakennustarkkailija.com/2021/07/05/rakennuslan-jatteet-ja-kierratys/>. Viitattu 28.9.2021.

Rakennusteollisuus RT ry. www.rakennusteollisuus.fi. Viitattu 23.8.2021.

Rakentaja.fi. <https://www.rakentaja.fi/>. Viitattu 26.10.2021.

- Rakli ry. <https://www.rakli.fi/ilmastonmuutoksen-torjunta/kiertotalous/>. Viitattu 26.10.2021.
- Rudus. <https://www.rudus.fi/>. Viitattu 26.10.2021.
- Rudus, 2021. <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/uuma-betoni>. Viitattu 7.2.2021.
- Saarinen, Elina. Tanskalainen kipsijätteen kierrättäjä tulee Suomeen. Uusiouutiset Vol. 24 (2013).
- Saint-Gobain Finland Oy / Gyproc. (<https://www.gyproc.fi/kipsin-kierratys>). Viitattu 10.11.2021.
- Salpakierto Oy, 2017. LATE-lajittelulaitos virtuaalikierrros 360 (video). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=dbgjMuv2Avc>.
- Satakunnan Kansa, 2022. BMH Technology Oy:lle jätteenkäsittelylaitostilaus Vietnamista. 16.2.2022.
- Sieppi, Susanna (2020). Lehdistötiedote. <https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-uutiset/muovit/nesteen-ensimmainen-nesteytetyn-muovijatteen-teollisen-mittakaavan-koeajo-suomessa-onnistuneesti-paatokseen>. Viitattu 27.1.2022.
- Sieppi, Susanna (2022). [Nesteen ensimmäinen sarja nesteytetyn jätemuovin teollisen mittakaavan koeajoja Porvoossa saatu onnistuneesti päätökseen | Neste](https://www.neste.fi/tiedotteet-ja-uutiset/muovit/nesteen-ensimmainen-sarja-nesteytetyn-jatemuovin-teollisen-mittakaavan-koeajoja-porvoossa-saatu-onnistuneesti-paatokseen). Viitattu 27.1.2022.
- Sihvola, Ville (2016). Kaupallisen sekajätteen mekaaniset käsittelyprosessit ja laitosinvestoinnin kannattavuus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.
- Simola, Leena-Kaisa. Active-betonilaatat puhdistavat ilmaa. Betoni 3/2015.
- Sitra, 2016. Kierrolla kärkeen. Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2015. Sitran selvityksiä 117.
- Sitra, 2018. <https://www.sitra.fi/blogit/komposiittien-yhteiskunta/>. Viitattu 12.11.2021.
- Sitra, 2019. <https://www.sitra.fi/hankkeet/kriittinen-siirto-kiertotalouden-tiekartta-2/>. Viitattu 26.10.2021.
- Stena Recycling Oy. <https://www.stenarecycling.fi/>. Viitattu 10.11.2021.
- Suomen biohiilyhdistys. <https://www.suomenbiohiili.fi/>. Viitattu 12.11.2021.
- Suomen Uusiomuovi Oy. www.uusiomuovi.fi. Viitattu 22.10.2021.
- Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto (verkkajulkaisu). ISSN=1798-3339. 2019, Liitetaulukko 1. Jätteiden synty toimialoittain 2019, 1 000 tonnia. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 23.8.2021.
- Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto (verkkajulkaisu). ISSN=1798-3339. 2019, Liitetaulukko 2. Jätteiden käsittely 2019, 1 000 tonnia. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 23.8.2021.
- Sähköposti 25.10.2021. Juha Espo, Tilastokeskus.
- Tampereen yliopisto, 2021. Käytetyt betonielementit kokonaisina osaksi uutta taloa – kansainvälinen suurhanke kehittämään ratkaisuja. <https://www.tuni.fi/fi/ajankohtaista/kaytetyt-betonielementit-kokonaisina-osaksi-uutta-taloa-kansainvalinen-suurhanke>. Viitattu 3.2.2021.
- Tarpaper Recycling Finland Oy. <https://tarpaper.fi/>. Viitattu 26.10.2021.

Tekniikka&talous, 28.2.2022, "180 000 tonnia vuodessa – Näin robotit lajittelevat jätteet Suomeen avatussa Euroopan moderneimmassa kierrätyslaitoksessa".

Tekniikka&talous, 10.11.2021, "Moderni kierrätyslaitos erottelee jätteet infrapunalla ja paineilmalla".

Tiede, 2022. Bakteerit muuttuvat muovinsyöjiksi. Tiede 2/2020.

Uusioaines Oy. <https://www.uusioaines.com/>. Viitattu 10.11.2021.

Uusioasfaltti, 2012. Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi PTL.

Uusiouutiset, 2014. <https://www.uusiouutiset.fi/kipsilevyn-ja-kattohuovan-kierratysidea-eteni-pilotiksi/>. Viitattu 12.11.2021.

Uusiouutiset 2016. <https://www.uusiouutiset.fi/late-lajittelulaitoksen-ensi-ilta/>. Viitattu 20.1.2022.

Tiiliteollisuus. <https://www.tiili-info.fi/>. Viitattu 10.11.2021

Yle, 2017 A. <https://yle.fi/uutiset/3-9523833>. Viitattu 30.9.2021. 22.3.2017

Yle, 2017 B. <https://yle.fi/uutiset/3-9901767> Viitattu 26.10.2021.

Yle, 2019. <https://yle.fi/uutiset/3-10599278>. Viitattu 26.10.2021.

Yle, 2020 A. <https://yle.fi/uutiset/3-11341859>. Viitattu 28.9.2021.

Yle, 2020 B. <https://yle.fi/uutiset/3-11147788>. Viitattu 26.10.2021.

Ymparisto.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI>. Viitattu 2.9.2021.

Ympäristöministeriö, 2018. Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Muovitekarta Suomelle.

Ympäristöministeriö, 2020. Rakentamisen muovit. Muovitekarta Suomelle 9/2020.

Ympäristöministeriö, 2021. [Betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen etenee - Ympäristöministeriö](#). Viitattu 10.11.2021.

Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:9.

Ympäristöministeriön raportteja 21/2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen.

Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat.

Ympäristöministeriön raportti 17/2014.

Ympäristönsuojelulaki (527/2014). <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>. Viitattu 2.9.2021.

Ympäristöteollisuus ja -palvelut YTP ry. <https://ytpliitto.fi/kun-jate-lakkaa-olemasta-jate/>. Viitattu 1.10.2021.

Valtioneuvosto A. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/maatalouden-ja-maankayttosektorin-ilmastotoimilla-kohti-hiilineutraalia-suomea>. Viitattu 13.9.2021.

Valtioneuvosto B. Hiilineutraaliuden saavuttaminen. Hallituksen neuvottelut vuoden 2022 talousarvioesityksestä. Hallituksen neuvottelussa hyväksytyt ilmastokirjaukset 9.9.2021. Viitattu 13.9.2021.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017), MARA-asetus. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>. Viitattu 2.9.2021.

Verohallinto A. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/jatevero/>. Viitattu 13.9.2021.

Verohallinto B. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56196/jateverotu/>. Viitattu 13.9.2021.

Vimelco A, 2018. <https://www.vimelco.fi/tuotteet/ballistor-ballistinen-erotin/>. Viitattu 19.1.2022.

Vimelco B, 2018. <https://www.vimelco.fi/optinen-erottelu-jatteiden-kierratyksessa/>. Viitattu 19.1.2022.

VTT, 2019. [VTT: Huonolaatuinenkin muovijäte | VTT \(vttresearch.com\)](https://www.vttresearch.com/vtt-huonolaatuinenkin-muovijate). Viitattu 12.11.2021

VTT, 2022. [Termokemiallinen konversio | VTT \(vttresearch.com\)](https://www.vttresearch.com/termokemiallinen-konversio). Viitattu 25.1.2022.

Väänänen, S. & Thompson, L-A. Mitä tarkoitetaan vihreällä asfaltilla? Tie & Liikenne -lehti 2/2020.

7 LIITE

Liite 1: Haastatteluihin osallistuneet yritykset

Yritys: Maanrakennus Jouko Kärkkäinen Oy, Harjavalta

Haastateltava: Jouko Kärkkäinen

Toimiala: Pääasiallinen toimiala on maanrakennus ja maansiirto, lisäksi palveluihin kuuluvat myös kuljetukset ja vaihtolavat

Yritys: Rakennepurku M & K Oy, Harjavalta

Haastateltavat: Mika Mäntylä, Juha-Pekka Nurmi

Toimiala: Kokonais- ja rakennepurut

Yritys: Porin Teollisuusputki Oy, Pori

Haastateltava: Jussi Hakanen

Toimiala: Yritys toimii metalli- ja teknologiateollisuudessa, palveluihin kuuluvat mm. putkisto- ja laiteasennukset, korkeapaineputkistot ja prosessilaitteistot

Yritys: Sarako Oy, Ulvila

Haastateltavat: Reijo Hämäläinen, Raimo Kaipainen

Toimiala: Betoniteollisuuden kuljetuskoneet ja laitteet

Yritys: Rakennuspalvelu M. Kallioinen Oy, Ulvila

Haastateltava: Mika Kallioinen

Toimiala: Yrityksen palveluihin kuuluvat asuntorakentaminen, julkisten rakennusten uudis- ja saneeraustyöt, korjausrakentaminen sekä linjasaneeraukset ja putkiremontit