

Niina Lappalainen

# JÄTTEEN PUTKIKERÄYKSEN KIERTOTALOUTTA TUKEVAT KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Hannele Auvinen  
Kesäkuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Niina Lappalainen: Jätteen putkikeräyksen kiertotaloutta tukevat kehitysmahdollisuudet  
Development opportunities of pneumatic waste collection system in support of circular economy.

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka

Kesäkuu 2021

---

Jätelain uudistumisen myötä yhdyskuntajätteelle on asetettu tiukemmat kierrätystavoitteet. Niiden avulla pyritään edistämään kiertotalouteen siirtymistä. Myös jätteen keräystapa on uudistumassa, sillä jäteautoilla tapahtuvan kiinteistökohtaisen jätteen keräyksen rinnalle on tullut jätteen alueellinen putkikeräysjärjestelmä.

Tässä kandidaatintyössä selvitetään mitä jätejakeita on mahdollista kerätä alueellisella putkikeräysjärjestelmällä, miten näitä jätejakeita voidaan hyödyntää kiertotaloudessa, sekä miten alueellisen putkikeräysjärjestelmän kehitysmahdollisuudet vertautuvat nykyisin käytössä olevaan autokeräysjärjestelmään. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena.

Alueellisessa putkikeräysjärjestelmässä jätteet kulkevat syöttöpisteiltä ilmapvirran avulla maanalaista kuljetusputkistoa pitkin koonta-asemalle. Suomessa tällaisia keräysjärjestelmiä on toiminnassa viisi ja kuudes on rakenteilla. Putkikeräyksellä kerätään näissä järjestelmissä enimmäkseen viittä jätejakeita: sekajätettä, biojätettä, kartonkia, paperia ja muovia.

Työssä havaittiin, että sekajätteessä on vielä paljon hyötyjätejakeita. Aiemmissä selvityksissä on huomattu, että erityisesti biojätteen ja muovin erilliskeräyksen lisäämisellä on suuri merkitys kierrätystavoitteisiin pääsemisessä. Sekajätettä voidaan hyödyntää energiantuotannossa, mutta tämänhetkinen käsittelykapasiteetti ei ole riittävä, vaan sekajätettä joudutaan viemään ulkomaille. Biojätteen hyödyntämisellä saadaan parannettua jätteen polttoa, otettua talteen ravinteita ja korvattua fossiilisia polttoaineita. Myös muovin kierrätys vähentää fossiilisten raaka-aineiden tarvetta tuotannossa ja kierrätysmuovin hiilidioksidipäästöt ovatkin jopa 90 % neitseellistä alhaisemmat. Suomessa muovin kierrätyskapasiteetti ei kuitenkaan ole riittävä tällaisenaan. Paperin ja kartongin kuituja voidaan uusiokäyttää ja kierrätyskuitu onkin raaka-aineena halvempaa kuin neitseellinen kuitu. Sekä erilliskerätyn muovin että kartongin määrään on odotettavissa kasvua.

Autokeräykseen haasteita loivat ajoreittien ja tyhjennysvälien optimointi, yksilokeroautojen joustamattomuus jätteen laadun suhteen, sekä kuntien mahdollisuus valita kiinteistön haltijan järjestämä jätteen kuljetus. Kehitysmahdollisuudet kohdistuivatkin jäteauton uusiutuviin polttoaineisiin, keräysreittien optimointiin mm. täyttymisantureista saadun datan avulla sekä monilokerokeräykseen. Tyhjennysvälielvoitteiden päivittämisellä, kaasuautoilla ja yhden palveluntarjoajan mallilla on mahdollista vähentää sekä päästöjä että kustannuksia.

Alueellisessa putkikeräysjärjestelmässä kehityskohteeksi tunnistettiin hinnoittelu, järjestelmän älyllistäminen ja näiden mahdollinen yhdistäminen jäteseuranta- ja neuvontasovellukseksi. Putkikeräysjärjestelmän merkittävä haaste on sen sijainti maan alla, minkä seurauksena muutoksia on vaikea tehdä. Sijainnin ansiosta muodostuvat myös putkikeräysmenetelmän edut: vähentynyt melu, liikenneuhka ja paikalliset päästöt jäteautoliikenteen poistumisen myötä. Molempien keräysmenetelmien tukena on oltava lajitteluneuvontaa, jotta kerättävät jätejakeet ovat laadultaan hyödyntämiskelpoisia.

Avainsanat: alueellinen putkikeräysjärjestelmä, kiertotalous, kierrätys, jätteen keräys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. VALITTUJEN JÄTEJAKEIDEN ESITTELY JA NIIDEN MERKITYS KIERTOTALOUDESSA .....	3
2.1 Sekajäte.....	3
2.2 Biojäte.....	5
2.3 Muovi.....	6
2.4 Kartonki ja paperi.....	7
3. JÄTTEEN PUTKIKERÄYKSEN TEKNINEN TAUSTA .....	9
3.1 Nykyinen autokeräysjärjestelmä.....	9
3.2 Alueellisen putkikeräysjärjestelmän yleinen periaate .....	11
3.3 Esimerkkijärjestelmänä Vuores .....	12
4. HAASTEET JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET .....	15
4.1 Autokeräys.....	15
4.2 Putkikeräys .....	17
5. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	19
LÄHTEET .....	20

# 1. JOHDANTO

Suomessa tuotettiin 3 122 705 tonnia yhdyskuntajätettä vuonna 2019, mikä vastaa 565 kilogrammaa henkilöä kohden (Tilastokeskus 2020). Yhdyskuntajätettä ovat kotitalouksissa syntyneet ja siihen koostumukseltaan verrattavissa olevat hallinto-, palvelu- ja elinkeinotoiminnassa syntyvät jätteet, jotka ovat kunnan jätehuollon piirissä (Salmenperä *et al.* 2019).

Vuonna 2018 voimaan tulleen EU-direktiivin mukaan sen jäsenmaiden on saavutettava vuoteen 2025 mennessä 55 % kierrätysaste yhdyskuntajätteelle ja nostettava se vuoteen 2030 mennessä 60 %:iin. Vuonna 2035 sen on oltava 65 %. Suomessa yhdyskuntajätteen kierrätysaste on ollut 41 % vuonna 2019. Lisäksi on määritelty pakkausjätteelle erilliset kierrätystavoitteet. (Salmenperä *et al.* 2019) Uuden jätelain myötä laajennetaan jätteiden erilliskeräystä, biojätteen, pienmetallijätteen ja pakkausjätteen erilliskeräyksen tullessa pakolliseksi kaikissa taajamien vähintään viiden huoneiston kiinteistöissä. Biojätteen erilliskeräystä laajennetaan lisäksi kaikkiin kiinteistöihin vähintään 10 000 asuukaan taajamissa. Uudistukset on tarkoitus saada toteutettua viimeistään vuonna 2024. (Ympäristöministeriö 2021) Jätehuollon lainsäädännön uudistamisella pyritään edistämään kiertotalouteen siirtymistä. Kiertotaloudessa pyritään vähentämään jätteen määrää pidentämällä tuotteiden elinkaarta ja uudelleenkäyttämällä materiaali mahdollisuuksien mukaan.

Yhdyskuntajätettä kerätään Suomessa pääosin autokeräyksenä. Jätteen autokeräyksellä tarkoitetaan tässä työssä keräysmenetelmää, jossa jätteet viedään pihalla tai jätehuoneessa sijaitseviin keräysastioihin. Keräysastiat käydään tyhjentämässä tietyin väliajoin jäteautoon paikan päällä ja ne kuljetetaan sitten jätteenkäsittelyyn.

Uudehko menetelmä jätteen keräykselle on alueellinen putkikeräys, jolla tarkoitetaan tässä työssä maanalaista automatisoitua keräysjärjestelmää. Jätteen alueellisessa putkikeräysjärjestelmässä lajitellut jättejakeet kuljetetaan keräyspisteeltä yli- tai alipaineen avulla kuljetusputkea pitkin koonta-asemalle, mistä jättejakeet kuljetetaan käsiteltäväksi. Putkikeräysjärjestelmät rajattiin tässä työssä koskemaan alueellista jätteenkeräysjärjestelmää, sillä se on käytössä yhdyskuntajätteen keräyksessä. Putkikeräysjärjestelmän eduiksi on havaittu aiemmissa tutkimuksissa haju- ja meluhaittojen väheneminen, energiantarpeen pieneneminen ja jäteautojen poistuminen asuinalueilta. (Vijselaar 2007;

Teerioja *et al.* 2012) Maanalainen keräysmenetelmä vapauttaa arvokasta pinta-alaa muuhun käyttöön kaupunkialueilla (Fernández *et al.* 2015).

Työn tavoitteena on etsiä keinoja, joilla putkikeräysjärjestelmää voidaan kehittää kiertotaloutta tukevaksi. Tämä tarkoittaa esimerkiksi keinoja lajittelutehokkuuden ja kerättävien jakeiden laadun parantamiseksi. Tässä työssä selvitetään mitä jätejakeita on mahdollista kerätä putkikeräyksellä, mikä merkitys niiden hyödyntämisellä on, sekä miten putkikeräysjärjestelmä toimii. Löydettyjä kehityskeinoja vertaillaan myös autokeräyksen kehitysmahdollisuuksiin, sillä sen tarve ei poistu kokonaan putkikeräyksen myötä.

Työn luvussa 2 esitellään putkikeräyksellä kerättävien materiaalien, eli sekajätteen, muovin, kartongin, paperin ja biojätteen merkitystä kiertotaloudessa. Lisäksi pohditaan niiden uudelleenkäyttöpotentiaalia, sekä arvioidaan miten paljon kunkin jakeen keräystä pitäisi tehostaa, jotta tavoiteltuun kierrätysasteeseen päästäisiin. Kolmannessa luvussa perehdytään ensin nykyiseen vallitsevaan jätteenkeräysmenetelmään, eli autokeräykseen, jätteen alueellisen putkikeräyksen toimintaperiaatteeseen, ja lopuksi esitellään esimerkinomaisesti jo olemassa olevia järjestelmiä. Neljännessä luvussa pohditaan alueellisen putkikeräysjärjestelmän kiertotaloutta tukevia kehitysmahdollisuuksia haasteiden kautta. Viidennessä ja viimeisessä luvussa kootaan vielä yhteen tärkeimmät havainnot ja johtopäätökset.

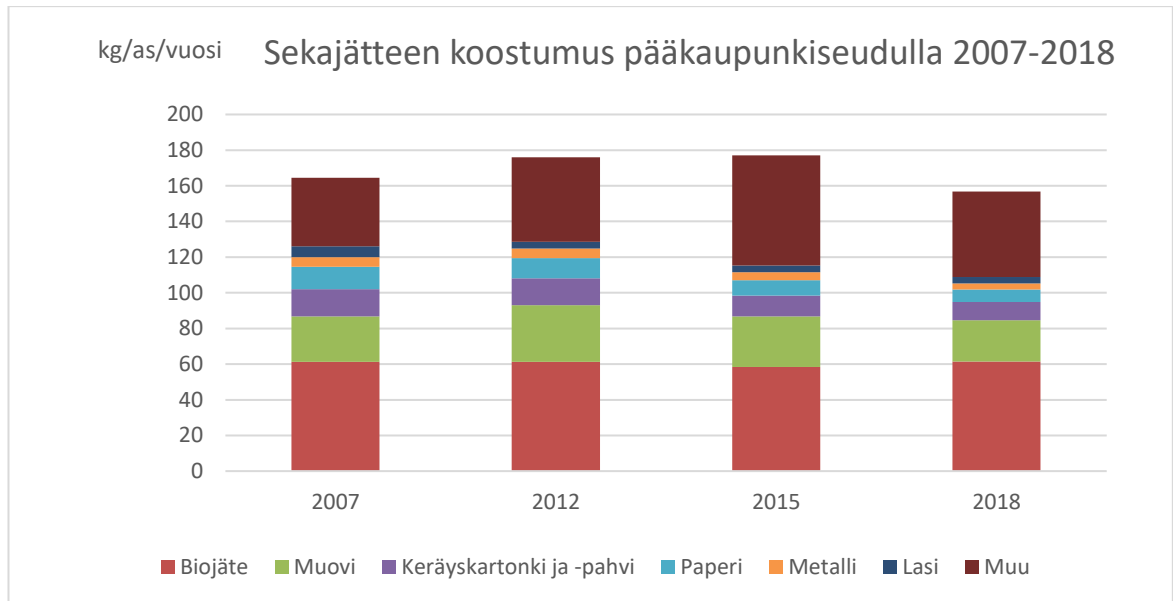
## 2. VALITTUJEN JÄTEJAKEIDEN ESITTELY JA NIIDEN MERKITYS KIERTOTALOUDESSA

Tarkasteluun valitut jättejakeet ovat sekajätteen lisäksi biojäte, muovi, paperi ja kartonki. Suomen putkikeräysjärjestelmissä ei tällä hetkellä kerätä lasia tai metallia erikseen. Painavat ja kovat esineet voivat vahingoittaa järjestelmän tekniikkaa. (“Jätteiden putkikeräysjärjestelmä | Uutta Helsinkiä” 2017; “Nämä jätteet putkeen” 2020). Eräissä tutkimuksissa lasin ja muun kovan jätteen huomattiin aiheuttavan suurta kulumista mutkissa, minkä seurauksena järjestelmään tuli häiriöitä (*Farré et al.* 2021). Tarkasteltavat jättejakeet ovat myös avainasemassa tiukentuneisiin kierrätystavoitteisiin pääsemisessä (Salmenperä *et al.* 2019). Esimerkiksi Vuoreksessa kerätään putkijärjestelmällä biojätettä, sekajätettä, paperia ja kartonkipakkauksia. Helsingin Jätkäsaarella sekä Kalasatamassa kerätään näiden lisäksi myös muovipakkauksia (“Jätteiden Putkikeräysjärjestelmä | Uutta Helsinkiä” 2017; “Nämä jätteet putkeen” 2020).

Kierrätystavoitteissa ei ole eritelty kotitalousjätteelle omia tavoitteita, joten hyödynnetään niissä yhdyskuntajätteelle asetettuja arvoja. Tässä luvussa kerrotaan, mitä vaikutuksia jättejakeilla on niiden päätyessä sekajätteeseen, mitä rajoituksia kerättävillä jakeilla on ja miten materiaaleja voidaan uudelleen käyttää tai jatkojalostaa. Lisäksi käsitellään sekajätteen koostumusta ja kerätyn määrän kehitystä, sekä niiden liittymistä kierrätystavoitteisiin.

### 2.1 Sekajäte

Sekajätteellä tarkoitetaan jätelain mukaan sekalaista yhdyskuntajätettä, joka jää jäljelle, kun siitä on kerätty erilleen erilliskerättävät jakeet. Sekajätteen koostumukseen vaikuttaa siis syntypaikkalajittelun tehokkuus. Kuvassa 1 on esitetty sekajätteen koostumusta pääkaupunkiseudulla välillä 2007–2018.



**Kuva 1.** Sekajätteen määrä (kg) ja koostumus vuodessa asukasta kohden. Muokattu lähteestä ("Sekajätteen koostumus pääkaupunkiseudulla - HSY" n.d.)

Kuvaajasta huomataan, että sekajätteessä on huomattava osuus biojätettä: sen osuus on noin 30 %. Lisäksi muovin sekä keräyskartongin ja -pahvin erottelutehokkuudessa on parannettavaa. Sekajätteen määrä on tutkimusvuosina pysynyt melko samana, mutta yhdyskuntajätteen määrässä on viime vuosina ollut hienoista kasvua (Tilastokeskus 2020). Yhdyskuntajätteestä meni vuonna 2019 yli puolet, noin 56 % energiahyödyntämiseen, kuten sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Tämä oli suurilta osin sekajätettä. Vuonna 2016 voimaantulleen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vuoksi kaatopaikkasijoitukseen meni enää vain alle prosentti. (Tilastokeskus 2020)

Kaikkea sekajätettä ei pystytä hyödyntämään Suomen jätevoimaloissa, vaan osa viehdään ulkomaille käsiteltäväksi. Vuonna 2020 ulkomaille vietiin ensi kertaa myös kotitalouksissa kerättyjä muovipakkauksia. ("Jätteiden vienti- ja tuontimäärät" 2021) Käsitteilykapasiteetin lisäyksellä välttyttäisiin ylimääräisiltä kuljetuspäästöiltä, sillä sekajätteen määrässä ei ainakaan vielä ole nähtävissä vähenemistä.

Sekajätteen koostumuksen perusteella on laskettu nykyinen kierrätysaste sekä arvioitu millaisia vaikutuksia erilliskeräyksen tiukentamisella olisi. Esitetyt prosenttiyksiköt ovat suoria parannuksia yhdyskuntajätteen kierrätysasteeseen. Uuden jätelain mukaiset muutokset vaikuttaisivat biojätteen osalta 2,5–6 %, kartongin ja pahvin osalta 0,5 % ja muovipakkausten osalta 0,5 % mikäli kunkin lajittelutehokkuus kasvaisi 20 % nykyisestä. Muovipakkauksilla oli tutkimushetkellä pienin kierrätysaste. Mikäli se nousisi kolminkertaiseksi, olisi vaikutus jopa 1,6 %. Kierrätystavoitteiden nousu siis vähentää sekajätteen

määrää, mutta merkittäviä muutoksia saadaan, kun erilliskeräysvelvoitteet ovat huomattavasti uutta, vähintään viiden huoneiston kiinteistöjä koskevaa velvoitetta tiukemmat. Tavoitetta vaikeuttaa jätteenkeräyksen vastuun hajanaisuus. Erityisesti mahdollisuus valita kiinteistönhaltijan järjestämä jätteenkuljetus ei edistä jätteenkeräyksen optimointia. (Salmenperä *et al.* 2019)

## 2.2 Biojäte

Biojäte on biologisesti hajoavaa, eloperäistä jätettä, jota syntyy kotitalouksissa pääosin elintarvike- ja keittiöjätteenä. Vuonna 2019 erilliskerätyn biojätteen osuus oli 464 267 tonnia, eli 14,8 % kokonaisjättemäärästä (Tilastokeskus 2020). Biojäte käsitellään yleisimmin kompostoimalla, mädättämällä tai polttamalla sekajätteen mukana jätevoimalassa (Niskanen & Kemppi 2019).

Kompostoinnin seurauksena orgaaninen aines hajoaa muodostaen kompostimultaa. Samalla vapautuu energiaa lämpönä. Kompostointia voidaan tehdä kotona tai käsittelylaitoksella. Biojätteen mädätyksellä saadaan hapettomissa olosuhteissa tuotettua metaania, jota voidaan käyttää maakaasun tapaan energiantuotannossa (Christensen 2011). Tätä biokaasua voidaan käyttää ajoneuvojen polttoaineena korvaamassa fossiilisia polttoaineita. Mädätettä voidaan hyödyntää teollisten lannoitteiden korvaajana tai kompostoinnin jälkeen mullanvalmistuksessa turpeen korvikkeena. Tällöin voidaan vähentää esimerkiksi turpeen tuotannosta syntyviä päästöjä (Niskanen & Kemppi 2019).

Biojätettä voidaan myös polttaa muun jätteen seassa, ja sen lämpöarvo on melko lähellä paperia, kartonkia ja puuta. Kuitenkin korkean kosteuspitoisuuden vuoksi lämpöenergiaa kuluu veden haihduttamiseen, mikä laskee palamisen lämpötilaa. (Christensen 2011) Tällöin voidaan joutua käyttämään palamisen apuna tukipolttoainetta. Polttamalla biojätteen ravinteita ei saada kerättyä talteen, toisin kuin kompostoinnilla tai mädätyksellä (Niskanen & Kemppi 2019). Lisäämällä biojätteen erilliskeräystä tai kotikompostointia koskemaan kaikkia kiinteistöjä, voidaan yhdessä muiden hyötyjätejakeiden keräyksen tehostamisen kanssa päästä 55 % kierrätystavoitteeseen (Salmenperä *et al.* 2019).

Biojätteen erilliskeräyksen ja kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöt voivat olla tiheään asutuilla alueilla yhtä suuret, kuin sen käsittelystä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Harvempaan asutulla alueella keräyksen osuus on suhteellisesti isompi. Tästä syystä biojätteen tyhjennysväliä on suuri merkitys siitä aiheutuville päästöille ja kustannuksille. Pääkaupunkiseudulla toteutetussa tutkimuksessa huomattiin, että keräyksen kustannuksia saatiin vähennettyä jopa 33 % ja vastaavasti päästöjä 34 %, kun tyhjennysväli piteni



yhdestä kahteen viikkoon. Tyhjennysvälin pituuteen vaikuttaa mm. halu ehkäistä hajuhaittoja. (Salmenperä *et al.* 2019)

## 2.3 Muovi

Muovia valmistetaan pääosin fossiilisista raaka-aineista, kuten öljypohjaisista polymeereistä. Öljyalosteiden tuottaminen on energiaintensiivistä, mikä johtuu siitä, että neitseellisen muovin tuotannossa päästöjä syntyy raaka-aineen lisäksi sen muokkaamiseen kuluva energia. Päästöjen vähentämisen näkökulmasta muovin kierrättäminen raaka-aineeksi on kannattavaa, mikäli sillä korvataan tuotteita, jotka muuten valmistettaisiin öljystä. (Christensen 2011). Sitran ja European Climate Foundationin julkaiseman selvityksen mukaan muovin valmistus kierrätetystä raaka-aineesta vähentää sen hiilidioksidipäästöjä jopa 90 % (Enkvist & Klevnäs 2018). Energiahyödynnyksessä muovi on haluttavaa sen öljyä vastaavan lämpöarvon vuoksi, joka onkin esimerkiksi biojätteeseen verrattuna noin kolminkertainen (Christensen 2011).

Muovipakkausten keräys aloitettiin Suomessa vuonna 2016 laajennetun tuottajavastuun myötä. Samalla kierrätystavoitetta muokattiin siten, että siitä poistettiin pantilliset muovipakkaukset. (Rasmussen 2014). Vuoden 2019 kokonaisjättemäärästä oli erilliskerättyä muovia 74 497 tonnia eli noin 2,4 prosenttia (Tilastokeskus 2020). Muovin keräys käsittelee tällä hetkellä pakkausmuovien keräyksen, ja siitä vastaa Suomen UusiMuovi Oy ("Suomen UusiMuovi Oy" n.d.). Muovipakkauksien kierrätysaste vuonna 2019 oli 42 % (ELY-keskus 2020)

Pakkausmuoveiksi käsitetään kaikki tuotteen ympärillä olevat laatikot, pussit, kääreet, kelmut, hihnat jne. Yhdyskuntajätteestä kerätyn muovin käsittelyn hoitaa Fortumin Riihimäen muovinjalostamo. Muovinjalostamolla on mahdollista käsitellä PP-, HDPE- tai LDPE-muoveja, ja PET-muovilaadun käsittelee siihen erikoistunut yritys. ("Kysymyksiä ja vastauksia muovin kierrätyksestä" n.d.) PET-muovista, jota käytetään muun muassa pulloissa, voidaan valmistaa esimerkiksi fleecakangasta, makuupusseja ja tynyjä. (Christensen 2011)

Nykyisellään Suomen muovinkäsittelykapasiteetti ei kuitenkaan ole riittävä. Riihimäen muovinjalostamon enimmäiskapasiteetti on 18 000 tonnia vuodessa (ympäristölupahakemus), eli vain noin 24 % erilliskerätystä muovista olisi voitu käsitellä siellä vuonna 2019. Kuitenkin muovipakkauksien osuus laitoksen kapasiteetista on noin kolmannes, jolloin kotitalouksista kerätystä, pääosin pakkausmuovista voidaan käsitellä siellä vasta noin 8 %. Muovi käsitellään mekaanisesti murskaamalla, tarvittaessa pesemällä ja kui-

vaamalla ennen valmistusta muovigranulaateiksi ja -profiileiksi. Nämä toimitetaan muoviteollisuuden raaka-aineeksi sekä rakennustuotteiksi. Kierrätykseen kelpaamaton muovi, kuten toisissaan kiinni olevat eri muovilaadut ja vahvasti värjätty muovi, ohjataan rejektinä polttoon. (Johansson & Järvinen 2019)

Kemiallisesti kierrätetyn muovin laatu on teknisesti samanlainen kuin neitseellisessä raaka-aineessa. Kemiallinen kierrätys on kuitenkin ylimääräinen tuotantovaihe neitseelliseen materiaaliin verrattuna, minkä vuoksi kierrätysmateriaalin käyttöön tarvitaan muunlaisia kannusteita. Näitä ovat esimerkiksi raakaöljyn hinta, asiakaspaine ja mahdollisesti massataseeseen perustuvat kierrätysmateriaalivelvoitteet. Kemiallisella kierrätyksellä voidaan käsitellä sellaista muovijätettä, joka ei kelpaa mekaaniseen käsittelyyn. Kestävyyšnäkökulmasta haasteena on prosessiin kuuluva energia. Kemiallisen kierrätyksen on kuitenkin laskettu olevan hiilidioksidipäästöjen kannalta parempi vaihtoehto kuin polttaminen. (Roschier *et al.* 2020)

## 2.4 Kartonki ja paperi

Erilliskerättyä paperi- ja kartonkijätettä oli vuonna 2019 noin 14,2 % kokonaisjätelmästä (Tilastokeskus 2020). Myös näiden jakeiden keräämisestä ja käsittelystä vastaavat tuottajat. Tällä hetkellä kartonkia ja paperia kerätään erillisillä RINKI-ekopisteillä sekä tarvittaessa kiinteistöjen omissa keräyspisteissä. Paperinkeräykseen kelpaavat esimerkiksi valkaistu paperi, kirjekuoret ja sanomalehdet, kun taas kartonginkeräykseen sopivat erilaiset nestekartongit, pahvilaatikot ja ruskea paperi. Myös kaupoissa käytetty pakkausmateriaali sopii kierrätykseen. ("Nämä jätteet putkeen" 2020)

Kartonkia ja paperia tuotetaan selluloosakuidusta, jota saadaan havupuista ja joistakin kovista puulajeista, kuten koivusta. Keräyskuitu on halvempaa kuin neitseellinen kuitu, mikä houkuttelee käyttämään sitä raaka-aineena. (Palanterä 1996) Pisimmät kuidut, ja siten vahvinta materiaalia, saadaan kemikaalisella käsittelyllä havupuista. Palanterän esittelemässä tutkimuksessa samasta kierrätyskuidusta voitiin valmistaa paperia ja kartonkia jopa 16 kertaa. Käytännössä kierrätyskuidut voivat olla eri-ikäisiä ja osa materiaalista jää käyttöön. Tällöin käytetään lisänä neitseellistä kuitua, joka myös parantaa massan ominaisuuksia. Kierrätyskuidut ovat käsittelyn ja leikkauksen vuoksi lyhyempiä kuin neitseelliset kuidut, eivätkä ne siksi muodosta yhtä vahvoja sidoksia. Tästä syystä niistä ei voida valmistaa täysin vastaavia tuotteita. (Palanterä 1996) Kierrätyskuidun käyttöä

elintarvikepakkauksissa säätelee EU:n asetus 1935/2004, joka rajoittaa suoraan elintarvikkeeseen kosketuksissa olevia materiaaleja. Esimerkiksi jos kierrätyskuitu sisältää raskasmetalleja sisältävää painomustetta, ei sitä voitaisi hyödyntää uudelleen elintarvikkeen pakkauksena. ("Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:0 1935/2004" 2004)

Kierrätettyä paperia ja kartonkia voidaan käyttää esimerkiksi pakkausmateriaaleissa, sanomalehdissä ja pienempinä osuuksina myös käärepapereissa ja graafisissa papereissa. (Christensen 2011) Kartonkikuidusta valmistetaan lisäksi muun muassa aaltopahvia, pehmopaperia, kirjekuoria ja hylsyjä paperi- ja kangasrulliin. Kuiduista irrotetut muovi- ja alumiinipinnoitteet saadaan myös hyödynnettyä energiana tai kierrätettynä raaka-aineena. ("Kartonki ja pahvi - HSY" n.d.; Palanterä 1996)

Kartongin määrä on kasvussa, kun taas paperin kysyntä on laskenut. Trendiin vaikuttaa muovipakkausten korvaaminen sellu- ja kartonkituotteilla, sekä verkkokaupan kasvun myötä lisääntynyt pakkauskartongin kysyntä. Erityisesti pakkauskartongin määrään ei ole odotettavissa vähenemistä verkkokaupan ollessa kasvussa. (Schönberg 2021) Lisäksi paperin kierrätystehokkuus on jo korkea, jolloin sen erilliskeräyksen tehostuksella ei ole juurikaan vaikutusta nykyiseen kierrätysasteeseen (Salmenperä *et al.* 2019).

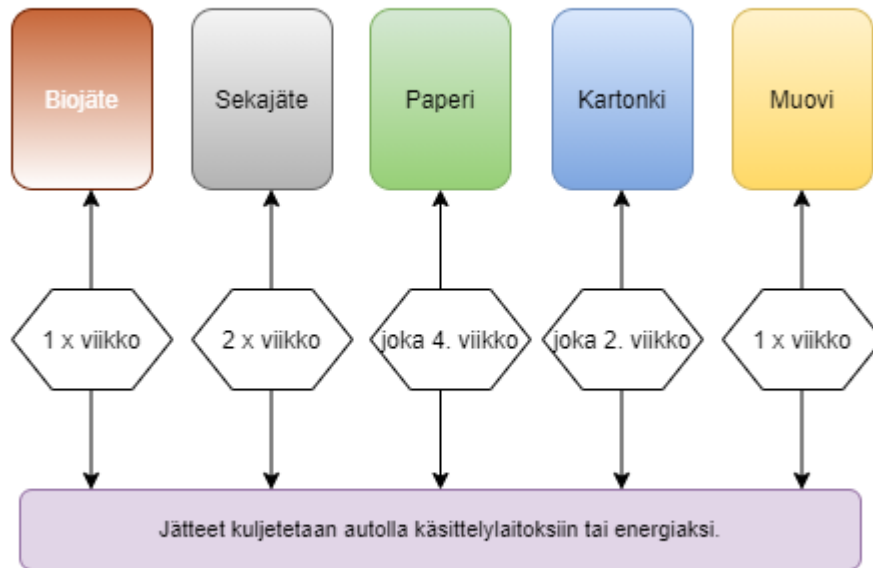
## 3. JÄTTEEN PUTKIKERÄYKSEN TEKNINEN TAUSTA

Tässä luvussa käsitellään ensin Suomen nykyistä autokeräykseen perustuva järjestelmää sekä miten alueelliseen putkikeräysjärjestelmään siirtyminen muuttaa tätä järjestelmää. Lisäksi käydään läpi alueellisen putkikeräysjärjestelmän yleinen periaate, sekä lopuksi esitellään tarkemmin Tampereen Vuoreksessa sijaitseva alueellinen putkikeräysjärjestelmä.

### 3.1 Nykyinen autokeräysjärjestelmä

Jätteen autokeräyksessä käytetään kiinteistökohtaisia tai jaettuja keräysastioita, jotka käydään tietyin aikavälein tyhjentämässä erityisellä jäteautolla. Jätejakeet lajitellaan ennen keräysastioihin viemistä, jolloin jokaisella kerättävällä jakeella voi olla oma keräysastiansa. Keräysastioita on eri kokoisina, jolloin voidaan valita ennustettuun jätemäärään sopiva tilavuus. (Christensen 2011) Omakotitalossa riittää pienempi keräysastia kuin monen huoneiston kerrostalossa. Myös jätelaji ja sen ominaisuudet vaikuttavat keräysvälineen valintaan, lasia ja metallia syntyy vähemmän ja biojäte taas on raskaampaa kuin esimerkiksi muovijäte.

Keräysastiat sijoitellaan yleensä joko erilliseen jätekatokseen tai muuhun vakituiseen pisteeseen siten, että keräysauto pääsee niiden lähelle. Suomessa keräysastiat ovat yleisimmin kahta eri kokoa, 240 litraa ja 600/660 litraa. ("Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2019" 2020) Astian koko ja syntyvän jätteen määrä vaikuttavat tyhjennysväliin, eli siihen, miten usein astiat käydään tyhjentämässä ja jäte viemässä käsiteltäväksi. Kuvassa 2 olevassa esimerkkitilanteessa kiinteistöllä käytäisiin viikon aikana kolmella eri jätettä keräävällä autolla.



**Kuva 2.** Esimerkkitalanne jätteastioiden tyhjennysväleistä kiinteistökohtaisessa jätteenkeräyksessä. Neljän viikon aikana kiinteistöllä käydään yhteensä 19 kertaa. Jätteastioiden koolla ja reittisuunnittelulla on siis suuri merkitys keräyksen ympäristövaikutukseen.

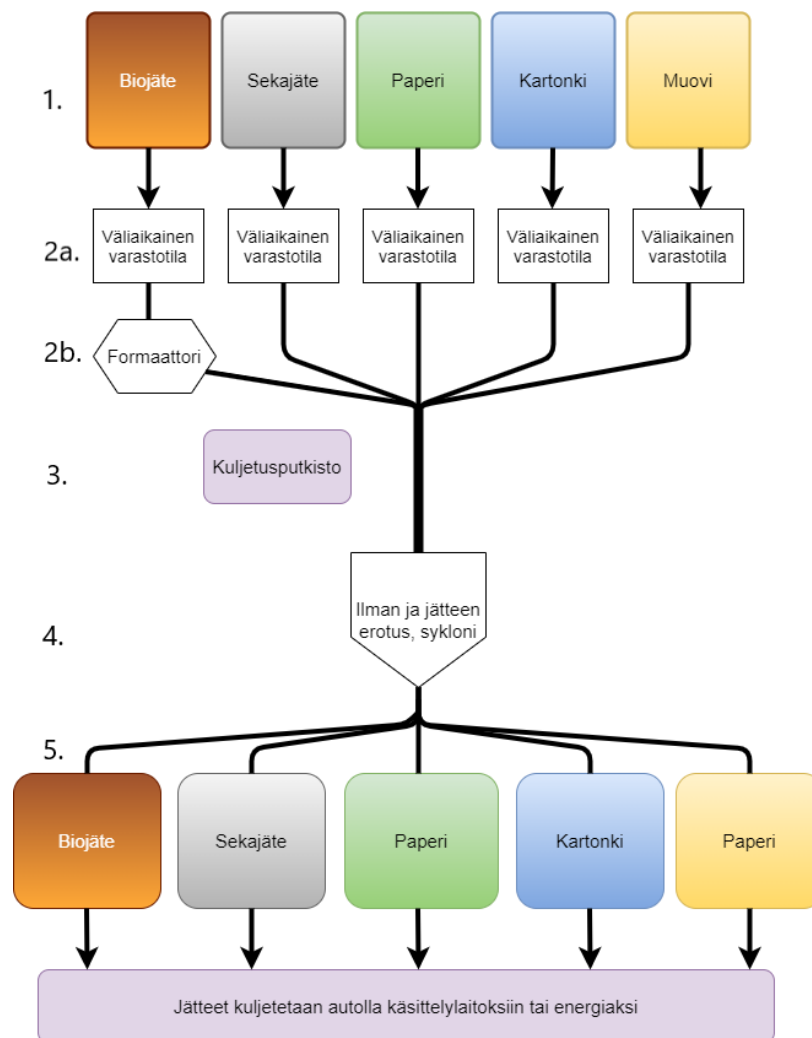
Vuonna 2019 Suomessa kerrostalon 600/660-litrainen sekajäteastia on tyhjennetty keskimäärin 60 kertaa vuodessa ja 240-litrainen biojäteastia 49 kertaa vuodessa. Rivitalokiinteistössä vastaavat luvut olivat 52 ja 38 kertaa vuodessa. ("Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2019" 2020) Biojätteen tyhjennysväliin vaikuttavat kuntien alueelliset jätehuoltomääräykset. Myös kerättävien jättejakeiden määrään ja keräysalueen laajuuteen vaikutetaan jätehuoltomääräyksillä. Autokeräyksellä on mahdollista kerätä seuraavia jättejakeita: sekajäte, biojäte, paperi, kartonki, keräyslasi, pienmetalli ja muovi. ("Kunnalliset jätehuoltomääräykset" 2014)

Keräysastiat käydään tyhjentämässä sovituin aikaväleihin erityisellä keräysautolla, johon yleensä voidaan tyhjentää vain yhtä jättejakeita. Erilliskerättävien jättejakeiden määrä lisää myös keräysautojen suoraa päästöjä ja siksi ajoreittien ja tyhjennysvälien optimointi on erityisen tärkeää. Nykyisin on käytössä myös monilokeroautoja, joihin voidaan kerätä useampaa eri jättejakeita sekoittamatta niitä. (Christensen 2011) Tällainen keräysjärjestelmä on eduksi haja-asutusalueella, jossa etäisyydet ovat pidempiä.

Putkikeräykseen siirtymällä ei päästä kokonaan eroon autokeräyksestä. Esimerkiksi kookkaat kartonki- tai sekajätteet voivat tukkia putken. Näille jätteille on oma keräyspisteensä.

### 3.2 Alueellisen putkikeräysjärjestelmän yleinen periaate

Putkikeräys on maanalainen, automatisoitu jätteiden keräysjärjestelmä, joka koostuu yleisesti kolmesta osasta: syöttöpisteestä, kuljetusputkistosta ja koontiasemasta (kuva 3). Jätteen kuljetus putkistossa jakautuu karkeasti kahteen menetelmään: toisessa jäte imetään alipaineen avulla putkesta, ja toisessa se työnnetään ylipaineella putkiston läpi. Molemmat perustuvat kuitenkin paine-eroon putken alku- ja loppupään välillä, jolloin ilman virtaus liikuttaa jätettä putkistossa. (STREAM 2015) Menetelmää voisi verrata viemäriverkostoon, mutta nyt kuljetettava materiaali on kiinteää ja tarvitsee väliaineen kuljetukseen.



**Kuva 3.** Yksinkertaistettu putkikeräysjärjestelmä: 1. syöttöpiste 2a. väliaikainen varastotila 2b. Formaattori, jos jätepussit tarvitsee muotoilla. 3. yhteinen kuljetusputkisto. 4. Sykloni, jossa jätteet ja ilma erotellaan toisistaan. 5. Jätteet lajitellaan omiin kontteihinsa.

Alueellinen yhdyskuntajätteen putkikeräys toteutetaan syöttöpiste- ja putkiverkostona, jossa syöttöpisteet on sijoitettu kävelymatkan päähän asutuksesta. Sijoittamalla koonta-asema kauemmas keräysalueesta saadaan vähennettyä jäteautoliikennettä alueella. Syöttöpisteille on laskettu tietty käyttäjämäärä ja säde, jolta alueelta jätteet tuodaan pisteelle. Syöttöpisteellä jokaiselle kerättävälle jättejakeelle on oma syöttöluukkunsa (kuvassa 3 kohta 1), mikä mahdollistaa syntypaikkalajittelun ja jättejakeiden pitämisen erillään. Jäte putoaa luukusta painovoiman vaikutuksesta väliaikaiseen keräyssäiliöön (kuvassa 3 kohta 2a), joka on erotettu imuputkistosta venttiilillä. Väliaikainen keräyssäiliö voi olla tilavuudeltaan jopa 500 litraa. Se voi olla osa imuputkistoa tai oma erillinen säiliönsä. (Fernández *et al.* 2015)

Kun keräyssäiliö on täynnä tai tietty aikaväli on kulunut, nopeudeltaan noin 18–23 m/s kulkeva ilmavirta aktivoidaan putkistossa ja keräyssäiliön venttiili avataan. Jätteet putoavat pääputkistoon (kuvassa 3 kohta 3), jossa ne kulkeutuvat ilmavirran ja paine-eron avustuksella yksi jättejake kerrallaan putkistoa pitkin koonta-asemalle. (Vijselaar 2007; STREAM 2015; Fernández *et al.* 2015). Syöttöpisteet ja putket muodostavat siis verkoston, jotka yhdistyvät yhdeksi pääputkeksi kohti koonta-asemaa.

Koonta-aseamalla jättejakeet erotetaan ilmavirrasta syklonilla (kuvassa 3 kohta 4), lajitellaan, puristetaan ja varastoidaan omiin kontteihinsa (kuvassa 3 kohta 5). Ilma ohjataan ensin suodattimen läpi ja sitten takaisin ilmakehäänpoistoventtiilistä. Kontin täytyessä se kuljetetaan autolla käsiteltäväksi jätteenkäsittelylaitokselle. (Fernández *et al.* 2015).

Putkikeräysjärjestelmiä on ollut käytössä vuoteen 2014 mennessä lähes tuhat eri puolilla maailmaa, kuten Aasiassa, Lähi-idässä, Yhdysvalloissa ja Pohjois- Euroopassa. Putkikeräysjärjestelmän käyttöönoton oli huomattu parantavan kierrätysastetta, kun kerättäviä jakeita olivat olleet kierrätettävät ja ei-kierrätettävät jakeet. (Fernández *et al.* 2015)

Maanalaisen sijainnin etuna on maapinta-alan vapautuminen esimerkiksi asuintalojen käyttöön. Punkkinen *et al.* (2012) mukaan putkikeräyksen hyötyjä ovat lisäksi paikallisten hiilidioksidipäästöjen, melun ja liikennehuuhkan vähentyminen jäteautojen poistumisen myötä.

### 3.3 Esimerkkijärjestelmänä Vuores

Suomessa alueellisia jätteiden putkikeräysjärjestelmiä on Tampereella ja pääkaupunkiseudulla. Tampereen putkikeräysjärjestelmät sijaitsevat Vuoreksessa ja Ranta-Tampellassa, jossa se on tarkoitus ottaa käyttöön alueen valmistuttua. (“Nämä jätteet putkeen” 2020; “Ranta-Tampellan Putkikeräys | Pjhoj” n.d.). Pääkaupunkiseudulla putkikeräys on

käytössä Kalasatamassa, Jätkäsaarella, Kruunuvuorenrannassa ja Espoon Suurpellossa, joka oli ensimmäinen jätteiden putkikeräyskohde Suomessa (“Kalasatamassa jätteet kulkevat putkia pitkin” n.d.).

Vuoreksen putkikeräysjärjestelmässä on käytössä syöttöpisteet enimmillään neljälle eri jättejakeelle: biojätteelle, paperille, kartongille ja sekajätteelle. Paperia ja kartonkia voidaan kerätä myös astiakeräyksenä erillisillä pisteillä. Putkikeräysjärjestelmää käyttävät sekä kotitaloukset, että toimipisteet. Jätteet lajitellaan enintään 20 l suuruisiin pusseihin, jotta ne mahtuvat putkistoon.



**Kuva 4.** Jätteiden syöttöpiste Vuoreksessa.

Kuvassa 4 on esitetty Vuoreksen jätteen syöttöpiste. Syöttöluukku avataan elektronisella avaimella, joka on huoneistokohtainen. Lukko näkyy mustana laatikkona luukun vasemmassa reunassa. Esimerkiksi kaupoilla voi olla vain omassa käytössään oleva syöttöluukku. Vuoreksessa syöttöluukkuja on kolmea eri mallia, joista kahdessa on erilliset merkkivalot osoittamaan toimintavalmiutta, käynnissä olevaa tyhjennystä tai mahdollista toimintahäiriötä. (“Nämä jätteet putkeen” 2020)

Varastotilan täytyessä se tyhjenetään alapuolella sijaitsevaan formaattoriin, jossa jättepussit muotoillaan putkeen mahtuviksi makkaroiksi. Formaattorin jälkeen jäte kuljetetaan yksi jättejake kerrallaan alipaineen ja ilmavirtauksen avulla 250 mm halkaisijaltaan olevassa putkessa. (“Vuoreksen jätteiden putkikeräysjärjestelmä” 2010) Putket ovat normaalia kokoa pienempiä, millä voidaan säästää energiaa (Kaliampakos & Benardos 2013).



Jättemaksu ei perustu jäteastian tyhjennyskertoihin kuten autokeräyksessä, vaan asema-  
makaavan mukaiseen kerrosneliömäärään. Lisäksi maksetaan kertaluontoinen liittymis-  
maksu, minkä ansiosta kokonaiskustannukset jätteen tuottajalle ovat huomattavasti kor-  
keammat kuin autokeräyksessä. Vuosittainen jättemaksu koostuu perusmaksusta, kulje-  
tuksesta, käsittelystä ja putkijärjestelmän ylläpidosta. (”Vuoreksen alueellisen  
putkikeräysjärjestelmän jätetaksan kokonaistarkastelu” 2019). Maksun suuruuteen ei siis  
voida vaikuttaa esimerkiksi jätettä vähentämällä tai lajittelemalla sitä.

## 4. HAASTEET JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Tässä luvussa käsitellään sekä jätteen putkikeräyksen että autokeräyksen haasteita kiertotaloudellisesta näkökulmasta. Eriteltyjen haasteiden avulla tuodaan esiin kehityskohteet ja -mahdollisuudet. Autokeräyksessä keskitytään jo olemassa oleviin tapoihin tehostaa keräystä ja putkikeräyksessä pyritään esittämään siihen uusia tapoja.

Molemmissa järjestelmissä syntypaikkalajittelun onnistumisella on suuri merkitys. Sillä on suora vaikutus kerättävän jättejakeen laatuun ja hyödynnysmahdollisuuksiin. Jätelain (646/2011) 93 § mukaisesti kuntien onkin järjestettävä jäteneuvontaa, tiedotusta ja valistusta, jotta yhdyskuntajätteen määrää voidaan vähentää ja jätehuolto toteuttaa asianmukaisesti. Lajitteluneuvonnalla voidaan parantaa kerättävien jättejakeiden laatua keräystavasta riippumatta.

### 4.1 Autokeräys

Autokeräys on lähtökohtaisesti hyvin joustava jätteenkeräysmenetelmä. Kerättävien jättejakeiden lukumäärään ja tyhjennyskertoihin voidaan vaikuttaa suoraan astioiden lukumäärällä, koolla ja siten tyhjennystiheydellä. Haasteena onkin löytää jokaiselle keräyspisteelle sopiva tyhjennysväli ja keräysastiakokoonpano, jolla jätteen syntymisnopeus ja tyhjennystiheys ovat tasapainossa. Jäteastioiden tulisi olla mahdollisimman täysiä, mutta tyhjennyksen onnistua ilman jätteiden putoamista maahan.

Keräysvälineitä on useita eri kokoja ja malleja. Pintakeräysastioista tyypillisimmät koot ovat 240 l ja 660 l ("Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2019" 2020). Lisäksi käytetään syväkeräyssäiliöitä ja pintasäiliöitä. Syvässäiliön etuna on maan alle ulottuva säiliötila, jonka ansiosta samaan maapinta-alaan mahtuu enemmän jätettä. Tällöin jäte myös tiivistyy painovoiman vaikutuksesta. Biojätteellä lisäksi maan pinnan alainen kylmempi lämpötila ehkäisee hajuhaittoja. (Christensen 2011)

Pinta-astiat, -säiliöt ja syvässäiliöt vaativat eri tyhjennysautot. Myös eri jättejakeet vaativat erilliset jäteautot, jotta jätelajit eivät sekoitu. Erilaisten keräysvälineiden ja tyhjennysvälien lisäksi täyttymistä voidaan optimoida antureiden avulla. Anturi mittaa kaikuluotaimen tavoin ultraäänellä astian täyttöastetta, jolloin tyhjennysväli saadaan vastaamaan todellista täyttymisnopeutta. (Salonen 2014)

Mikäli kiinteistöllä ei synny tarpeeksi yhtä jättejaetta, jotta sen erilliskerääminen olisi kannattavaa, voidaan jätteastia jakaa osiin, käyttää yhteisastiaa toisen kiinteistön kanssa tai

hyödyntää alueellista yhteiskeräyspistettä. Tällaisia ylläpitää esimerkiksi Suomen pakkauskierrätys RINKI oy ja niissä kerätään tuottajavastuun alaisia kartonki-, muovi-, metalli- ja lasipakkauksia. Tarjoamalla vaihtoehtoisia tapoja kiinteistökohtaiselle erilliskeräykselle saadaan tehostettua kierrätystä.

Granqvist *et al.* (2001) esittämä muutos järjestelmän sujuvoittamiseksi olisivat erilaiset älykkäät ratkaisut: tällaisiin lukeutuvat mm. reaaliaikainen ajonseurantajärjestelmä ja täyttymisanturit, joiden avulla voidaan muokata päivittäiset tyhjennysreitit vastaamaan todellista tarvetta. (Salonen 2014) Kerätyn datan avulla voitaisiin luoda alueelle sopiva ajoreitti ja tyhjennysrytmi, sekä ennakoida esimerkiksi juhlapyhien aiheuttamia muutoksia. Ajonseurantajärjestelmällä voitaisiin tunnistaa tyhjennyksen kannalta mahdolliset ongelmakohteet, esim. kohteessa vietetyn ajan perusteella. Autokeräyksen tehokkuutta voidaan arvioida tyhjennyksiin vaadittavan ajoreitin pituuden, lisäjätteen määrän ja ajan, jonka keräysväline on täynnä, perusteella. Myös keräysautoon integroidut jätteentunnistus-, ja punnitusteknologiat voisivat auttaa painoperusteisen laskutuksen käyttöönotossa. (Granqvist *et al.* 2001)

Ajoreitin optimointi, muun liikenteen seuranta ja jätetilojen suunnittelu vaikuttavat keräyksen nopeuteen, tyhjäkäynnin määrään ja ajettuihin kilometreihin. Sähköinen seurantajärjestelmä mahdollistaa nopeat muutokset tyhjennyskohteisiin ja poistaa paperityön ajonseurannasta. Ongelmatilanteiden, kuten liukkaiden teiden, sähköisiä kuittauksia voidaan käsitellä esimerkiksi tekoälyn, jolloin prosessia saadaan tehostettua.

Optimointiin haastetta tuo jätelain (646/2011) mukainen mahdollisuus kunnille valita kiinteistön haltijan järjestämä jätteenkuljetus. Tämän seurauksena vastuu jätehuollosta hajaantuu. Mikäli alueella on useampi jätteenkuljettaja, ei kuljetuksia voida samaan tapaan järjestellä, kuin jos kuljetukset suoritetaan saman tarjoajan kautta. Myös Salmenperä *et al.* (2019) toteuttaman selvityksen mukaan siirtymällä yhden palveluntarjoajan malliin voidaan säästää arviolta noin 11–16 miljoonaa euroa.

Autokeräyksen haasteena on myös keräyksen epäonnistuminen, esimerkiksi tien kuntoon, keräysastian sijaintiin tai inhimilliseen virheeseen liittyen. Keräysastia voi olla kaiteissa tai sen lähelle ei päästä. Nämä aiheuttavat lisäajokilometrejä ja kuluttavat siten resursseja.

Suoraan jäteautoihin kohdistuvia kehitysmahdollisuuksia ovat uusiutuvat polttoaineet, esimerkiksi biokaasu ja sähkö. Salmenperä *et al.* (2019) selvityksessä käy ilmi, että biokaasua käyttämällä jätteenkeräys voitaisiin toteuttaa hiilineutraalisti. Myös monilokokeräystä hyödyntämällä voidaan vähentää jätteenkeräyksen kokonaispäästöjä. Siinä kerättäisiin vähintään kahta jätelajia, esimerkiksi metallia ja lasia, jolloin keräysajon tulisi

vähentyä verrattuna tilanteeseen, jossa molemmat kerätään erikseen. Toisaalta tällöin jäteauto täyttyy nopeammin säiliöiden tilavuuden ollessa pienempiä. Keräyskustannuksiltaan monilokerokeräys on hieman edullisempi, mutta ympäristökuormitukseen vaikuttavat suuresti sillä kerättävät jätejakeet.

## 4.2 Putkikeräys

Alueelliseen putkikeräykseen haasteita luovat järjestelmän maanalainen sijainti, taloudellinen kannattavuus ja järjestelmän toiminnan vaarantavat jätteet. Sijaintinsa vuoksi järjestelmään tehtävät muutokset tai korjaukset ovat hitaita ja kalliita. Järjestelmään liittyminen jälkeinpäin vaatii mittavia rakennustöitä. (Nakou *et al.* 2014) Koska jokaisella kerättävällä jätejakeella tulee olla oma syöttöputki, uusien jakeiden lisääminen vaatisi järjestelmän uudelleenorganisointia. Toisaalta kerättäviä jätejakeita voidaan korvata toisillaan, esimerkiksi ottaa kartonginkeräyksen tilalle muovinkeräys. Näin Vuoreksen putkikeräysjärjestelmässä toteutetaan jätehuoltomääräysten mukaiset keräysvelvoitteet. ("Putkiuutisia Vuorekseen ja Ranta-Tampellaan" 2021)

Jotkin jätejakeet ovat edelleen autokeräyksen varassa, sillä kaikki jätejakeet eivät sovellu putkikeräykseen mm. kokonsa vuoksi. Tässä yhteiskeräyspisteet pienjäteasemat/pisteet tai monilokerokeräys ovat hyviä ratkaisuja. Huomattavaa on, että jokaisella kiinteistöllä ei ole omaa keräyspistettä, eikä jokaisessa välttämättä kerätä kaikkia jätejakeita.

Tällä hetkellä putkikeräysjärjestelmä ei myöskään tarjoa taloudellista kannustinta lajittelun tehostamiseen tai jätteiden vähentämiseen; kiinteä jätemaksu ei perustu jätteen määrään. Sen sijaan jätemaksu voisi perustua tuotettuihin jätemääriin ja -laatuihin, esimerkiksi sekajäte voisi olla kalleinta ja biojäte halvinta. Tätä voitaisiin seurata sähköisen avaimen avulla, hyödyntämällä luukun avauskertoja ja kerralla syötettävän määrän enimmästilavuutta. Jättemäärien seuraamista voitaisiin myös integroida tällä tavoin jonkinlaiseen sovellukseen tai seurantasivuun, jolla voisi seurata reaaliajassa omaa jätekertymää ja siten myös jätemaksuaan. Jättemaksun lisäksi voitaisiin edelleen periä järjestelmän rakennus- ja ylläpitokustannuksien korvausmaksu vuosittain.

Tällainen hinnoittelu vaatii rehellisyyttä, jottei järjestelmää väärinkäytetä ja syötetä vain halvempia jätejakeita. Aktiivinen seuranta avaimen avulla voisi myös vähentää järjestelmään sopimattomien jätteiden syöttämistä. Esimerkiksi Envacilla on tällaiseen seurantaan oma sovellus, joka perustuu jätejakeiden lajitteluun erivärisiin pusseihin, niiden punnitsemiseen ja optisiin tunnistimiin (Anebreid & Hakosalo 2020)

Tällaiseen jätesovellukseen voisi olla yhdistettynä myös lajitteluneuvontaa. Esimerkiksi ennen jätejakeen valitsemista voisi olla lajitteluhaku, jonka perusteella oikea syöttöputki valitaan. Mikäli jätettä ei kerätä kyseisellä syöttöpisteellä, voitaisiin neuvoa lähimmän keräys- tai syöttöpiste. Esimerkiksi ekopisteet ja Rinki Oy:n lajittelupisteet löytyvät kierätys.info -sivustolta.

Autokeräyksen ja putkikeräyksen välillä on suoritettu myös elinkaaritarkastelua energianlähteen näkökulmasta. Espanjassa suoritetussa tutkimuksessa vertailtiin alueellisen putkikeräyksen ja autokeräyksen elinkaaren aikaisia hiilidioksidipäästöjä. Autokeräyksen energianlähteenä viidessä eri polttoaineskenaariossa oli 100 % vesi-, aurinko- tai tuuli-voima, uusiutuvien energianlähteiden sekoitus tai käytössä ollut, osin uusiutuvilla, osin fossiilisilla energianlähteillä tuotettu polttoaine. (Chàfer *et al.* 2019)

Kokonaisuudessaan putkikeräys ja kaasua polttoaineenaan käyttävät autot saivat vähiten vaikuttavuuspisteitä. Hiilijalanjälki oli tuotantovaiheessa pienin putkikeräyksellä, mutta operointivaiheessa kaasuautoilla. (Chàfer *et al.* 2019) Putkikeräykselle varteenotettava vaihtoehto ovat siis kaasulla toimivat jäteautot, ja niitä voitaisiinkin käyttää yhdessä. Erilliskerätystä biojätteestä valmistettua biokaasua voitaisiin siis käyttää joko putkikeräykseen vaadittavan sähkön tuotantoon, sekä suoraan jäteauton polttoaineeksi.

Putkikeräyslaitteistossa tuulettimet vaativat paljon energiaa, jotta ilmapirrasta saadaan tarpeeksi nopea kuljettamaan painavaa jätettä. Energiankulutus on suurta, minkä vuoksi energiantuotantotavalla on suuri merkitys. Tutkimuksessa huomattiin, että uusiutuvaa energiaa käyttämällä putkikeräyksen elinkaarivaikutukset ovat autokeräystä pienemmät. (Chàfer *et al.* 2019)

Kestävästä näkökulmasta putkikeräysjärjestelmä saattaa olla jopa huonompi ratkaisu kuin autokeräys. Vaikka sen paikalliset päästöt ovat pienemmät, kokonaisvaikutus on suurempi korkeasta energiankulutuksesta ja osien tuotannosta johtuen. Kerättävien jätejakeiden määrää lisäämällä ei myöskään välttämättä ollut päästöihin toivottavaa vaikutusta, vaan niiden kannalta optimaalisinta oli kerätä sekajätettä, biojätettä ja paperia. (Punkkinen *et al.* 2012)

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli selvittää alueellisen putkikeräysjärjestelmän toimintaperiaate ja kytkeä sillä kerättävien jätejakeiden merkitys kiertotalouteen. Lisäksi tutustuttiin nykyisin yleisesti käytössä olevaan autokeräysjärjestelmään, jotta voitiin vertailla sen kehitysmahdollisuuksia putkikeräysjärjestelmään.

Alueellinen putkikeräysjärjestelmä on uusi jätteenkeräysmenetelmä, jossa jätteet kulkevat ilmavirran avulla maanalaista kuljetusputkistoa pitkin koonta-asemalle. Suomessa keräysjärjestelmiä on tällä hetkellä käytössä viisi ja kuudes on rakenteilla. Putkikeräyksellä kerätään näissä järjestelmissä enimmillään viittä jätettä: sekajätettä, biojätettä, kartonkia, paperia ja muovia.

Sekajätteessä on tällä hetkellä vielä paljon hyötyjättejakeita, joten kierrätysastetta on mahdollista parantaa. Biojätteen hyödyntämisellä saadaan parannettua jätteen polttoa, otettua talteen ravinteita ja korvattua fossiilisia polttoaineita. Myös muovin kierrätys vähentää fossiilisten raaka-aineiden tarvetta tuotannossa ja kierrätysmuovin hiilidioksidipäästöt ovatkin huomattavasti neitseellistä alhaisemmat. Suomessa muovin kierrätyskapasiteetti ei kuitenkaan ole riittävä tällaisenaan. Paperin ja kartongin kuituja voidaan uusiokäyttää ja kierrätyskuitu onkin raaka-aineena halvempaa. Sekä erilliskerätyn muovin, että kartongin määrään on odotettavissa kasvua.

Kehitysmahdollisuudet liittyvät autokeräyksen osalta jäteauton polttoaineeseen, keräysreittien optimointiin keräyksestä saadun datan avulla, erilaisiin keräysastioihin ja monilokerokeräykseen. Kaasuautojen käytöllä, tyhjennysvälielvoitteiden päivittämisellä ja yhden palveluntarjoajan mallilla saadaan vähennettyä päästöjä ja kustannuksia. Alueellisessa putkikeräysjärjestelmässä kehityskohteeksi tunnistetaan hinnoittelu, järjestelmän älyllistäminen ja näiden mahdollinen yhdistäminen jäteseuranta- ja neuvontasovellukseksi. Putkikeräysjärjestelmän merkittävä haaste on sen sijainti maan alla, minkä seurauksena muutoksia on vaikea tehdä.

Nämä kehitysehdotukset vaativat kuitenkin jatkotutkimuksia ja toisaalta jätteenkeräyksen uudelleenorganisointia. Käytännön toteuttamiskelpoisuutta on vaikea arvioida ilman järjestelmäntuottajan teknistä osaamista. Jatkotutkimuksia tarvittaisiin jätteen laadun osalta, eroaako putkikeräyksellä kerätty jäte merkittävästi autokeräykseen verrattuna, ja voidaanko laatua parantaa putkikeräysjärjestelmän avulla. Lisäksi olisi tarpeen selvittää voiko järjestelmään lisätä esimerkiksi yhdistettyä metallin ja lasin keruuta, sekä miten älykäs jätteseuranta voitaisiin käytännössä tehdä.

# LÄHTEET

- Anebreid, H. & Hakosalo, M. (2020). "Optical Sorting of Waste, Introduction of AWCS in an Existing Neighbourhood & Waste Collection Statistics for Individual Households / Businesses". Grow Smarter. Verkkojulkaisu. Viitattu 19.6.2021. Saatavissa: [https://grow-smarter.eu/fileadmin/editor-upload/Smart/Factsheet\\_26\\_Smart\\_waste\\_Stockholm.pdf](https://grow-smarter.eu/fileadmin/editor-upload/Smart/Factsheet_26_Smart_waste_Stockholm.pdf)
- Châfer, M. *et al.* (2019). "Life Cycle Assessment (LCA) of a Pneumatic Municipal Waste Collection System Compared to Traditional Truck Collection. Sensitivity Study of the Influence of the Energy Source." *Journal of Cleaner Production* 231: 1122–35. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.304>.
- Christensen, T. (2011). *Solid Waste Technology & Management*. Vol. 1. John Wiley & Sons, Incorporated.
- "Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1935/2004." (2004). *Euroopan Unionin virallinen lehti*.
- Farré, J.A., *et al.* (2021). "Case Study of Pipeline Failure Analysis from Two Automated Vacuum Collection Systems." *Waste Management*, no. 126: 643–51.
- Fernández, C. *et al.* (2015). "Approximate Dynamic Programming for Automated Vacuum Waste Collection Systems." *Environmental Modelling and Software* 67: 128–37. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.01.013>.
- Granqvist J. *et al.* (2001). Jätelogistiikan kehittäminen. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. Tutkimusraportti RTE 3663/01. Espoo
- Jätelaki 646/2011. Annettu Helsingissä 17.6.2011
- "Jätteiden putkikeräysjärjestelmä | Uutta Helsinkiä." (2017). Helsingin Kaupunginkanslia. Verkkojulkaisu. Viitattu 3.4.2021. Saatavissa: <https://www.uuttahelsinki.fi/fi/lansisatama/asuminen/jatteet-imetaan-putkistoon>
- "Jätteiden vienti- ja tuontimäärät." (2021). Suomen Ympäristökeskus SYKE. Verkkojulkaisu. Viitattu 6.6.2021. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/jatetilastot/Jatteen\\_vienti\\_ja\\_tuontimaarat](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/jatetilastot/Jatteen_vienti_ja_tuontimaarat).
- "Kalasatamassa jätteet kulkevat putkia pitkin." n.d. Helsingin kaupungin asunnot oy. Verkkojulkaisu. Viitattu 4.4.2021. Saatavissa: <https://www.hekaoy.fi/fi/hima/eko-fiksu/kalasatamassa-jatteet-kulkevat-putkia-pitkin>
- Kaliampakos, D. (2013). "Underground Solutions for Waste Management: Status and Perspectives," International Solid Waste Association.
- "Kunnalliset Jätehuoltomääräykset." (2014). Alueellinen jätehuoltolautakunta. Pirkanmaa.

- “Kysymyksiä ja vastauksia muovin kierrätyksestä.” n.d. Fortum. Verkkojulkaisu. Viitattu 3.4.2021. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/kierratys-ja-jate-palvelut/kierratystuotteet-ja-palvelut/muovit/kysymyksiä-ja-vastauksia-muovin-kierrätyksestä>
- “Nämä jätteet putkeen.” (2020). Pirkanmaan Jätehuolto Oy, Pirkan Putkikeräys Oy. Saatavissa: [https://pjhoy.fi/wp-content/uploads/2020/12/Vuoreksen\\_putkiohje\\_ko\\_kooma\\_12\\_2020.pdf](https://pjhoy.fi/wp-content/uploads/2020/12/Vuoreksen_putkiohje_ko_kooma_12_2020.pdf)
- Niskanen, A. & Kemppi, J. (2019). “Yhdyskuntajätteen kierrätyksellä vauhtia kiertotalouteen (JÄTEKIVA) Työpaketti 1. 4. Analyysi biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn kestävyystarkasteluista näkökulmana mahdollisuudet kestävyuden tehostamiseksi” LCA Consulting.
- Palanterä, Risto (Energia-Ekono Oy). 1996. “Jätepaperin Polton Ympäristövaikutukset Systemiratkaisuna.” Espoo.
- Pakkaukset ja pakkausjätteet” (2020). Markkinoille saatetut pakkaukset ja niiden hyödyntäminen vuosina 2003–2019. Pirkanmaan ELY-keskus.
- Punkkinen, H. *et al.* (2012). “Environmental Sustainability Comparison of a Hypothetical Pneumatic Waste Collection System and a Door-to-Door System.” *Waste Management* 32 (10): 1775–81. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.003>.
- “Ranta-Tampellan Putkikeräys | Pjhoy.” n.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 4.4.2021. Saatavissa: <https://pjhoy.fi/rantatampella/>
- Rasmussen, P. (2014). “Muovipakkausten laajennettu tuottajavastuu” Suomen Uusiomuovi oy. Verkkojulkaisu. Viitattu 3.4. 2021. Saatavissa: [https://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen\\_uusiomuovi/ajankohtaista/2014/10/muovipakkausten-laajennettu-tuottajavastuu/](https://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/ajankohtaista/2014/10/muovipakkausten-laajennettu-tuottajavastuu/)
- Roschier, S. *et al.* (2020). “Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa” Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:64. Helsinki
- Salmenperä, H. *et al.* (2019). “Yhdyskuntajätteen kierrätyksen lisääminen Suomessa – toimenpiteet ja niiden vaikutukset.” Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 15/2019. Valtioneuvoston kanslia.
- Schönberg, K. (2021). “Nettikauppa pelastaa nyt tehtaita Suomessa – pakkauksiin ja muovin korvaamiseen kuluu niin paljon sellua ja kartonkia, että tulevaisuus näyttää kirkkaalta” YLE. Verkkojulkaisu. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11905451>
- “Sekajätteen koostumus pääkaupunkiseudulla - HSY.” n.d. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Avoin data. Viitattu 10.4.2021. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/ymparisto-tieto/avoindata/avoin-data---sivut/sekajätteen-koostumus-pääkaupunkiseudulla/>
- STREAM. (2015). “Pneumatic Waste Collection Systems as a New Utility Infrastructure in Modern Developments Today.” *Stream Automated Waste Collection Systems* 1: 8.
- “Suomen Uusiomuovi Oy.” n.d. Suomen Uusiomuovi Oy. Verkkojulkaisu. Viitattu 3.4.2021. Saatavissa: [http://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen\\_uusiomuovi/](http://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/)



- Teerioja, N. *et al.* (2012). "Pneumatic vs. Door-to-Door Waste Collection Systems in Existing Urban Areas: A Comparison of Economic Performance." *Waste Management* 32 (10): 1782–91. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.027>
- Enkvist, P. & Klevnäs, P. (2018). "The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation Transformative Innovation for Prosperous and Low-Carbon Industry." SITRA. Tukholma. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2018/06/12132041/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation.pdf>
- "Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2019" (2020). Jätteiden keräys kotitalouksista ja jätelajien vastaanottohinnat. Suomen Kiertovoima KIVO.
- Tilastokeskus. (2020). "Jätetilasto 2019 - Yhdyskuntajätteet." Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2019/13/jate\\_2019\\_13\\_2020-12-09\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/jate/2019/13/jate_2019_13_2020-12-09_fi.pdf)
- Vijsselaar, A. (2007). "Automated Waste Collection Almere City Centre." *ISWA World Conference 2007*.
- "Vuoreksen jätteiden putkikeräysjärjestelmä." (2010). MariMatic Oy, Pirkanmaan Jätehuolto Oy.
- Johansson, J. & Järvinen, A. (2019). "Fortum Waste Solutions Oy Riihimäen muovinkierätyslaitos -Ympäristölupahakemus ja hakemus jätteeksi luokittelun päättymiseksi." Fortum Waste Solutions Oy, 4.11.2019.
- Ympäristöministeriö. (2021). "Jätelakiesitys vauhdittaa jätteiden erilliskeräystä ja kiertotaloutta" Verkkajulkaisu. Viitattu 24.4.2021. Saatavissa: <https://ym.fi/-/jatelakiesitys-vauhdittaa-jatteiden-erilliskeraysta-ja-kiertotaloutta>