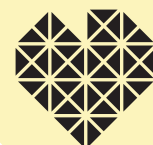




Pienten kiertojen kehittämistä digitalisaatiolla







PETRI HELO | VIRPI PALOMÄKI | ANTTI MARTIKKALA |
SAMI SOPANEN | MATTI MÄKI | IÑIGO FLORES ITUARTE



Julkaisija

Vaasan yliopisto

Tekijät

Petri Helo  <https://orcid.org/0000-0002-0501-2727>
Virpi Palomäki  <https://orcid.org/0000-0003-4676-8958>
Antti Martikkala  <https://orcid.org/0000-0001-7217-8439>
Sami Sopanen  <https://orcid.org/0000-0001-8035-8720>
Matti Mäki  <https://orcid.org/0000-0002-0030-2848>
Iñigo Flores Ituarte  <https://orcid.org/0000-0002-1940-7527>

Hankeraportti

ISBN 978-952-395-002-3 (verkkoaineisto)

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-395-002-3>

ISSN 2489-2580 Vaasan yliopiston raportteja 29, verkkoaineisto

Julkaisun nimi

Pienten kiertojen kehittämistä digitalisaatiolla

Asiasanat

Kiertotalous, digitalisaatio, logistiikka

Kannen kuva

Photo by Volodymyr Hryshchenko on Unsplash

Rahoittaja

Etelä-Pohjanmaan liiton Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) rahoittama hanke A75039. Hankkeen nimi: ”*Pienet kierrot hallintaan digitalisaatiolla, Kiertodigi*”



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

TIIVISTELMÄ

Kiertodigi-hankkeen tavoitteena on ollut kehittää uusia konsepteja pienten jäte- ja kierrätysmateriaalivirtojen kiertojen hallintaan digitalisaation avulla. Pienillä virroilla tarkoitetaan sellaisia kierrätysmateriaalilähteitä, joiden kerääminen on haastavaa tarvittavan keräyskapasiteetin ja niistä syntyvien kustannusten vuoksi. Tarkastelun kohteina olivat materiaalivirrat, jotka liittyvät tuotteiden tai pakkausten loppukuluttajiin. Tarkasteltuja pieniä materiaalikiertoja olivat esimerkiksi bio-, muovi-, tekstiili-, rakennusmateriaalit.

Osana hanketta pieni ryhmä tarkasteltujen avainalojen pk-yrityksiä haastateltiin käyttämällä hyväksi kiertotalouden arviointityökalua, jonka tavoitteena on auttaa pk-yrityksiä tunnistamaan paremmin kiertotalouden tarjoamat liiketoiminta-mahdollisuudet. Haastattelut on tehty pääosin Etelä-Pohjanmaan maakunnan alueella.

Raportti esittelee alueella näihin kiertovirtoihin kehitettyjä ratkaisumalleja, joista osaa on pilotoitu. Pilotoituja hankkeita kuvataan esimerkkitapauksina ja näihin esimerkkitapauksiin on liitetty hankkeen aikana tehdyissä haastatteluissa saatuja taustatietoja kunkin alan yrityksistä. Kuhunkin esimerkkitapaukseen on liitetty myös pohdintaa käsiteltävän materiaalin kierrätysasteen parantamis- ja kehittämismahdollisuuksista. Osin avataan yleisellä tasolla myös kunkin materiaalin kierrättämiseen hankkeen aikana esiin nousseita uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja niiden rajaehtoja. Esimerkkitalauksina käsitellään: älykäs vaatekeruu, maatalousmuovi, biojätteet, mobiilisovellus kuluttajille, keruukuljetukset, rakentaminen, mikrokiertojen syntypaikkalajittelu ja muovilaadut.

Huomiota kiinnitettiin erityisesti logistiikka-analyysihin, analyysityökaluihin ja kiertotalouden alustoihin kierrätyksen vauhdittajina, sekä digitaalisten teknologioiden hyödyntämiseen pienten kiertojen lisäämisessä.

Sisältö

1	JOHDANTO.....	1
2	PIENET MATERIAALIVIRRAT	3
3	KIERRÄTYSASTEEN NOSTAMISEN MAHDOLLISUUKSIA YRITYSTEN NÄKÖKULMASTA	10
3.1	Tekstiilit	11
3.2	Puutuote- ja rakennusala	12
3.3	Muoviala.....	14
3.4	Muutosajureita	16
4	RATKAISUMALLEJA.....	19
	Esimerkkitapaus 1: Älykäs vaatekeruu	19
	Esimerkkitapaus 2: Maatalousmuovien keräyslogistiikka	28
	Esimerkkitapaus 3: Biojätteiden analyysi	31
	Esimerkkitapaus 4: Kierrätysmobiilisovellus kuluttajille	33
	Esimerkkitapaus 5: Keruukuljetusten vyöhykkeisyys	36
	Esimerkkitapaus 6: Rakennuselementtien kierrätys.....	36
	Esimerkkitapaus 7: Mikrokiertojen syntypaikkalajittelu.....	39
	Esimerkkitapaus 8: Syntymäpaikkalajittelu ja muovilaadut.....	41
5	POHDINTAA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ.....	45
	LÄHTEET	48

Kuvat

Kuva 1.	Yhdyskuntajätteiden määrät ja käsittelytavat SVT.....	1
Kuva 2.	Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen jätejakeiden jakautuminen.	4
Kuva 3.	Väestöruutuaineistosta visualisoitu väestötiheys Suomessa 2018.....	5
Kuva 4.	Väestöruutuaineistosta visualisoitu väestötiheys pääkaupunkiseudulla 2018.	6
Kuva 5.	Matka-aikakartta Helsingin rautatieasemalta 5 min intervallein.....	7
Kuva 6.	Matka-aikakartta. Kauhajoella 6 min intervallein saavutettava väestömäärä.	8
Kuva 7.	Tipptap-applikaatio Google Play -kaupassa.....	9
Kuva 8.	VTT:n kiertotalouden työkalussa käytetyt kiertotalouden liiketoimintamallit	10
Kuva 9.	Materiaalitorin toiminta.....	13
Kuva 10.	Keruupisteen väri kartalla näyttää keräysastian täyttöasteen reaaliajassa.	20

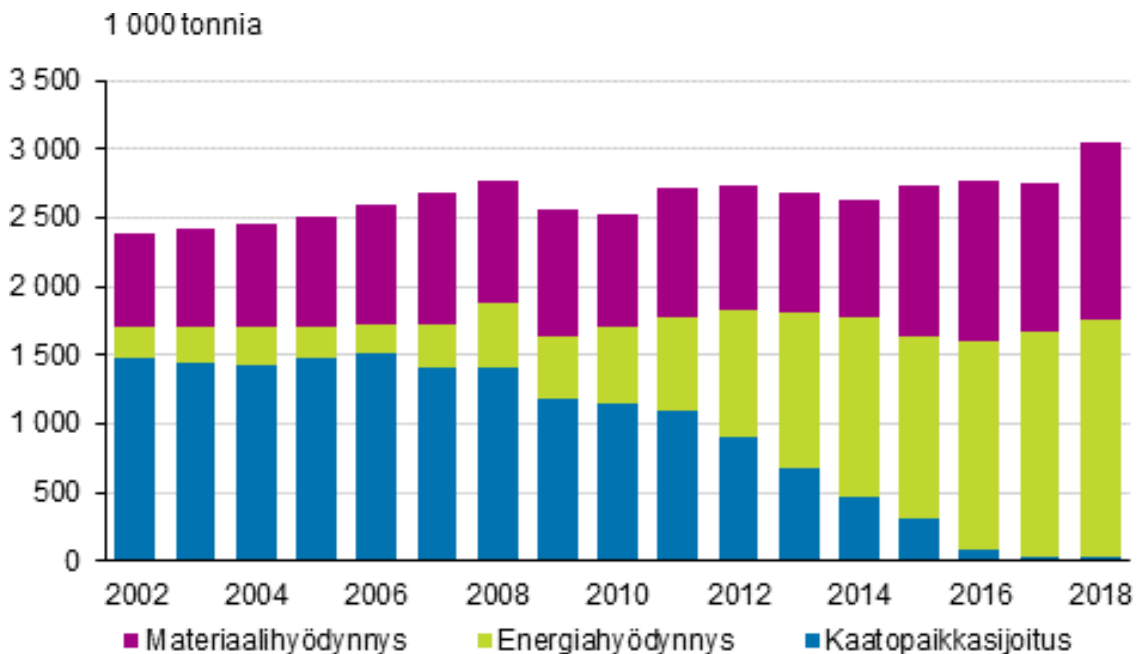
Kuva 11.	Koteloituihin sensorointilaitteisiin tarvittavien komponenttien hintoja.....	22
Kuva 12.	Koteloitu laite, joka sisältää laser- ja ultraäänisensorit.....	22
Kuva 13.	Keräysastia, johon on asennettu erilaisia sensoreita	23
Kuva 14.	IoT-työkalujen jaottelu.	24
Kuva 15.	Järjestelmän arkkitehtuuri.	25
Kuva 16.	Väestömäärät valituilla postinumeroalueilla Seinäjoella. ...	26
Kuva 17.	Keruu pisteet ja niiden välillä olevat mahdolliset reitit.	27
Kuva 18.	PET-muovin hintakehitys.	29
Kuva 19.	Sankey-diagrammi muovin kierrosta - suurinta osa muovista käytetään vain yhden kerran (maailmanlaajuinen tilasto miljarit tonnit 1950-2015)	29
Kuva 20.	Maatalousmuovien käyttö ja tarve suhteessa karjakokoon.....	30
Kuva 21.	Esimerkki maatalousmuovien keruureiteistä optimoituina reittisuunnittelun avulla.	31
Kuva 22.	Reittisuunnittelu biojätteiden keräämiseen, skenaario Kauhajoki.....	33
Kuva 23.	Käyttöliittymäsuunnitteluviedos.	34
Kuva 24.	Käyttöliittymäsuunnitteluviedos liitettynä keräys- ja kierrätysratkaisuun.	35
Kuva 25.	Keruuvyöhykkeet ja keruukustannukset.	36
Kuva 26.	Rakenteilla oleva kerrostalo, jossa on käytetty kierrätettyjä ikkunoita.	37
Kuva 27.	Vanhoista tiilirakennuksista leikattuja palasia, joista on tehty uusia tiilielementtejä	38
Kuva 28.	Kierrätysarkea kotona.	40
Kuva 29.	Lajitteluratkaisu autotallissa.....	41
Kuva 30.	Muovityypit.	42
Kuva 31.	NIR-sensori ja Arduino Uno kehitysalusta	43
Kuva 32.	Pääkomponenttianalyysi.....	44

1 JOHDANTO

Kiertotaloudella tarkoitetaan sellaista taloudellista toimintaa, joka pyrkii toimimaan kestäväällä tavalla huolehtien pitämään materiaalit mahdollisimman pitkään käytössä ja kierrossa. Kiertotalous esitetään usein seuraavana kehitysaskeleena perinteiseen lineaariseen talouteen verrattuna, missä raaka-aineista tehdään tuotteita käyttöön ja lopulta hävitetään.

Kiertotaloudella tavoitellaan resurssitehokasta toimintaa, missä prosessi ei hukkaisi materiaaleja. Pyrkimys on hyödyntää materiaalivirtoja primäärisesti samaan käyttöön mitä aikaisemmin tai sekundaarisesti johonkin toiseen käyttöön. Kiertotalouteen liittyviä tavoitteita on asetettu valtioiden toimesta, alueellisesti, teollisuudenalakohtaisesti, toimitusketjuille sekä yritysکوhtaisesti. Valtiot luovat regulaatiota toimialoille ja tehtävänä on parantaa kiertojen syntymistä.

Yhdyskuntajätteiden käsittelytavat ovat muuttuneet viimeisen parinkymmenen vuoden aikana merkittävästi. Loppusijoitus kaatopaikalle on kadonnut melkein kokonaan ja energiakäyttö on kasvanut suurimmaksi tavaksi. Suomessa haasteena on ollut kuitenkin varsinaisen kierrätyksen osuuden pysyminen miltei samalla tasolla verrattuna aikaisempaan. (SVT 2018)



Kuva 1. Yhdyskuntajätteiden määrät ja käsittelytavat SVT (2018).

Yrityksillä kiertotaloushankkeet liittyvät oman toiminnan ympäristötehokkuuden parantamiseen, uusien liiketoimintamahdollisuuksien kehittämiseen ja toisinaan puhtaasti kustannussäästöihin. Kiertoja voidaan parantaa korjauksella (refurbishing), uudelleenvalmistuksella (remanufacturing) tai kierrättämällä (recycling).

Kiertotalouden tehokkuuden mittaamiseksi voidaan käyttää erilaisia suorituskykyindikaattoreita. Kierron tehokkuutta voidaan mitata hyödynnettävyysasteella eli montako prosenttia materiaalista voidaan käyttää uudelleen. Ympäristövaikutuksia voidaan arvioida elinkaarianalyysillä (Life Cycle Assessment – LCA), missä arvioidaan erilaisten toimintamallien vaikutusta tuotteen koko elinkaaren aikana.

Velvoittava regulaatio on keskeinen syy yrityksille kehittää kiertotaloutta. Toinen iso tekijä on kustannukset eli paljonko tehostunut kierto maksaa. Mikäli materiaali on hajallaan pieninä määrinä laajalla alueella tai sekoitettuna muihin jakeisiin ilman lajittelua, voi prosessointi olla erittäin kallista. Kuljetusten ja keruulogistiikan osuus kokonaiskustannuksista voi ylittää raaka-aineen arvon ja taloudellista kannustetta ei synny.

Koska pieniä virtoja ei ole välttämättä taloudellista prosessoida, voi kierrätystavoitteet erilaisille jakeille jäädä matalaksi. Lisäksi keruun kustannus aiheuttaa alueellista eriarvoisuutta. Väljästi asutuilla alueilla ei välttämättä ole mahdollista tehdä vastaavia järjestelyjä kuin paikoissa, joissa lyhyen matkan sisällä on enemmän tarjontaa materiaaleista.

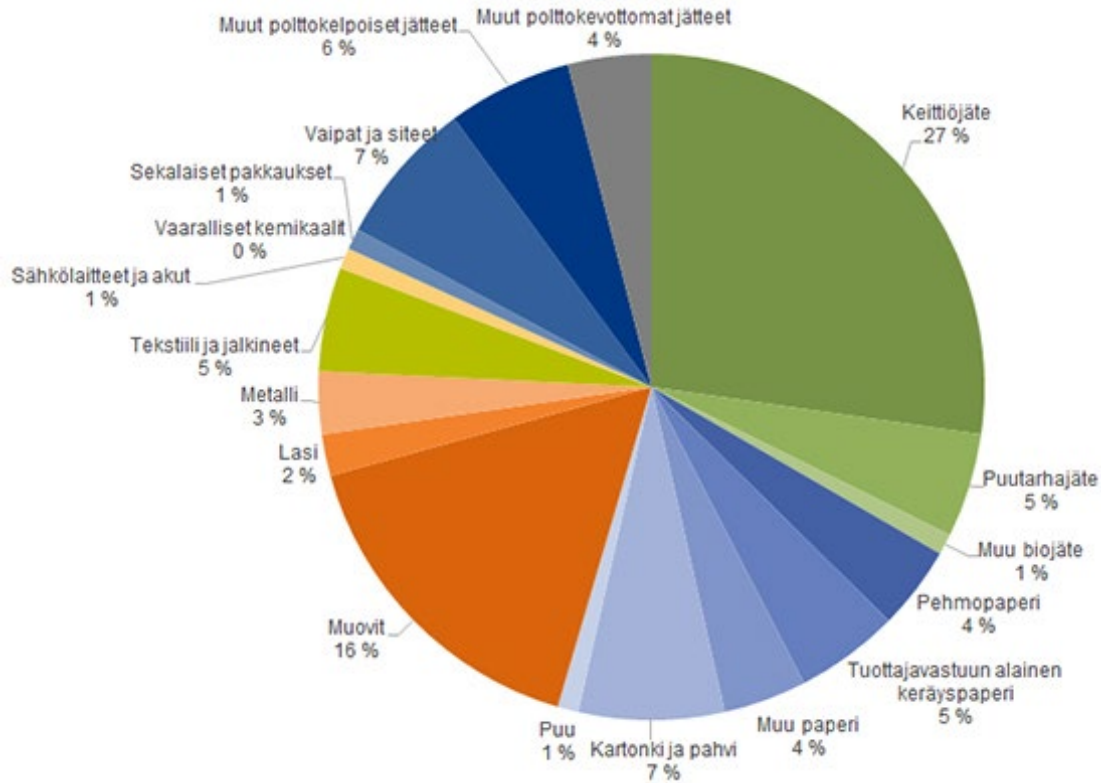
Tämä tutkimus keskittyy pienten virtojen haasteeseen kiertotaloudessa ja pyrkii esittämään mahdollisuuksia, jotka soveltuisivat mahdollisesti ei niin tiivisti asuttuun osaan Suomessa. Tutkimus liittyy EP Liiton rahoittamaan KiertoDigi -hankkeeseen, jota ovat olleet toteuttamassa Vaasan yliopisto ja Tampereen yliopisto. Tarkoituksena on ollut analysoida toimintaympäristöä Etelä-Pohjanmaan alueella sekä edistää uusien menetelmien käyttöä kiertojen parantamiseksi ja tehdä ratkaisuesityksiä, miten digitaalisten teknologioiden avulla kiertoja voidaan parantaa. Seuraavissa kappaleissa esitellään pieniin virtoihin liittyviä haasteita haja-asutusalueella; analysoidaan pieniä virtoja tietyillä valituilla toimialoilla; esitetään ratkaisumalleja esimerkkityyppitapauksin, miten kiertoja voisi tehostaa teknologian avulla; ja lopuksi tehdään yhteenveto tuloksista.

2 PIENET MATERIAALIVIRRAT

Kiertotalouden toimivat esimerkit liittyvät usein suurten tuotantolaitosten yhteistoimintaan. Toisen sivuvirta voidaan hyödyntää tehokkaasti toisen laitoksen prosesseissa. Esimerkiksi Altian tehdas Ilmajoella on mainittu onnistuneena esimerkkinä. Koskenkorvan tehdas prosessoi 210 miljoonaa kiloa ohraa vuodessa ja on noin 60%:sesti polttoaineomavarainen höyryenergian tuotannossaan. Tislaamo ja biovoimalaitosten materiaali- ja energiavirrat toimivat kiertoina yhdessä alkutuotannon kanssa. Alkutuotanto on keskittynyt lähelle tehdasta. Vastaava esimerkki on Honkajoki Oy:n kiertotalouskonsepti, jossa renderöintilaitos yhdistyy paikalliseen energiantuotantoon, biokaasulaitokseen, lauhdelämmön hyödyntämiseen läheisissä kasvitarhoissa. Lopputuotteina laitokselta lähtee erilaisia teurastamoiden sivuvirroista syntyviä tuotteita, kuten eläinproteiineja eläinravinteiksi ja rasvoja biopolttoaineisiin. Tällaisissa keskitetyissä suuren volyymin ratkaisuissa kierto-prosessit voidaan rakentaa tehokkaasti ja logistiikka on kustannustehokasta.

Esimerkkinä vaikeammin kiertävistä virroista voidaan käyttää kotitalousjätteitä. Jakeet ovat periaatteessa kaikki kierrätettävissä jollakin tavalla mutta syntypaikkalajittelu on monesti puutteellista, eri jakeet ovat sekaisin keskenään ja määrät ovat niin pieniä, että keruu ei ole tehokasta pieninä jakeina. Kuva alla näyttää esimerkin kotitalouden sekajätteen jakaumasta. Jakeista suurimmat ovat keittiöjätteet ja muovit. Biojätteiden keruuta ollaan vasta aloittamassa monilla paikkakunnilla. Muovit ovat myös haasteellisia, sillä ryhmän alle kuuluu kymmeniä erityyppisiä jakeita ja monesti muovituotteet sisältävät useita eri muovityyppejä. Tekstiilijakeiden osuus on myös haasteellinen, kierrätettävyys on ollut vaikea tässä ryhmässä aikaisemmin. Kartonki, lasi ja metalli sen sijaan kiertävät huomattavasti tehokkaammin mutta näiden osuus kokonaisuudesta on pieni.

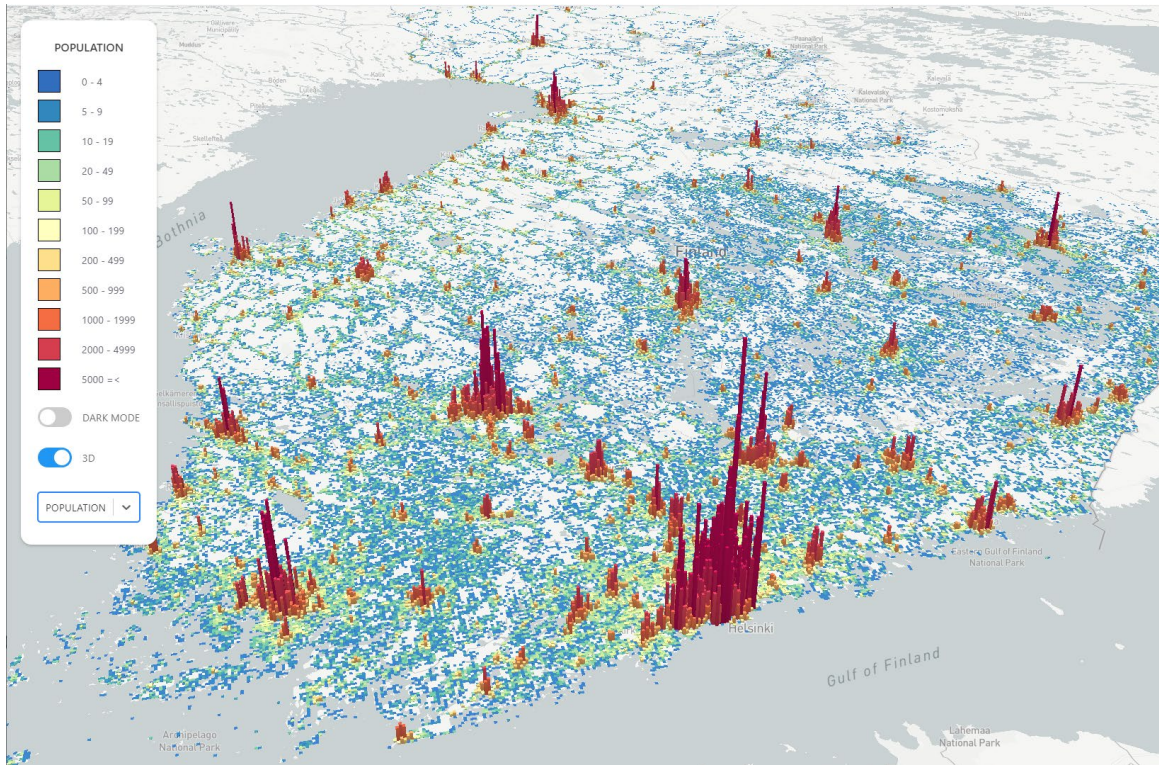
Vastaavanlaisia vähän suurempia mutta haasteellisia virtoja löytyy pienemmistä yrityksistä. Bio- ja rasvajakeita syntyy esimerkiksi ravintoloissa ja suurtalouskeittiöissä päivittäin. Jätehuolto toimii monille jakeille ratkaisuna, vaikka kierrätys sinänsä on mahdollista. Uusia kierrätysmahdollisuuksia syntyy, mikäli keruu ja kuljetus saadaan toimimaan edullisesti. Muovin kierrätys on mahdollista. Samoin tekstiilien kierrätykseen on viime aikoina tullut useita uusia mahdollisuuksia.



Kuva 2. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen jätejakeiden jakautuminen (HSY 2018).

Keruuksustannusten merkitys on oleellinen tekijä kaikissa kiertotalousjärjestelmissä. Tehokas syntypaikkalajittelu ja edullinen kustannus saada materiaali hyvälaatuisena syntypaikalta kierrätyspaikalle ovat keskeisiä tekijöitä. Maantiede vaikuttaa omalta osaltaan, miten erilaisia järjestelmiä voidaan rakentaa. Monet jätteet ja pienet sivuvirrat syntyvät paikoilla, joissa ihmiset asuvat ja toimivat. Tämä tekee haja-asutusalueilla toimimisen kalliimmaksi kuin tiheästi asutuilla alueilla, missä kuljetusmatkat ovat lyhyemmät ja kuljetusvälineet täyttyvät nopeammin.

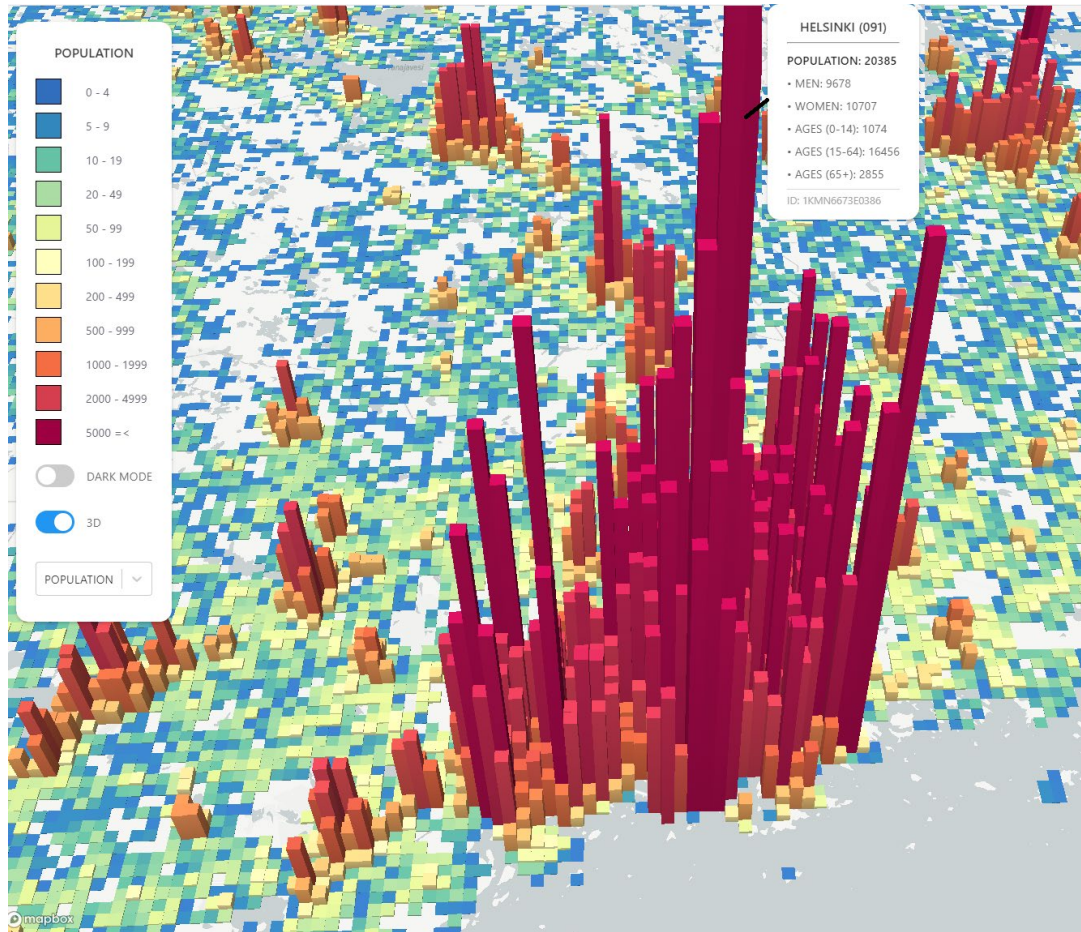
Logistiikan haastetta voidaan kuvata katsomalla Suomen väestötiheyttä. Kuvan kartta näyttää kaikki asutut neliökilometrit. Pylvään koko kasvaa, mitä enemmän ko. neliökilometrin sisällä asuu ihmisiä. Pääkaupunkiseutu sekä Tampere ja Turku erottuvat hyvin kartassa. Tyhjät valkoiset kohdat ovat alueita, joissa ei asu kukaan.



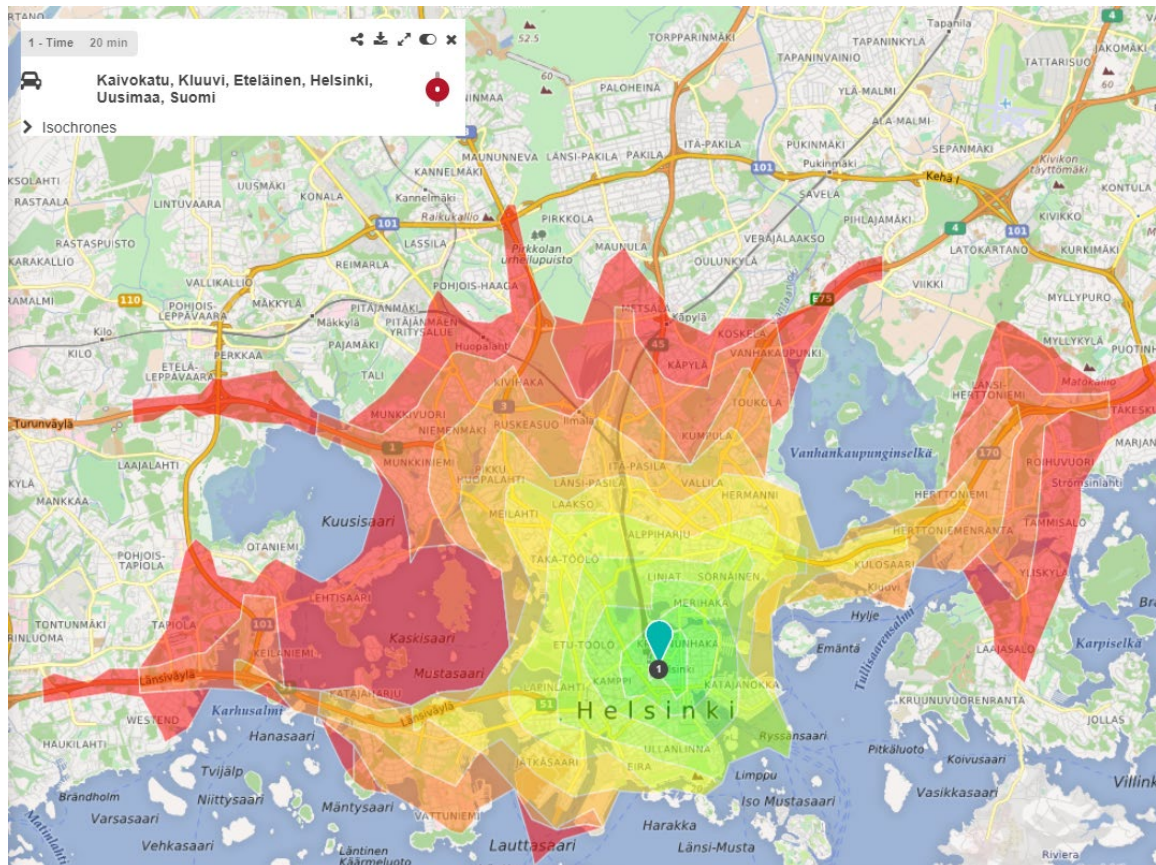
Kuva 3. Väestörutuaineistosta visualisoitu väestötiheys Suomessa 2018.

Kuva alla on suurennos kartasta kohdistuen Helsinkiin. Korkeimmassa neliökilometrin alueella pylvään korkeus kertoo että n. 20 000 ihmistä asuu alueella. Noin 10 000 ihmisen väestörutuajakin on paljon lähellä keskusta-alueita. Seuraava kuva näyttää matka-aikakartan samalla alueella eli kuinka pitkälle autolla pääsee 5 min, 10 min, 15 min, 20 min jne. intervallein (eri väriset vyöhykkeet).

On selvää, että tällaisella alueella voidaan keruu ja kuljetus järjestää melko tehokkaasti, jos syntypaikkajakelu saadaan toimimaan hyvin.

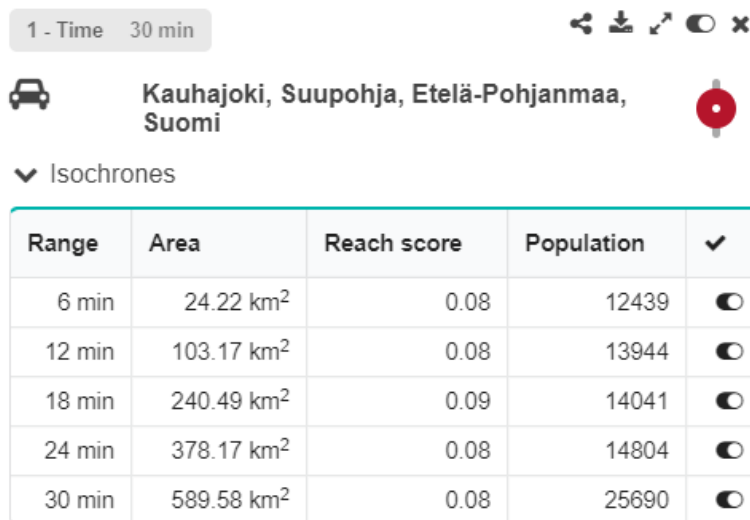
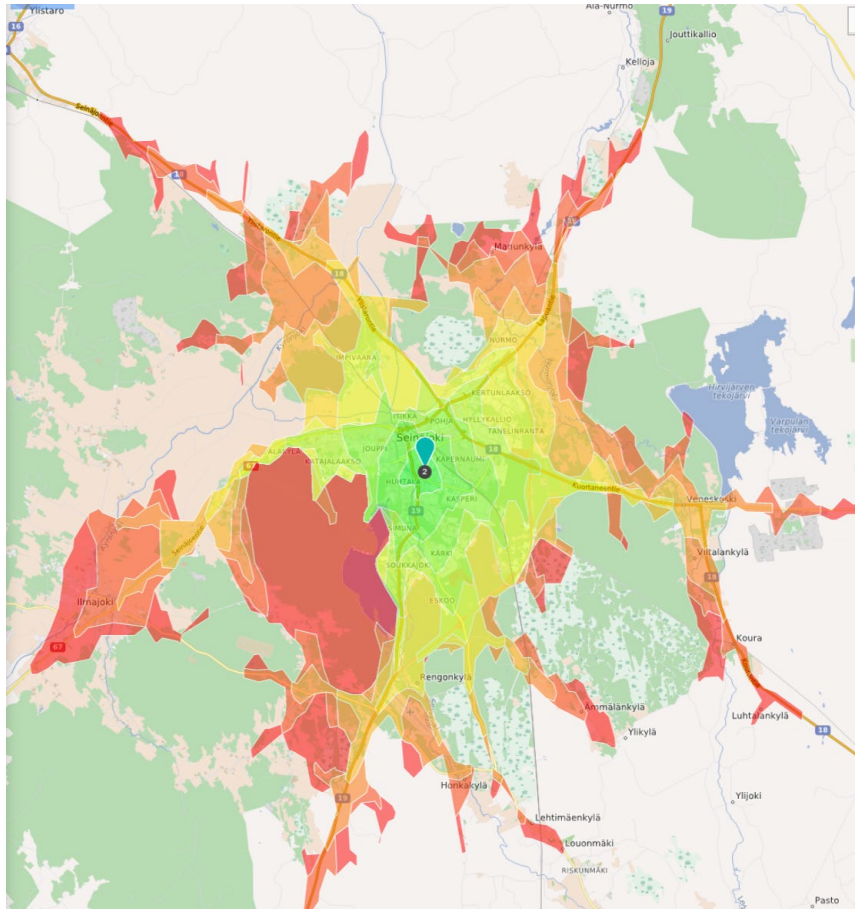


Kuva 4. Väestörutuaineistosta visualisoitu väestötiheys pääkaupunkiseudulla 2018.



Kuva 5. Matka-aikakartta Helsingin rautatieasemalta 5 min intervallein.

Vastaava analyysi haja-asutusalueella näyttää erilaiselta. Kuva alla näyttää tilanteen Kauhajoella. Matka autolla onnistuu nopeammin koska keskusta-alue on pienempi. Noin 6 minuutin ajomatkan päässä on 11 000 asukasta mutta 12 minuuttia ei kasvata määrää paljon. Puolen tunnin ajomatkan päässä asutusta on vain 25 000. Tämä on miltei vastaava määrä mitä Helsingissä tiheimmässä väestöruudussa (1 km x 1 km).

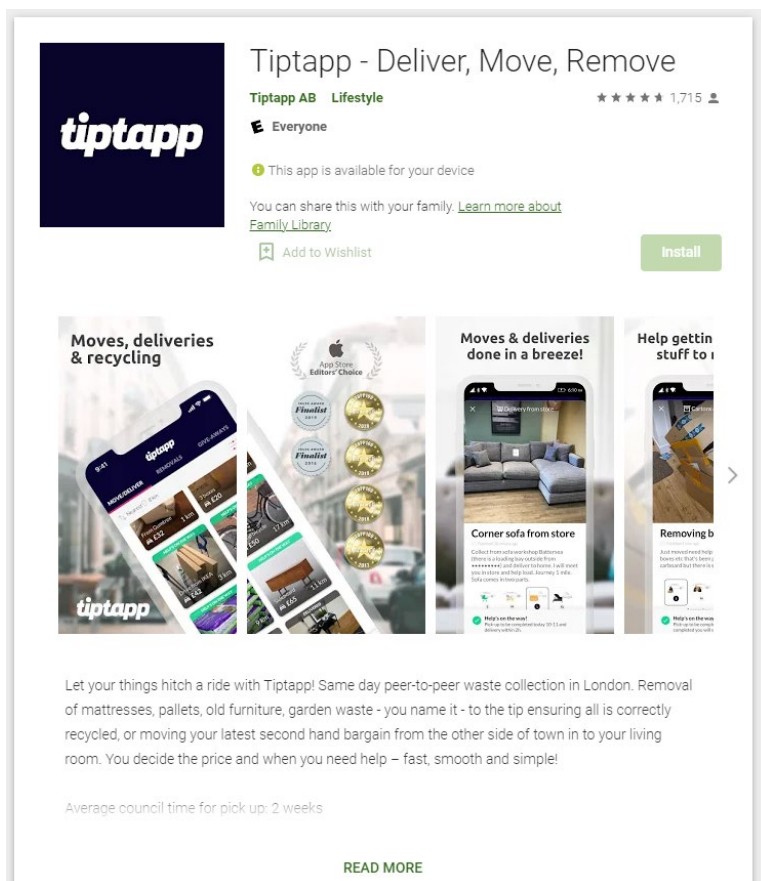


Kuva 6. Matka-aikakartta. Kauhajoella 6 min intervallein saavutettava väestömäärä.

Digitalisaation uskotaan tehostavan myös kiertotaloutta ja logistiikkaa. Ruuan kuljetuspalvelut Wolt ja Foodora toimivat useissa suuremmissa Suomen kaupungeissa. Muutaman

euron kuljetuskustannuksella kotiovelle tuodaan ruoka-annos eri ravintoloista. Kuljetus on tehokasta, sillä se perustuu täysin automatisoituun verkkopohjaiseen asiakaspalveluun, reittisuunnitteluun, keikkatalouteen ja edullisiin palkkoihin. Toinen osa liiketoiminnasta on ravintoloilta, jotka maksavat siitä, että heidän myyntinsä kasvaa näiden uusien jakelukanavien ansiosta.

Jos ruokaa on mahdollista kuljettaa ihmisten kotiin näin tehokkaasti, miksi vastaavia digipalveluita ei ole syntynyt kiertotalouteen? Yhdysvalloissa Recycle Track Systems on kehittänyt puhelinpohjaista palvelua kuljetusten tilaamiseen. Ruotsissa Tiptapp applikaatio toimii mm. Tukholmassa ja sen avulla kuluttajat voivat tilata kierrätyspalveluita tai lahjoittaa tavaroita hyväntekeväisyyteen. Järjestelmä perustuu osittain myös keikkatalouden hyödyntämiseen kierrätyksessä. Kumpaakin sovellusta on kutsuttu uudeksi ”Roska Uberiksi”.



Kuva 7. Tiptapp-applikaatio Google Play -kaupassa.

3 KIERRÄTYSASTEEN NOSTAMISEN MAHDOLLISUUKSIA YRITYSTEN NÄKÖKULMASTA

KiertoDigi -hankkeessa haastateltiin Etelä-Pohjanmaan alueella eri toimialoilla toimivia yrityksiä. Haastatteluissa kartoitettiin muutaman keskeisen toimialan edustajien näkemyksiä tämän hetken ja tulevaisuuden kierrätysmahdollisuuksista omalla toimialallaan. Haastatteluissa kartoitettiin CESME-työkalun avulla mm. tekijöitä, jotka motivoivat yrityksiä kierrättämään ja sitä, mitkä tekijät jarruttavat kierrättämisen lisäämistä. Yritykset toivatkin työkalun käytön yhteydessä omalta osaltaan esiin myös konkreettisia ratkaisuja kierrätysasteen lisäämiseksi.

KiertoDigi-hankkeen haastattelut tehtiin käyttäen VTT Oy:n kehittämää CESME-kiertotalouden arviointityökalua, jonka tavoitteena on auttaa pk-yrityksiä tunnistamaan paremmin kiertotalouden tarjoamat liiketoimintamahdollisuudet. Työkalu perustuu mm. Accenturen (2014) ja Achterberg ym. (2016) kehittämiin strategioihin ja malleihin, joissa paneudutaan erilaisiin liiketoimintamalleihin. Työkalu auttaa yrityksiä kehittämään, konkreti-soimaan sekä arvioimaan uusia kiertotalouteen liittyviä kehittämisideoita, joiden kautta yritykset voivat suunnitella omia liiketoimintamallejaan. Kiertotalouden arviointityökalu tarjoaa yrityksille myös tukea uusien kiertotalousideoiden ympäristövaikutusten sekä sosiaalisten vaikutusten arvioimisessa. Alla kaavio, jota on käytetty työkalussa kiertotalouden eri sektorien kuvaamiseen.



Kuva 8. VTT:n kiertotalouden työkalussa käytetyt kiertotalouden liiketoimintamallit

Euroopan unioni on nostanut kiertotalouden edistämisen tavoitteissaan vahvasti esiin ja asettanut tavoitteita kiertotalouden toteutumiselle. Tämä on aiheuttanut tarpeen liiketoimintamallien kehittämiseksi tukemaan yrityksiä hyödyntämään mahdollisuuksiaan ja helpottamaan ratkaisemaan haasteita. Erilaisia kiertotalouden liiketoimintamalleja ja työkaluja, sekä niiden sopivuutta kiertotalouden käytänteisiin onkin tutkittu mm. Delftin ja Cambridgen yliopistoissa (Mentink 2014; Bocken ym. 2014).

3.1 Tekstiilit

Suomessa käytöstä poistetaan vuosittain noin 70 miljoonaa kiloa tekstiiliä, ja tekstiilijätteen osuus on noin 5 - 8 prosenttia yhdyskuntajätteen kokonaismäärästä. Tästä valtaosa olisi uudelleen hyödynnettävissä materiaalina. Kierrätetyn tekstiilimateriaalin hyödyntämisessä on bisnespotentiaalia, sillä kierrätetyt tekstiilit soveltuvat esimerkiksi huonekaluteollisuuden pehmustemateriaalien tai rakentamisen eristämistuotteiden raaka-aineeksi. Matka takaisin vaatteeksi on kuitenkin pitkä, sillä Suomesta puuttuu tekstiilien kuitutuotantoa (Suomen Tekstiili & Muoti ry. 2017)

Suomessa VTT:n vetämä Telaketju-hanke on tehnyt monipuolisen selvityksen tekstiilien kierrätyksestä ja liiketoimintamalleista. Kiertotalouden liiketoimintamalleissa tuotteiden elinkaarta voidaan pidentää esimerkiksi palveluiden, kuten vuokrauksen ja second hand-kaupan avulla. Lisäksi materiaaleja voidaan hyödyntää muiden tuotteiden valmistuksessa tai kuituja kierrättää uusien tuotteiden raaka-aineeksi joko mekaanisten tai kemiallisten menetelmien avulla (Finnish Textile & Fashion 2018; Heikkilä ym. 2021).

Toteutetuissa haastatteluissa kerättiin näkemyksiä tekstiilien kierrätyksestä ja kierrätyksen kehittämisestä kierrätyskeskukselta, vaatealiikkeitä sekä tekstiilituotteita valmistavilta yrityksiltä, joiden valikoimassa on mm. pellavatuotteita, käsityötuotteita, lahjatavaratyyppejä tuotteita sekä kierrätetyistä tekstiileistä valmistettuja tuotteita.

Kehittämismahdollisuuksia

Kierrätyskeskuksen ja vaatealiikkeiden tekstiilien kierrätystoimintaa koskevat näkemykset liittyivät pääasiassa kirpputori- ja kierrätyskeskustoimintaan sekä niiden kehittämismahdollisuuksiin. Haastatellut vaatealiikkeet näkivät oman roolinsa tekstiilien kierrätyksessä vähäiseksi mutta kirpputoreilla ja erilaisilla second hand -myymälöillä voisi olla mahdollisuuksia liiketoiminnan kasvattamiseen. Haastattelussa nousi esiin idea valikoitujen vaatteiden second hand -myymälästä: asiakkaat voisivat tuoda vaatealiikkeeseen käytettyjä merkivaatteita, mistä vaatteet välitettäisiin second hand -myymälään. Haastatellut yritykset toivoivatkin tekstiilien lisääntyvän kierrätyksen kohdistuvan erityisesti

laadukkaampien vaatteiden kierrättämiseen. Niille on olemassa paremmat jälkimarkkinat ja ne kuormittavat vähemmän ympäristöä.

Yleisesti kirpputoritoiminnan katsottiin olevan tällä hetkellä hyvin kilpailtua. Siksi kehittämismahdollisuuksia nähtiin erityisesti laadukkaiden tekstiilien ja merkkivaatteiden osalta, johon liitettiin mahdollinen verkkokauppatoiminta markkinapotentiaalin laajentamiseksi. Nuoret käyttävät paljon erilaisia verkkokauppoja, joten verkkokaupan luominen voisi tuoda uusia asiakkaita ja samalla tuotteiden kierto nopeutuisi. Kierrätyskeskus koki markkinoita olevan myös muille merkkituotteille mm. astioille. Suomessa toimii mm. suuri second hand merkkituotteiden -verkkokauppa Emmy, joka on hyvä esimerkki edelläkävijyydestä alalla (Emmy 2021). Kierrätykseen kelpaamattomille tekstiileille ei kuitenkaan ole Suomessa riittäviä markkinoita, vaan niitä viedään muualle jatkojalostettavaksi. Jatkojalostukseen ulkomailla liittyy monenlaisia ongelmia (kts. Vaatteet ulkomaille 2021). Uusi poistotekstiilien jatkojalostuslaitos on käynnistymässä Suomessa mutta se ei kapasiteetiltaan vielä ratkaise koko poistotekstiilien käsittelytarvetta (Maaseudun tulevaisuus 2020; Tekniikka & Talous 2021).

Yhtenä esimerkkinä kierrätystekstiilien onnistuneesta hyödyntämisestä on ehjien käytöstä poistettujen pussi- ja aluslakanoiden käyttäminen räsykuteen valmistamisessa. Kuteen raaka-ainekustannukset ovat pienet ja materiaalia on runsaasti saatavilla. Yrityksissä pohdittiin myös palautettavien kestokassien käyttöä tuotteiden pakkaamiseen ja kuljettamiseen. Niiden avulla voitaisiin vähentää pakkausmuovin käyttöä. Se toisi suoria säästöjä yritykselle.

Käytettyjen tekstiilien kierron tehostamiseen liittyen haastatteluissa nousi esille idea ”älykkäästä” vaatteidenkeräysastiasta, jonka avulla pystytään optimoimaan vaatekeräysastioiden tyhjennyskuljetuksia. Älykkäiden vaatekeräysastioiden toiminta perustuu keräysastioissa oleviin sensoreihin, jotka mittaavat keräysastioiden täyttymistä. Sensoreiden kautta tieto keräysastioiden täyttymisestä siirtyy tyhjennyksestä vastaavalle taholle. Samaan yhteyteen voidaan liittää myös kuljetuspalveluiden logistiikan kehittäminen, jonka avulla säästetään aikaa ja vähennetään ajokilometrejä. Samalla myös kuljetuskaluston käyttö tehostuu.

3.2 Puutuote- ja rakennusala

Suurin osa asumisen hiilijalanjäljestä muodostuu rakennuksen käytön aikaisesta energian kulutuksesta. Nykyään painopiste on kuitenkin siirtymässä rakentamisen aikaisiin päästöihin ja rakennusmateriaalien valmistuksen hiilijalanjälkeen. Kestävän kehityksen mukaiset uudet ratkaisut vaikuttavatkin koko rakennusalan toimitusketjuun. Ei pohdita vain, miten materiaalit voidaan parhaiten kierrättää purkuvaiheessa, vaan arkkitehdit ja rakennuttajat suunnittelevat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, miten minimoida

materiaalien käyttö ja maksimoida sekä rakennuksen että rakennusmateriaalien uusiokäyttö ja kierrätys (van Sante 2017; Huuhka ym. 2018).

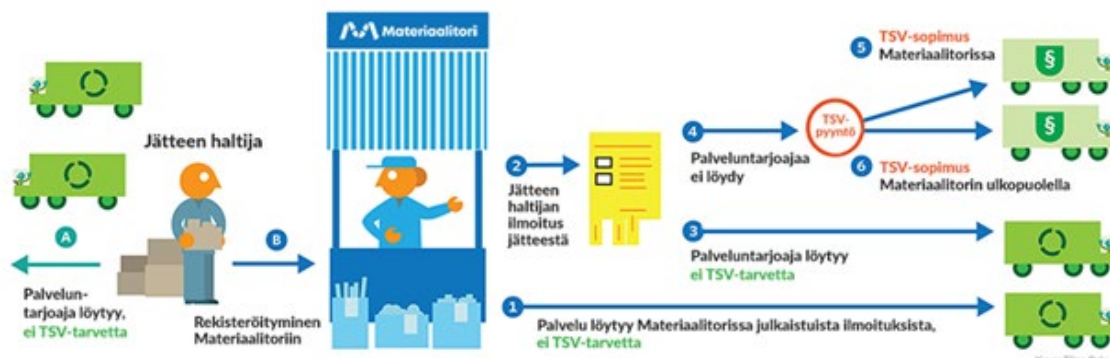
Puutuote- ja rakennusalalta haastateltiin hankkeessa viittä alan yritystä. Haastatteluissa korostui erityisesti digitaalisten ratkaisujen kehittämistarve. Niitä ovat yritysten sivuvirtamateriaalien käytön edistäminen digitaalisen alustan avulla, asuntojen energiatehokkuutta parantavat älykoti-ratkaisut sekä kuljetuslogistiikan parantaminen. Myös talojen siirrettävyyteen ja muunneltavuuteen liittyviä mahdollisuuksia ja ratkaisuja pohdittiin.

Kehittämismahdollisuuksia

Digitaalisia ratkaisuja ja työkaluja

Haastatteluissa pohdittiin ideaa kierrätystä edistävästä digitaalisesta työkalusta, johon yritykset voisivat ilmoittaa tuotannossa syntyvät sivumateriaalit. Digitaalisen työkalun käyttö voisi tuoda säästöjä, koska sivumateriaaleja ei tarvitsisi viedä jäteasemalle, vaan ne voitaisiin ohjata muille toimijoille. Myös yrityksen päivittäinen toiminta voisi helpottua, jos digitaalinen alusta osaisi itsenäisesti ilmoittaa sivumateriaalien hyödyntäjälle, milloin materiaalit olisivat noudettavissa. Digitaalisen työkalun avulla sivumateriaaleja hyödyntävät toimijat voisivat myös suunnitella materiaalien keräämiseen liittyvät keruureitit.

Tarve sivuvirtamateriaalien ja rakennusjätteen käytön edistämiseen on todettu. Ympäristöministeriö ja Motiva ovatkin käynnistäneet valtakunnallisen digitaalisen palvelun Materiaalitorin, mihin voi ilmoittaa jättemateriaaleja ja josta käyttäjä voi etsiä materiaaleja ja palvelun tuottajia (Materiaalitori 2021).



Lähde: www.materiaalitori.fi

Kuva 9. Materiaalitorin toiminta

Osa puutuotealan yrityksistä käyttää omassa tuotannossaan syntyviä sivuvirtoja energian tuottamiseen ja rakennusten lämmittämiseen. Tämä poistaa tarvetta viedä puutavarajätettä jäteasemalle ja samalla yritykset säästävät energiakustannuksissa.

Myös ns. älykotien rakentaminen ja niiden mahdollistavat digitaaliset palvelut nousivat esiin haastattelussa. Älykodeissa ideana olisi taloihin rakennusvaiheessa asennettava ohjauksyksikkö sekä antureita, joilla voitaisiin kerätä erilaista asumiseen liittyvää dataa. Siten asukkaat voisivat seurata omaa energiankulutustaan ja saada tietoa siitä, minkälaisia taloudellisia vaikutuksia energiankulutuksessa tapahtuvilla muutoksilla on heidän talouteensa.

Tarve kuljetuslogistiikan parantamiseen nousi esiin kaikilla toimialoilla. Puutuotealalla ideana on digitaalisen työkalun kehittäminen, jonka avulla yritykset voisivat järjestää yhteisiä kuljetuksia tuotteilleen. Työkalun avulla yritykset pystyisivät ilmoittamaan toisilleen, minne tavarakuljetuksia on menossa ja onko kuljetuksissa tilaa muiden yritysten tuotteille. Työkalu mahdollistaisi lähialueilla toimivien yritysten tavarakuljetusten tehostumisen.

Siirrettävyys ja monikäyttöisyys

Puurakennusalan yritys pohti haastattelussa liiketoimintaideaa hirsitalojen siirtämisestä ja muokkaamisesta uusia käyttötarpeita varten. Esimerkiksi koulusta pystyttäisiin pienin kustannuksin tekemään vanhustentalo. Mahdollisuutta rakennusten muunneltavuuteen ja monikäyttöisyyteen onkin alettu viime aikoina tutkia mm. Tampereen yliopistossa ja VTT:llä (Tarpio 2015; Häkkinen & Ala-Kotila 2019). Monikäyttöisyys ja muunneltavuus on yksi tapa edistää kestävästä rakentamisesta, jota tavoitellaan liittyen rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämiseen.

Eräs yritys näki, että yksityisistä kuluttajista etenkin ensiasunnon ostajat ja ikääntyneemmät henkilöt voisivat olla kiinnostuneita ostamaan siirrettäviä taloja. Myös tavalliset perheet voisivat olla kiinnostuneita siirrettävistä taloista, koska perhekoon muuttuessa talo voitaisiin myydä toiselle paikkakunnalle. Onnistuessaan tällainen liiketoiminta auttaisi yritystä erottautumaan kilpailijoistaan. Suomessa Teijo-talot on yksi siirrettävien rakennusten pioneiryrityksistä. Yritys valmistaa niin siirrettäviä asuinrakennuksia kuin julki-siakin rakennuksia esim. kouluja (Teijo-Talot 2021).

3.3 Muoviala

Muovi on tärkeä ja kaikkialla esiintyvä materiaali jokapäiväisessä elämässämme. Se ratkaisee lukuisia haasteita yhteiskunnassamme. Kevyenä materiaalina se vähentää liikenteen energian tarvetta, ja vähentää siten hiilidioksidipäästöjä. Pakkausmateriaalina se

parantaa ruuan säilymistä ja vähentää hukkaa. Muovi hävitetään kuitenkin liian usein huomioimatta kierrätysmahdollisuuksia. Tällä hetkellä pohditaankin paljon muovin aiheuttamia ympäristöongelmia, joista näkyvin on ehkä valtamerien kasvava muovirooska (European Commission 2018).

Suomessa muovien kierrätystä on alettu kehittää kansallisen muovitiekartan avulla. Tiekarttaan on koottu toimia, joilla voidaan vähentää muoveista aiheutuvia haittoja, välttää turhaa kulutusta, tehostaa muovien kierrätystä ja löytää korvaavia ratkaisuja (Ympäristöministeriö 2019).

Muovialan haastatteluissa kerättiin yrityksiltä näkemyksiä muovien kierrätyksen nykytilasta, kierrätysmateriaalien käytöstä ja kehittämismahdollisuuksista. Haastattelussa oli mukana muovituotteita ja teknisiä muoviosia sopimusvalmistuksena valmistava yritys sekä muoviovia valmistava yritys.

Kehittämismahdollisuuksia

Yrityksen mukaan kierrätysmuovin laatu vaikuttaa käyttökohteisiin ja tuo haasteita käytön laajentumiseen. Esim. teknisten muoviosien valmistuksessa on tarkat vaatimukset raaka-aineille ja valmistusmenetelmille. Tuotteen tilaava asiakas päättää, mistä materiaalista tuote tehdään. Yritys totesikin, että kierrätysmateriaalit eivät sovi teknisten muoviosien valmistukseen, koska kierrätysgranulaatti ei ole tarpeeksi tasalaatuista.

Kierrätysgranulaattia voidaan sen sijaan käyttää sellaisissa tuotteissa, joihin liitetyt laatuvaatimukset eivät ole kovin tarkkoja. Kierrätysgranulaatti sopii hyvin moniin kuluttajatuotteisiin, ja sitä käytetään mm. muovikasseissa ja taloustavaroissa. Elintarvikepakkauksissa uusiomuovia ei kuitenkaan voi käyttää, koska silloin ei voida taata riittävää puhtaustasetta. Sen sijaan rakennuslalla kierrätettyä muovia voidaan käyttää mm. profiileissa ja eristeissä (Ekokumppanit 2021).

Erään yrityksen mukaan biokomposiittituotteissa voisi olla uusia mahdollisuuksia tavoittaa uusia asiakasryhmiä. Kierrätysmateriaalin käyttö voikin lisääntyä kysynnän lisääntyessä. Ympäristötietoiset kuluttajat ovat valmiita ostamaan biokomposiittista valmistettuja tuotteita. Toisaalta myös lainsäädäntö voi lisätä erilaisten biokomposiittien käyttöä muovien käyttöön liittyvien rajoitusten lisääntyessä.

Biokomposiittista valmistettu tuote pitäisi olla uutuustuote tai sen pitäisi syrjäyttää markkinoilta tuote, joka on valmistettu kokonaan muovista. Biokomposiittituotteiden yleistyminen vaikuttaa myös muovien hintakehitys. Jos muovin hinta nousee, laskee biokomposiittimateriaalin hinta suhteessa siihen. Yrityksen mukaan biokomposiittista valmistettu tuote on myös mahdollista hävittää helpommin sitten, kun tuote on tullut elinkaarensa

päähän. Toisaalta on huomioitava, että on olemassa monenlaisia biopohjaisia materiaaleja ja vain osa niistä on kompostoituvia. Osa tuotteista pitää hävittää samalla tavalla kuin perinteisetkin muovituotteet (Lehtonen 2021). Uusia innovaatioita on syntymässä komposiittimateriaalin käyttöön ja esim. KiMuRa-projekti on kehittämässä komposiittijätteen reittiä kierrätetyksi raaka-aineeksi sementtiklinkkerin rinnakkaisprosessissa (Muoviteollisuus ry 2021).

Samoin kuin puutuotealalla myös muovialan yritys otti esiin tarpeen digitaalisesta alustasta, johon yritykset voisivat ilmoittaa tuotannossa syntyvät sivumateriaalinsa. Sivumateriaaleista voitaisiin tehdä tarjouksia alustalla, ja pienetkin yritykset voisivat saada materiaalin edullisemmin alustan kautta kuin ostamalla materiaalin uutena.

3.4 Muutosajureita

Digitalisaation kasvava rooli kierrätyksessä

Digitaalisten palvelujen ja toimintamallien merkitys kierrätystoiminnan kehittämisessä nähtiin keskeisenä keinona kaikilla kartoitetuilla toimialoilla. Digitaalisten työkalujen avulla voitaisiin ratkaista sivuvirtamateriaalien kuljetuslogistiikan ongelmia, sillä määrät ovat usein niin pieniä, että niitä ei aina kannata kuljettaa eteenpäin, ja ne jäävät siksi hyödyntämättä. Sivumateriaaleja hyödyntävät toimijat voisivat suunnitella tähän tarkoitukseen luodun digitaalisen työkalun avulla materiaalien keräämiseen liittyvät keruureitit ja saada toiminta siten nykyistä kannattavammaksi. Sivuvirtamateriaaleja kerääviä yrityksiä onkin jo syntynyt Suomeen mm. Netlet Oy hakee ja myy edelleen rakennusliikkeiden sivumateriaaleja (Netlet 2021).

Yritysten tuotteiden kuljetuksessa nähtiin digitalisaation tuoma mahdollisuus järjestellä yhteisiä kuljetuksia nykyistä enemmän. Tämä vaikuttaisi kuljetusten kokonaismäärään, teillä kulkisi enemmän täysiä tavarakuljetuksia ja yritysten rahtikustannukset voisivat pienentyä. Samalla turha rekkaliikenne ja sen päästöt vähensivät.

Myös älykotien kehittämisessä digitalisaatio on keskiössä. Älykodit luovat täysin uusia yhteistyömahdollisuuksia asuinalueille. Niistä muodostuvilla kortteleilla voisi olla omaa energiantuotantoa, jonka tuottamisessa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi maalämpöä tai aurinkoenergiaa. Tällä tavalla älykotikorttelit voisivat todennäköisesti yhdessä hyödyntää puhtaampaa energiaa kustannustehokkaammin kuin yksin tuottaen. Älykotikortteleissa voisi myös olla yhteiskäyttöisiä sähköautoja sekä sähköpolkupyöriä. Tällainen tavaroiden yhteiskäyttö voisi samalla lisätä ihmisten välistä yhteisöllisyyttä.

Imagon ja kustannusten ristipaine

Haastateltujen yritysten edustajat kokivat kierrättämisellä ja uusilla ekologisilla ratkaisuilla olevan paljon positiivisia vaikutuksia sekä yhteiskuntaan että ympäristöön. Asiakkaat ovat kiinnostuneita tuotteista, joiden valmistuksessa on käytetty kierrätysmateriaaleja. Kierrätysmateriaalien käyttö voi lisätä yrityksen liikevaihtoa sekä mahdollisuuksia pärjätä kilpailussa. Ongelmaksi voi muodostua kierrätetystä materiaalista valmistettujen tuotteiden hinta tai laatu tai molemmat. Kierrätysmateriaalien pitäisi olla tasalaatuisia ja hinnaltaan sopivia, jotta materiaalia olisi kannattavaa käyttää yritysten valmistamissa tuotteissa. Kierrätysmateriaaleista valmistettavat tuotteet voivat kuitenkin olla kalliimpia valmistaa kuin neitseellisestä materiaalista valmistetut tuotteet. Tällöin niiden myyntihintakin asiakkaalle voi olla korkeampi.

Kierrätettävien materiaalien pitäisi skaalautua riittävän suuriksi, jotta niistä saataisiin merkittäviä taloudellisia ja ympäristöhyötyjä. Vasta laajaksi skaalautuneen kierrätystoiminnan avulla voidaan säästää enemmän resursseja kuin, mitä neitseellisestä materiaalista valmistettuun tuotteeseen kuluu. On myös huomioitava, että vaikka kierrätysmateriaalien käyttö tuotteissa koetaan positiiviseksi asiaksi, niistä valmistetuista tuotteista ei välttämättä olla valintatilanteessa valmiita maksamaan enempää. Neitseellisen materiaalin arvon pitäisikin usein nousta, jotta kierrätysmateriaalien käytöstä tulisi kannattavampaa.

Yhteiskunta ja lainsäädäntö

Positiivisten ympäristövaikutusten ja neitseellisten materiaalien säästämisen lisäksi kierrätysmateriaalien käytöllä ja käsittelyllä on työllistävä vaikutus yhteiskunnassa. Kaikilla toimialoilla nähtiin, että kierrätysmateriaalien jalostus voi tuoda Suomeen lisää työpaikkoja, jos kierrätettävät materiaalit käsiteltäisiin ja tuotteet valmistettaisiin Suomessa.

Jätteen käsittelyn hinta vaikuttaa tällä hetkellä ylijäämämateriaalien hyödyntämiseen. Tällä hetkellä jäteasemamaksut ovat yrityksille maltillisia, joten yrityksen on taloudellisesti järkevämpää viedä ylijäämämateriaalit jäteasemalle. Tilanne voi muuttua, jos jätteen käsittelymaksut nousevat nykyiseltä tasoltaan. Tulevaisuudessa on mahdollista, että neitseellisen raaka-aineen hinta tulee nousemaan, mikä voi lisätä kierrätysmateriaalien kysyntää. Kysynnän muutoksiin vaikuttavat merkittävästi myös yhteiskunnan toimet. Mikäli kansallinen tai EU-tason ympäristölainsäädäntö asettaa uusia kierrätysvelvoitteita tai materiaalien käyttörajoitteita, se vaikuttaa välittömästi myös erilaisten materiaalien käyttöön tuotteissa ja säänneltyjen materiaalien kierrätyspotentiaaliin (Ympäristöministeriö 2021).

Jätejakeiden lajittelu onkin jo lisääntynyt mm. rakennusalalla, joka on suuri sivuvirta- ja jätemateriaalin tuottaja. Puuta lajitellaan kierrätettäväksi entistä enemmän ja muovin lajittelu työmailla on lisääntynyt. EU:n asettaman direktiivin mukaan rakennus- ja purkujätteen kierrätystä on lisättävä vähintään 70 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Tavoite ei kuitenkaan toteutunut Suomessa asetetussa aikataulussa. (Euroopan komissio 2018)

Puu- ja rakennusmateriaaleissa on kiertotalouden näkökulmasta paljon potentiaalia, sillä tuotteet ovat pitkäikäisiä, helposti muokattavissa ja uudelleenkäytettäviä. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat hirsitalojen ja CLT:stä, eli monikerroslevystä (Monikerroslevy 2021) rakennettujen talojen muokkaus- ja siirtämismahdollisuudet uusia käyttötarpeita varten. Käytettyä CLT:tä voidaan myös hyödyntää uudestaan esimerkiksi infrarakentamisessa. Tällä tavoin etenkin julkisen sektorin toimijat voisivat saada säästöjä ja samalla edistää kiertotalouden ratkaisujen suunnittelua ja toteuttamista kunnissa (Cederlöf 2016). Siirrettävät ja muokattavat talot antavat mahdollisuuden rakentamisen vähentämiselle ja siirrettäviä taloja voitaisiin jopa lainoittaa kevyemmillä ehdoilla, koska talo ei olisi sidottu tiettyyn paikkaan.

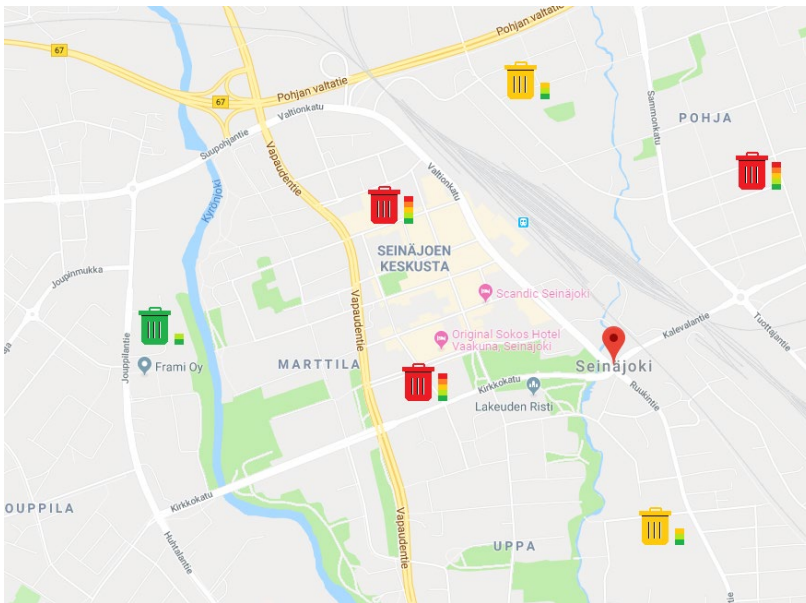
4 RATKAISUMALLEJA

Tässä kappaleessa pohditaan kahdeksaa erilaista, pääosin teknologista ratkaisua erilaisiin kierrätykseen liittyviin ongelmiin, jotka vaikeuttavat kierrätyksen lisäämistä ja toteuttamista. Esimerkkitapauksista suurin osa nousi suoraan hankkeeseen osallistuneiden yritysten tarpeista ja osa hanketyöntekijöiden keskinäisten keskusteluiden ja yritysedustajien haastattelujen pohjalta nousseita. Tarkastellut esimerkit lähtevät kotioloissa tapahtuvasta materiaalien tunnistamisesta ja syntypaikkalajittelusta edeten kierrätysmateriaalien erilaisten keräyspisteiden järjestelyyn ja niiden anturointiin. Tämän lisäksi keräyspisteiden välistä logistiikkaa, erityisesti kuljetusta ja keräystä, sekä niihin liittyviä kustannuskysymyksiä mallinnetaan. Myös erilaisia teknisiä kierrättämistä helpottavia ratkaisuja on eri tapauksissa pohdittu. Osa ehdotetuista ratkaisuista on toteutettu pilotiksi saakka ja osa on vasta konseptitasolla. Tästä syystä pilotoituja tapauksista kuvataan laajemmin. Esimerkkitapaukset kuvaavat samalla monia erilaisia kierrätykseen liittyviä haasteita.

Esimerkkitapaus 1: Älykäs vaatekeruu

Tekstiilien kierrätyksen haasteet on tunnistettu jo pitkään. Kierrätysvaihtoehtoja on kehitetty mutta usein kierrättämisen haasteena on suuri materiaalikirjo ja sen mukanaan tuoma kannattamattomuus (Koch & Domina 1999). Kierrätysmallien vaatimuksia on tutkittu mm. Suomessa (Dahlbo ym. 2020), Tsekin tasavallassa (Nencková 2020) sekä Kiinassa (Yan 2019).

Vaatteiden keruun erityishaaste on saada tekstiilit hyvälaatuisia ja oikein lajiteltuina oikeanlaiseen kiertoon. Vaatteita kerätään tällä hetkellä erilaisten kierrätyspisteisiin sijoitettujen keräyslaatikoiden avulla. Vaatteiden keräämisessä volyymit ovat kasvaneet huomattavasti ja vaatekeruulaatikoiden hallinta on haastavaa. Tässä esimerkkitapauksessa haetaan ratkaisua keräysastioiden täyttöasteen seurantaan ja tyhjennysreittioptimointiin. Tavoitteena on luoda älykäs vaatekeräyslaatikko ja dataa hyödyntävä tyhjennysreittien suunnittelujärjestelmä.



Kuva 10. Keruupisteiden väri kartalla näyttää keräysastian täyttöasteen reaaliajassa.

Ongelma

Kaks’Kättä työpajan vaatekeräyslaatikot täyttyvät epätasaiseen tahtiin ja tästä syystä oikeaan aikaan tapahtuvan tyhjennyksen tekeminen on mahdotonta. Laatikoita joko käydään tarkistamassa liian usein tai tyhjennetään liian harvoin. Tämä vaatii ylimääräisiä henkilö- ja ajoneuvoresursseja sekä kerryttää turhia ajokilometrejä. Liian pitkällä tyhjennysvälillä taas keräyslaatikot täyttyvät ja paikalle tuodut vaatteet päätyvät usein polttojätteeseen, koska ne jäävät säiden armoille keräyslaatikon ulkopuolelle.

Ratkaisu

Hankkeessa kehitelty älykäs vaatekeräyslaatikko sisältää sensorin, joka monitoroi laatikon täyttöastetta. Tämä sensori on yhdistetty langattomaan lähettimeen, jonka avulla tieto laatikon täyttöasteesta saadaan keräyslaatikoiden tyhjennyksestä vastaaville henkilöille. Kyseessä on siis niin sanottu älykeräysastia, joka hyödyntää esineiden internetiä.

Esineiden internetillä (engl. Internet of Things, lyhyemmin IoT, myös Internet of Everything, IoE, lisäksi Industrial Internet of Things, IIoT) tarkoitetaan järjestelmiä, jotka perustuvat teknisten laitteiden suorittamaan automaattiseen tiedonsiirtoon sekä kyseisten laitteiden etäseurantaan ja -ohjaukseen internet-verkon kautta. Teollisen internetin tuottama lisäarvo perustuu sen avulla kerättyyn ja tuotettuun tietoon. Oikeanlaisten prosessien avulla Teollisen internetin tuottama tieto saadaan jalostettua helposti

hyödynnettävään muotoon ja tietoverkon avulla automaattinen, reaaliaikainen analytiikka järjestämään valtavaa tietomassaa käyttökelpoisiksi tunnusluvuiksi ja tilannekatsauksiksi.

Edut ja ongelmat

Sensorin kehittämisessä tutkitaan ja hyödynnetään avoimien (open source) järjestelmien mahdollisuuksia IoT-järjestelmien luomisessa. Avoimien järjestelmien etuna kaupallisiin järjestelmiin verrattuna on niiden joustavuus ja riippumattomuus järjestelmätoimittajasta sekä edullisuus. Toisaalta järjestelmän käyttöönotto ja ylläpito eivät ole ulkoisen toimittajan vastuulla, joka voisi johtaa suurempiin käyttökustannuksiin riippuen huollon tarpeesta ja yrityksen sisäisestä osaamisesta. Joissakin tapauksissa kaupallisten ja avoimien IoT-työkalujen hybridi voisikin olla optimaalinen ratkaisu. Joka tapauksessa avoimet IoT-työkalut ovat osoittautuneet toimiviksi järjestelmien kehittämis- ja protoiluvaiheessa.

Teknologiat - Datan keräys

Anturoinnin lisäksi älykkääseen vaatekeräyslaatikkoon on sisällytettävä tekniikka langattomaan tiedonsiirtoon, jolla mahdollistetaan tietojen siirto keräysastiasta tietojen keräyspisteeseen sen analysoijalle. Jotta toiminta olisi kustannustehokasta, tämä anturin ja lähettimen muodostama kokonaisratkaisu pitää mahdollistaa mahdollisimman matalalla virrankulutuksella.

Langattomat teknologiat voidaan jakaa lyhyen ja pitkän kantaman teknologioihin. Lyhyen kantaman teknologioista mainittakoon Wi-Fi, Bluetooth ja Zigbee. Pitkän kantaman teknologioita taas ovat matkapuhelimista tutut 2G/3G, 4G, LTE ja 5G ja IoT-sovelluksissa enemmän käytetyt LPWAN tekniikat kuten NB-IoT, Sigfox ja LoRa. (N. Poursafar. 2017)

Sensoreissa päädytään käyttämään LoRa-tiedonsiirtoa, koska tarkoitukseen on olemassa kohtuuhintaisia kehitysalustoja ja tiedonsiirtoon voidaan hyödyntää Digitan maanlaajuista LoRaWAN-verkkoa.

Datankeruun keskipisteessä ovat edulliset mikrokontrolleri-kehitysalustat, joihin on mahdollista liittää erilaisia antureita. Yksittäisen sensorin kokonaiskustannukset koostuvat siis kehitysalustasta, siihen liitetystä anturista, virtalähteestä ja koteloinnista.

osa	hinta [eur]	osa	hinta [eur]	osa	hinta [eur]
Kehitysalusta	10	Kehitysalusta	10	Kehitysalusta	10
Laser-sensori	2	Ultraääni-sensori	4	IR-sensori	5
Virtalähde	4	Virtalähde	4	Virtalähde	4
Kotelointi	5	Kotelointi	6	Kotelointi	6
Yhteensä [eur]	21		24		25

Kuva 11. Koteloituihin sensorointilaitteisiin tarvittavien komponenttien hintoja.

Kuten kuvasta 11 ilmenee, kokeiluissa käytetyt sensorit ovat edullisia. Muutkin komponentit, joita koteloidun sensorointilaitteen kokoamiseen tarvittiin olivat edullisia, joten toimivan sensorointiyksikön (kuva 12) rakentaminen keräyslaatikon (kuva 13) sisälle ei ole tänä päivänä enää kustannuskysymys.



Kuva 12. Koteloitu laite, joka sisältää laser- ja ultraäänisensorit

Laitteen virrankulutus saadaan hyvin alhaiseksi käyttämällä kehitysalustan mahdollistamaa horrostilaa, jolloin sen virtaa kuluttavat toiminnot on ajettu alas ja laite herää säännöllisesti asetetun horrosajan jälkeen mittaamaan ja lähettämään mittaustuloksia. Teoreettisten laskelmien mukaan virtaa riittää kahdesta AA-paristosta noin kolmeksi vuodeksi kolmen tunnin mittausvälillä. Käytännön testeissä asennetut sensorit ovat olleet käynnissä yhtäjaksoisesti jo 6kk ja lähettävät yhä mittaustuloksia kolmen tunnin välein.

Testit laitteiden ja Digitan LoRaWAN-verkon kanssa ovat myös antaneet lupaavia tuloksia. Data on siirtynyt testeissä langattomasti, jopa 10 km päässä olevaan lähimpään tukiasemaan.



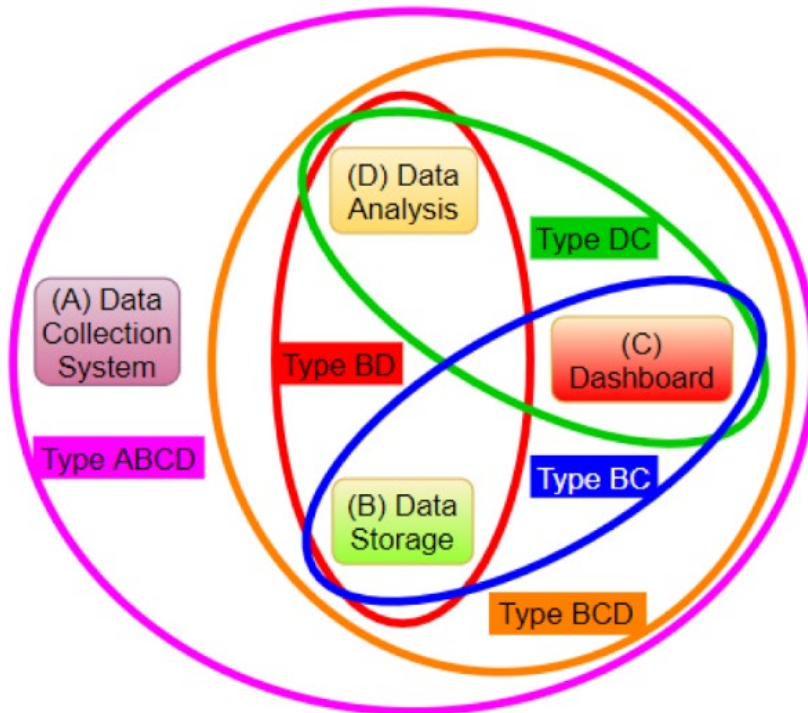
Kuva 13. Keräysastia, johon on asennettu erilaisia sensoreita

Teknologiat - Datan käsittely

Kuten aiemmin kerrottiin, datan keräyksessä hyödynnetään maanlaajuista Digitan LoRa-WAN-verkkoa. Digitan verkkoon kytkettyjä laitteita hallitaan Digitan ThingPark-järjestelmän kautta, jossa voidaan esimerkiksi asettaa laitekohtaisia reitityksiä datalle. Jotta data saadaan muutettua arvoa antavaksi tiedoksi, täytyy sitä pystyä hallitsemaan ja mahdollisesti jalostamaan. Datan tallennus ja visualisointi ovat kaksi IoT-järjestelmien kulmakivistä. Digitan ThingPark-järjestelmä ei anna työkaluja tähän vaan käyttöön on otettava muita työkaluja. Datan tallentamiseen päätetään käyttää sekä Googlen Firebase pilvitalennustilaa, että omalle serverille asennettua avoimen lähdekoodin InfluxDB-databasea. Datan visualisoimiseen taas sovelletaan avoimen lähdekoodin Grafana-visualisointityökalua, joka on yhteensopiva InfluxDB:n kanssa. Paikallisena serverinä käytetään Raspberry Pi-piirikorttitietokonetta, joita myydään noin 40 euron hintaan.

Näiden erilaisten järjestelmän osasten hyödyntämisessä eteen tulee yksi IoT:n isoimmista haasteista, eli yhteensopivuus. Usein ilmenee tarve yhdistää työkaluja ja palveluita

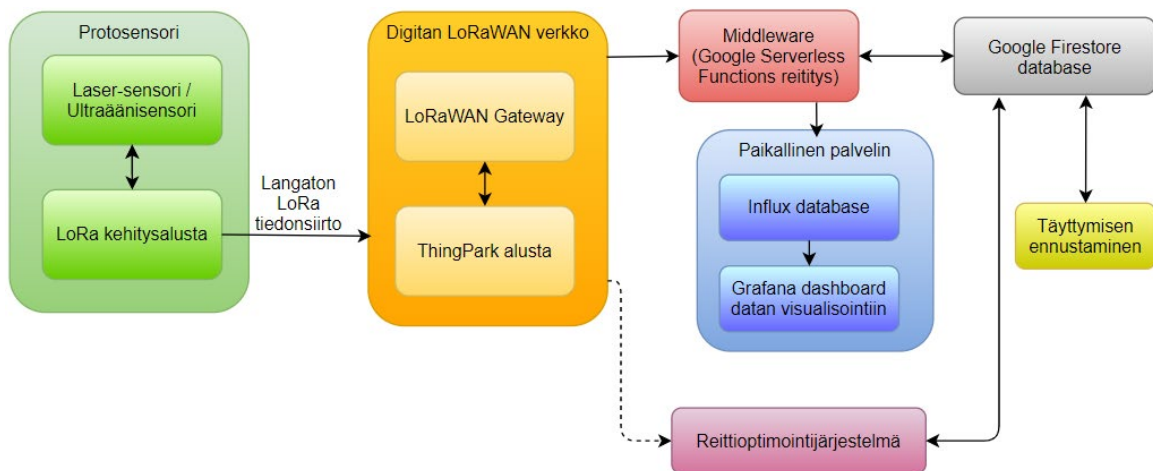
eri alustoilta suorituskyvyn ja joustavuuden parantamiseksi sekä välttää samalla toimittajisidonnaisuus (eng. vendor-lock). Tilannetta selkeyttää kuvassa 14 esitetty IoT-työkalujen jaottelu. Ratkaisussa sovelletaan IoT-työkaluja yhdistävää middlewarea, joka toimii eri työkalujen välillä niin, että data saadaan siirtymään niiden välillä saumattomasti. (Martikkala ym. 2021)



Kuva 14. IoT-työkalujen jaottelu.

Middlewaren alustana hyödynnetään Google Cloud Functions (GCF) FaaS -palvelua, jossa kirjoitettua koodia voidaan ajaa serverittömässä ympäristössä. Tämä soveltuu erityisesti yksinkertaisille sovelluksille, jotka käynnistyvät, kun palvelin saa pyynnön koodin suorittamiseksi. Tässä tapauksessa pyyntö on Digtan ThingPark-alustan kautta LoRaWAN-sensorilta saapunut datapaketti. GCF:ään tallennettu koodi purkaa saapuneesta datasta halutut tiedot, eli sensorin tunnuksen, sen mittaamat arvot sekä aikaleiman. Nämä tiedot muutetaan Google Firebase -pilvitalennustilan sekä InfluxDB-tallennustilan ymmärtämään muotoon ja lähetetään eteenpäin niiden rajapintoihin.

Google Firebase -pilvitalennustilaa käytetään InfluxDB:n ohella, koska sen etuna paikalliseen serveriin verrattuna on toimintavarmuus ja mahdollisuus toimia varmuuskopiona kerätylle datalle. Keräysastioiden monitorointijärjestelmän datamäärät ovat niin pieniä, että Firebase-palvelua voidaan käyttää ilmaiseksi. Firebase-pilvipalvelua on myös helppo hyödyntää seuraavissa kehitysaskeleissa, joita ovat esimerkiksi keräysastian täyttymisen ennustaminen ja reittioptimointi.



Kuva 15. Järjestelmän arkkitehtuuri.

Kuten kuvasta 15 selviää, kokonainen IoT-järjestelmä datan keräämisestä visualisointiin pystytään toteuttamaan varsin edullisesti avoimia työkaluja hyödyntäen. Käytöstä syntyvä isoin kustannus tulee olemaan Digitaalinen LoRaWAN-verkkomaksu, joka voi osoittautua yksittäiselle toimijalle liian isoksi. Järjestelmän koekäyttäminen jatkuu yhä ja lisää tuloksia saadaan myöhemmin.

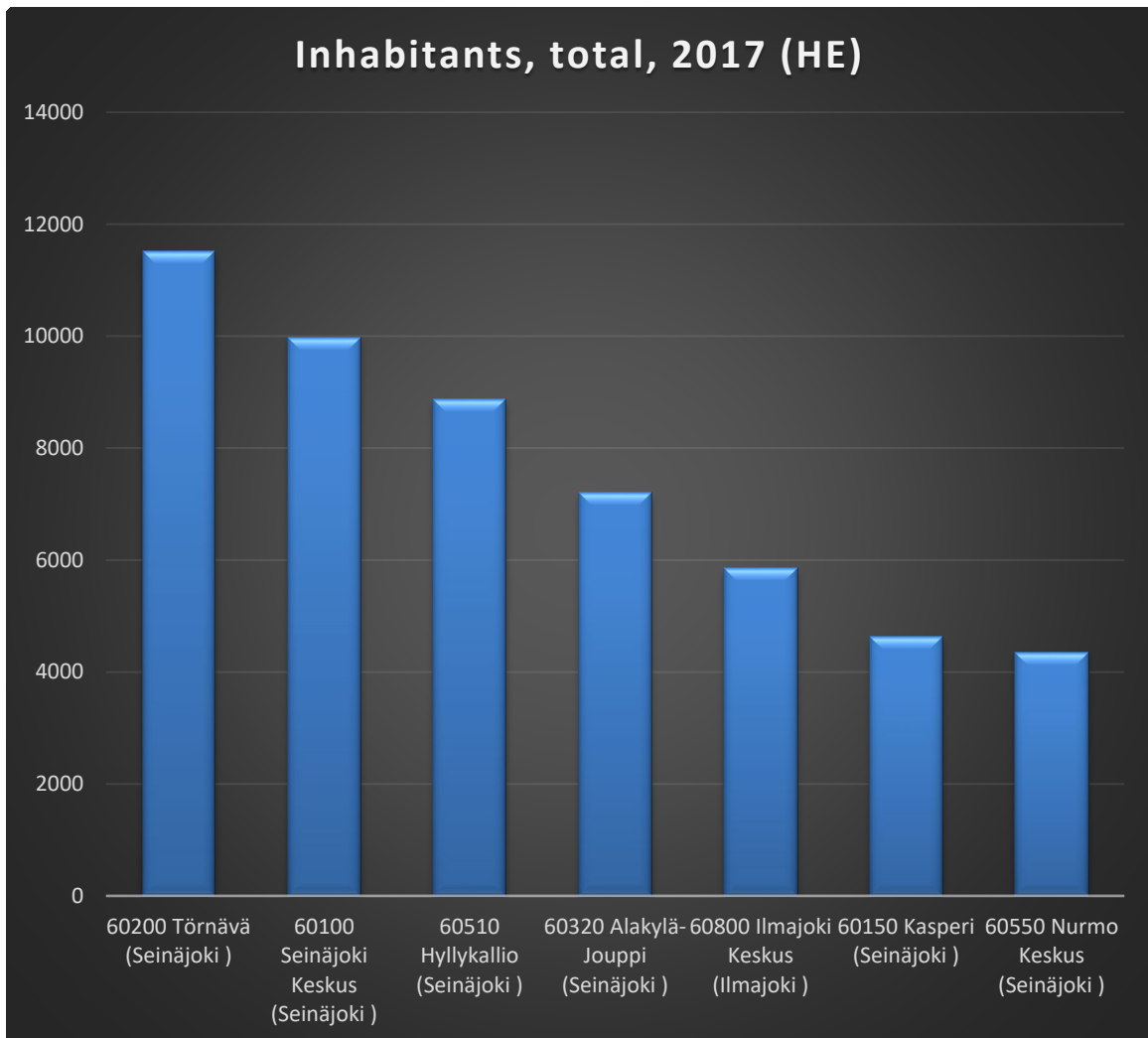
Älykkään vaatekeräyslaatikon reittisuunnittelu

IoT-tekniikan hinta on tullut alaspäin ja tämä on mahdollistanut erilaisten skenaarioiden hyödyntämisen jätkekiertojen hallinnassa. Tutkimuksia aiheesta on tehty laajasti rakentamalla prototyyppiä erilaisiin jakeisiin ja tarpeisiin (Ali ym. 2020; Murugaanandam 2018; Zeb ym. 2019; Shyam ym. 2017; Nirde ym. 2017; Haribabu ym. 2017; Fallavi ym. 2017; Bakhshi & Ahmed 2018).

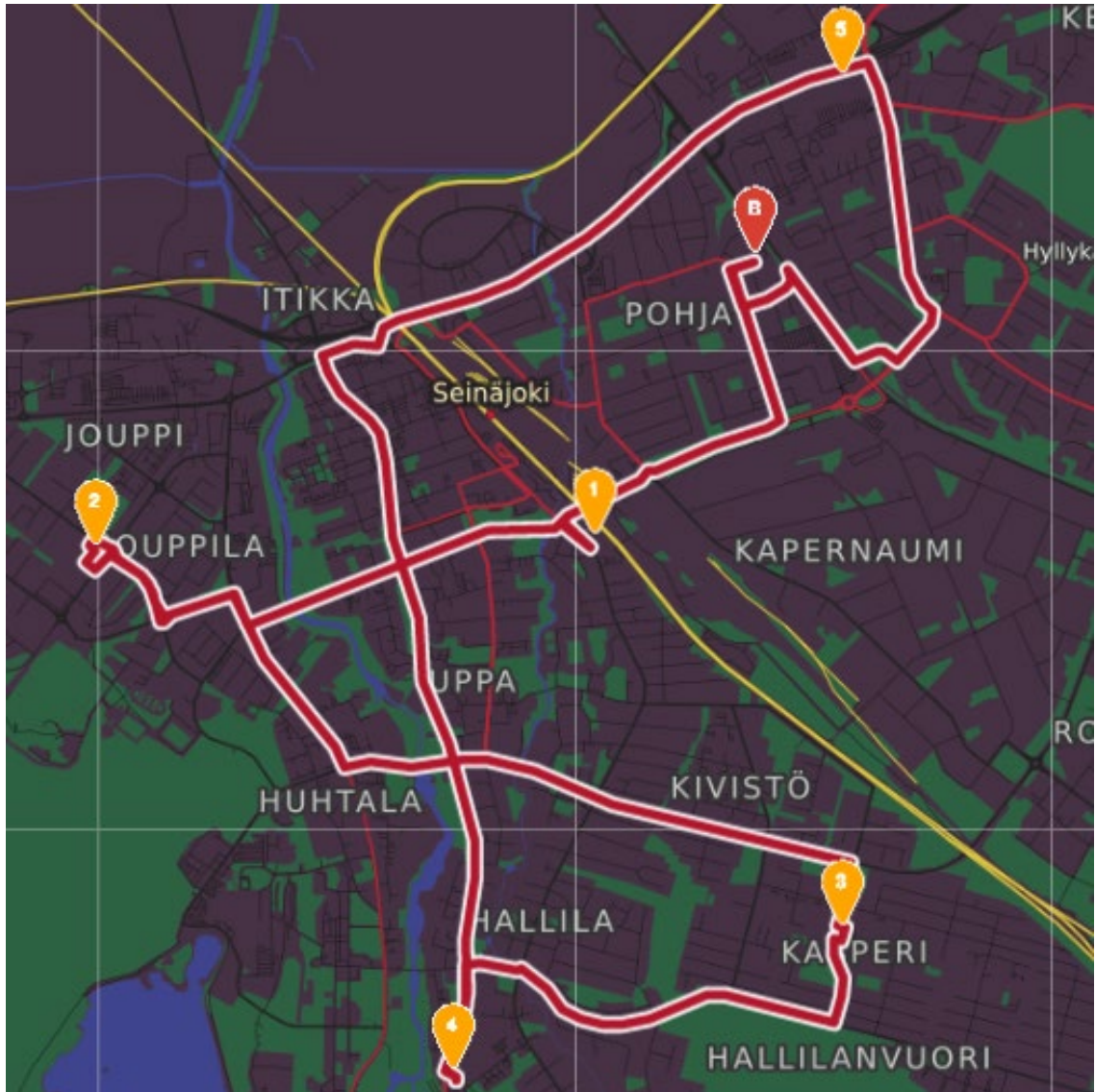
IoT-järjestelmä tuottaa keräyslaatikko-kohtaista tietoa siitä, miten keräysastia täytyy. Täytön kehittymistä voidaan seurata ajan suhteen astiakohtaisesti. Aikasarjadataa voidaan yhdistää kalenteri- ja kellotietoon eri paikoilla ja tämän perusteella voidaan laatia ennuste täyttymisajankohdasta. Aikasarjadatasta voidaan nähdä esimerkiksi viikonpäivävaihtelut, juhlapyhien, lomakausien vaikutukset. Aikaisempien vuosien dataa voidaan käyttää apuna suunniteltaessa ennakkoon reittejä keruuautoille.

Vaatekeräyslaatikoiden sijoituspaikkoja voidaan suunnitella logistiikka-analyysillä, joka perustuu väestömääriin. Kerättävän tekstiilin määrän voidaan olettaa korreloivan voimakkaasti ja lineaarisesti kunkin alueen väestömäärän kanssa. Kuva 16 esittää postinumerotason väestömääriä Seinäjoella. Kuvassa 17 on näiden pohjalta suunniteltu keruualueiden

pisteiden väliset reitit. Perinteisesti reittisuunnittelu tehdään kiinteästi niin, että tiettyinä viikonpäivinä tyhjennysajo tehdään aina samaa reittiä pitkin. Älykäs vaatekeräyslaatikko mahdollistaa sen, että reittisuunnittelu voidaan tehdä joka kerta erikseen. Kun joku keruupiste on täyttymässä, aloittaa ennustettu ajankohta keruun suunnittelun. Reittioptimoinnissa tavoitteena on suorittaa keruutehtävä ja minimoida kuljettu kokonaismatka (kustannukset). Mikäli joku laatikoista täytyy niin hitaasti, että sen tyhjennys voidaan suorittaa seuraavalla kerralla, voidaan reittiä muuttaa niin että yksi keruupiste jätetään kokonaan käymättä läpi.



Kuva 16. Väestömäärät valituilla postinumeroalueilla Seinäjoella.



Kuva 17. Keruupisteet ja niiden välillä olevat mahdolliset reitit.

Reittisuunnittelun toimivuutta voidaan arvioida erilaisilla suorituskykymittareilla. Keskeisiä suunnittelun toimivuutta arvioivia mittareita ovat esimerkiksi: reitin kokonaiskustannus, yhden keruulaatikon noudon kustannus sekä kerätyn vaate-tonnin keruun kustannus. Kustannuksiin liittyvien mittareiden lisäksi voidaan arvioida myös sitä, kuinka paljon alueelta saadaan kerättyä tonneja, tai mikä on tuotteen laatu esimerkiksi jakeina tai hylkyprosenttina mitattuna. Tarvittaessa voidaan vielä tehdä esimerkiksi asiakastytyväissyyskysely.

Esimerkkitapaus 2: Maatalousmuovien keräyslogistiikka

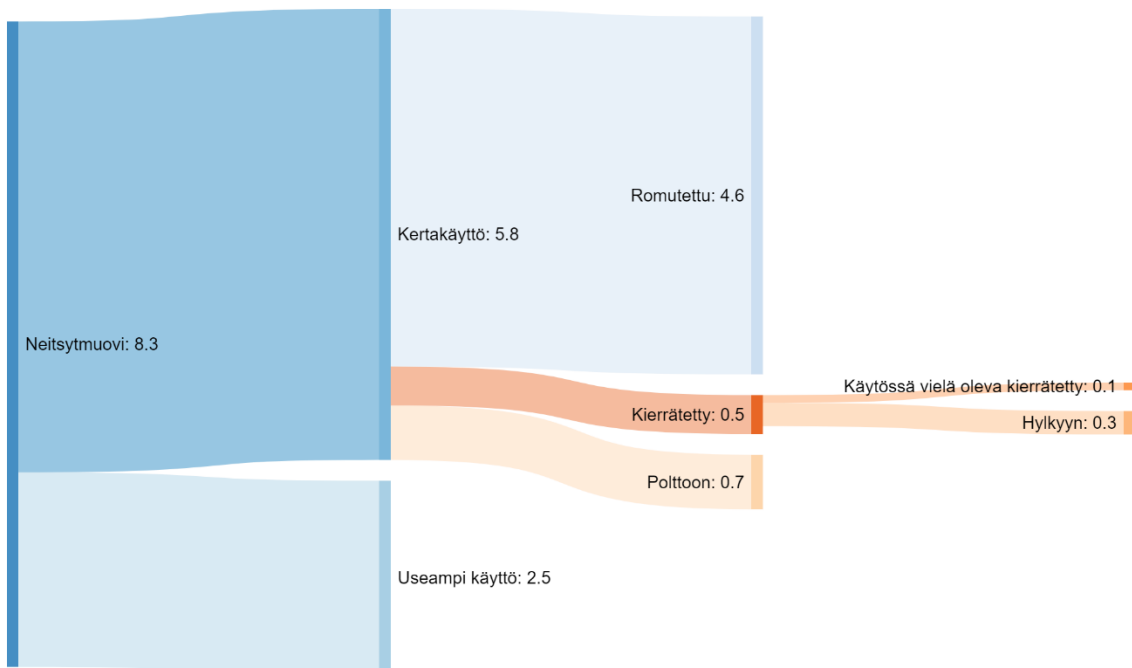
Muovin kierrätys on merkittävä globaali ongelma. Merkittävä osa muovista jää kierrättämättä ja päätyy mahdollisesti luontoon. Edullinen raaka-aineen hinta ja erilaisten muovityyppien suuri määrä vaikeuttavat taloudellisesti kannattavien kierrätysjärjestelmien rakentamista. Keruun kustannus on suuri johtuen lajittelun puutteesta, ja siitä että pieniä määriä erilaisia lajikkeita on hajaantunut maantieteellisesti laajoille alueille ja keruun kustannukset ovat korkeat suhteessa materiaalin arvoon (Gross 2020). Regulaatio on pakottanut yrityksiä käyttämään kierrätettyä muovia osana tuotteiden valmistusta, ja tämä on nostanut kierrätetyn muovin hintaa niin, että vuodesta 2019 eteenpäin kierrätetty muovi on arvokkaampaa kuin neitseellinen materiaali (Kuvat 18 ja 19).

Tässä esimerkkitapauksessa selvitetään erityisesti maatalousmuovin keräyslogistiikkaa. Maatalousmuovilla tarkoitetaan tyypillisesti rehupaalien suojauksessa käytettäviä muoveja. Maatiloilla muovia kertyy talven aikana pikkuhiljaa. Tasalaatuisina ja hyvin säilytettynä ne ovat helposti kierrätettävissä. Keruun kannalta haasteena on maatilojen hajanainen sijainti ja se, että keruuta ei useimmiten ole tehokkaasti organisoitu. Kierrätysraaka-aineena maatalousmuovi on vuositasolla järkevästi kierrätettävissä. Kuljetuskustannukset eivät kuitenkaan saisi nousta kovin korkeiksi, jotta kannattava kierrätysliiketoiminta olisi mahdollista. Hyvin kerätty ja säilytetty maatalousmuovi on rahanarvoista mutta likaisen tai muuhun jätteeseen sekoittuneen maatalousmuovin hävittäminen maksaa.

Maatalousmuovien keräyslogistiikkaa on tutkittu ja ratkaisuksi on esitetty mm. dynaamista mallinnusta ja optimointia (Lagarda-Leyva ym. 2019).



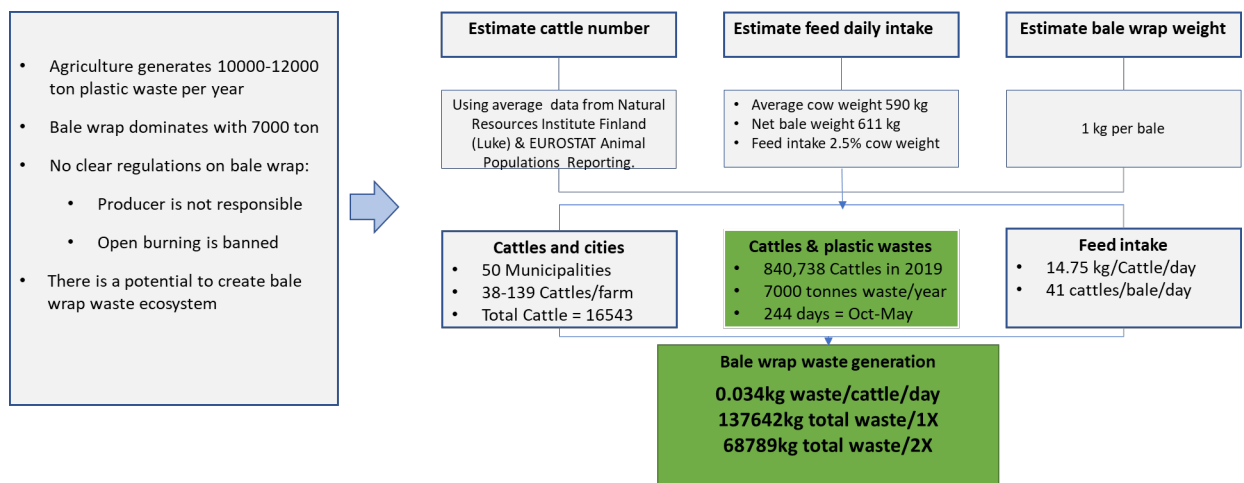
Kuva 18. PET-muovin hintakehitys. (Lähde Gross 2020)



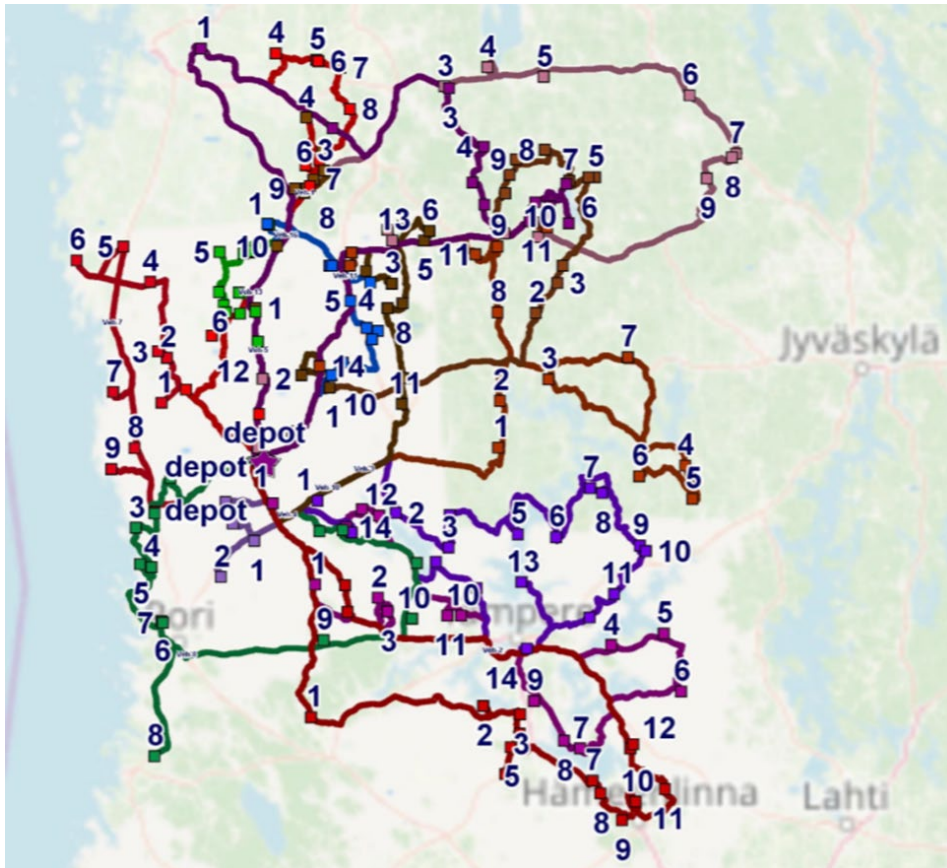
Kuva 19. Sankey-diagrammi muovin kierrosta – suurinta osaa muovista käytetään vain yhden kerran (maailmanlaajuinen tilasto miljari tonnit 1950–2015). (Lähde Gross 2020)

Maatalousmuovien keruu on logistiikkaan liittyvä kustannusongelma. On kyettävä rakentamaan sellainen lajittelu ja keruujärjestely, jossa materiaalin määrää voidaan ennakoita maatalouden vuosikierron mukaan. Näin tonnikohtainen keruukustannus ei kasva liian suureksi. Muoviin pakattua säilörehuahan käytetään etupäässä talvikuukausina, jolloin rehupaalien suojana olevaa maatalousmuovia kertyy paljon ja kesäaikaan vähemmän. Ensimmäisessä vaiheessa kerättävän alueen muovikertymää on arvioitava. Syntyvä muovija-keen määrä voidaan johtaa maatalon koosta, esimerkiksi nautatiloissa nautojen määristä ja siitä, kuinka paljon rehua kuluu. Tämä tilakohtainen tieto siirretään karttapohjalle ja reittioptimoinnin avulla lasketaan erilaisia kuljetusstrategioita – montako reittiä ja montako kertaa keruu on kauden (tuotantovuoden) aikana tehtävä ja mikä on noudetun tonnin kokonaiskustannus, kun noutokilometrit on minimoitu.

Reittioptimoinnin hyödyntämistä jätteiden kuljetuksissa on käytetty jo pitkään, mutta sovellukset ovat perinteisesti pitkälle ajanjaksolle tehtyjä kiinteitä ajosuunnitelmia, joissa määrävaihtelua ei pystytä kovin dynaamisesti huomioimaan. Tutkimuksellisesti aihetta on kehitetty simuloimalla erilaisia skenaarioita tietokoneella (Abdallah et al 2019), soveltamalla VRP-algoritmeja (Hossain et al 2020) ja hyödyntämällä IoT-dataa (Wen ym. 2018).



Kuva 20. Maatalousmuovien käyttö ja tarve suhteessa karjakokoon



Kuva 21. Esimerkki maatalousmuovien keruureiteistä optimoituina reittisuunnittelun avulla.

Esimerkkitapaus 3: Biojätteiden analyysi

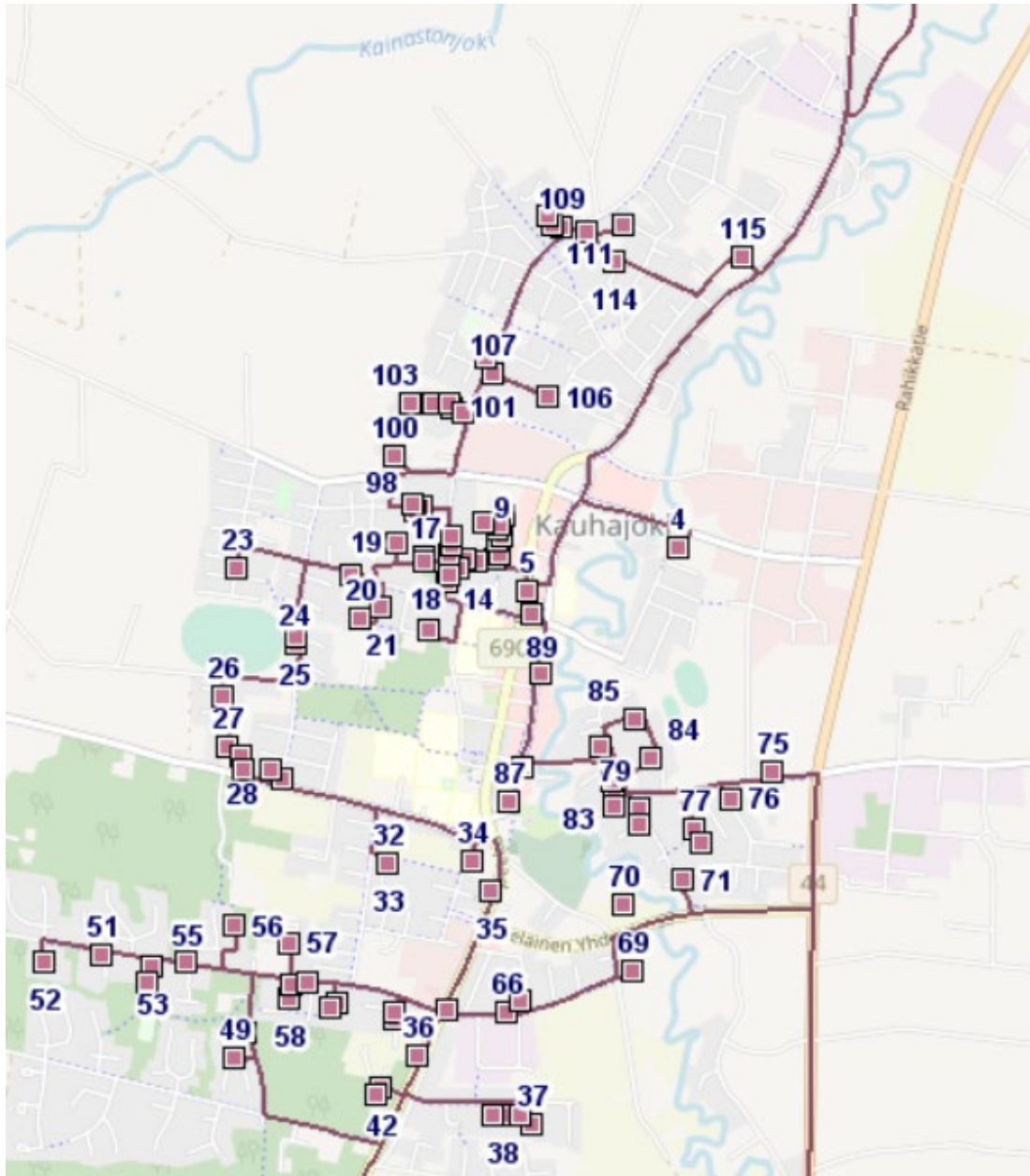
Vuoden 2021 aikana voimaantullut uusi jätelaki velvoittaa bio- ja pakkausjätteiden kuljetuksen kuntien vastuulle. Muutaman vuoden siirtymäaika mahdollistaa järjestelmien kehittämisen, mutta tämän jälkeen erillisjätteet siirtyvät kuntien hoidettavaksi. Jakeiden määrän kasvu mahdollistaa kierrätyksen tehostamisen mutta lisää myös tarvittavan kuljetuksen määrää merkittävästi. Erillisjätteiden kuljetusten odotetaan kasvavan kaupungeissa ja taajama-alueilla.

Uusien jakeiden lisääminen keruujärjestelmiin kasvattaa kustannuksia, mikäli kuljetuksia ei pystytä tehostamaan. Käytännössä tämä edellyttää uudenlaista moniosastoitua kuljetuskalustoa ja kuljetusreittien uudelleensuunnittelua. Tulevaisuudessa voidaan ennakoida jakeiden määrän lisääntyvän entisestään ja aiheuttavan saman tyyppisiä kuljetus- ja kustannushaasteita.

Tässä tutkimuksessa yhdessä Botniasoskinnon (Botniasoskin 2021) kanssa analysoitiin erilaisia mahdollisia skenaariota yhdistelmäkuljetuksille. Analyysi toteutettiin kustannuslaskennalla, jonka perustana oli reittioptimointi yrityksen toimialueella. Reittioptimoinnissa käytettiin avoimen lähdekoodin Open Door Logistics sovellusta. Analyysivaiheet olivat:

- Loop – depo -sijainti. Keruun aloitus ja lopetuspiste, yhdistelmäkuljetus ja vaihto.
- Erilaiset kuljetusrytmit. Erilaisia jakeita syntyy omaa vauhtia ja biojätteissä keruu on suoritettava huomattavasti useammin verrattuna paremmin säilyviin jakeisiin. Erilaiset kuljetusrytmit mahdollistavat kalustojen vertailun.
- Reittioptimointi, ajettujen kilometrien minimointi rajoitteet huomioiden.
- Yhdistäminen muihin kuljetuksiin, keruukuljetus pienemmällä kalustolla ja siirtokuljetus suuremmalla tehokkaammalla kalustolla.

Analyysin tulosten perusteella tehtiin suosituksia keruun järjestämisestä. Yleisinä johtopäätöksinä voidaan todeta, että keskeisiä kustannusparametreja ovat moniosastoitu kuljetuskalusto, keruukustannukset eri kalustotyypillä sekä noutoon kuluva aika. Reittioptimointia voi olla järkevä toteuttaa useasti huomioiden eri jakeiden syntyminen, eikä käytä pitkiä kiinteitä keruureittejä.



Kuva 22. Reittisuunnittelu biojätteiden keräämiseen, skenaario Kauhajokki

Esimerkkitapaus 4: Kierrätysmobiilisovellus kuluttajille

Tiiviimpi kommunikointi sivuvirtojen hyödyntäjien ja tuottajien välillä mahdollistaa kerättyjen jakeiden laadun parantamisen. Monesti materiaalivirrassa on kuitenkin monta eri vaihetta ja ajalliset viiveet voivat olla merkittäviä. Erityisesti kuluttajien käyttäytyminen voi olla keskeistä ohjauksessa. Tähän kommunikointiin kehitettiin Botniasoskin kanssa mobiilisovellus, joka mahdollistaa erilaisten toimintojen käyttöönoton neuvonnassa ja

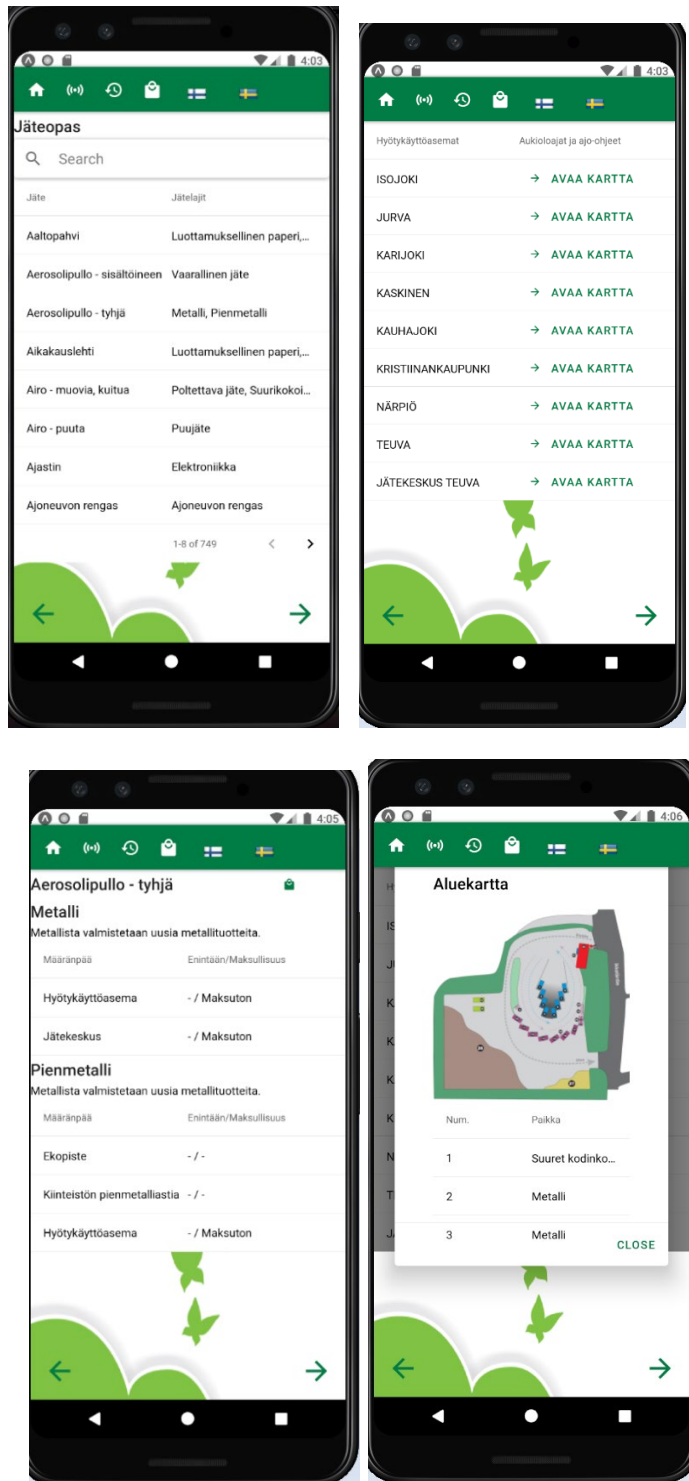
viestinnässä. Kehitetty järjestelmä koostuu palvelimesta, jossa ylläpidetään ajantasainen tieto ja kuluttajien käyttämästä mobiilisovelluksesta. Järjestelmän toimintoja ovat mm.

- Jättesanasto eri kielillä
- Opaste kierrättämiseen kullekin jätetyypille
- Tietoa hyödyntämisestä ja kierrosta
- Kierrätyspisteet kartalla ja aukioloajat
- Vapaamuotoinen kommunikointi

Kehitetyn ohjelmiston toiminnallisuudet on toteutettu niin että puhelinsovelluksen sisältö voidaan päivittää dynaamisesti pilvipalvelun avulla (Kuva 23). Käyttäjä voi hakea jäteha-
kusanojen avulla erilaisia jakeita ja järjestelmä ehdottaa alueellisesti mikä olisi oikea tapa
kierrättää tai hävittää jae. Erilaisia jätteitä voidaan lisätä ”ostoslistaan” ja kun kierrätys-
keskus on valittu, ohjaa järjestelmä aluekartan avulla oikean pudotusjärjestyksen. Kuva
24 näyttää prosessin Botniamoskille toteutetussa instanssissa. Järjestelmä on julkaistu
avoimella lähdekoodilla ja se on mahdollista ottaa käyttöön myös muissa ympäristöissä



Kuva 23. Käyttöliittymäsuunnitteluviedos.



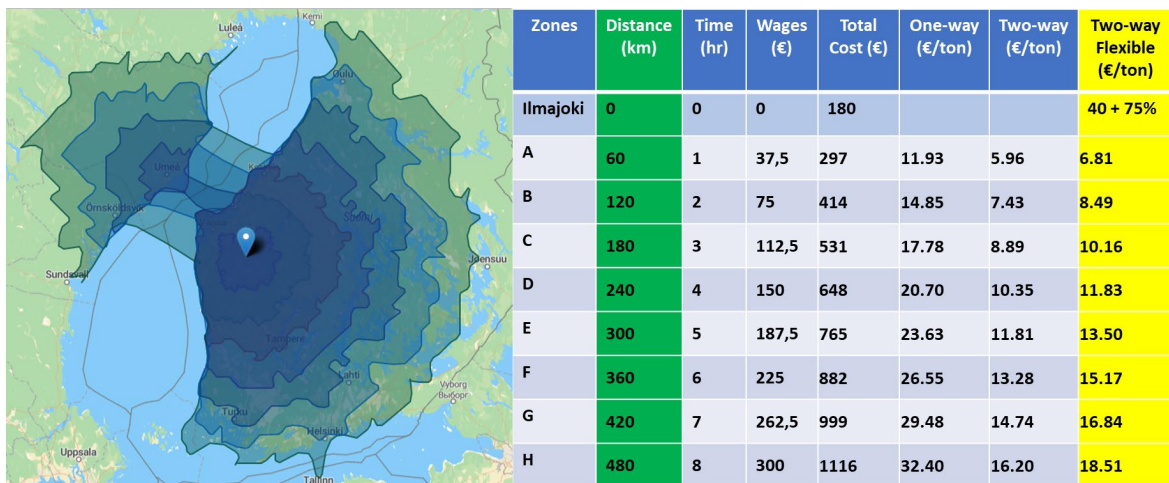
Kuva 24. Käyttöliittymäsuunnitteluviedos liitettynä keräys- ja kierrätysratkaisuun.

Esimerkkitapaus 5: Keruukuljetusten vyöhykkeisyys

Kiertotalouden taloudellisessa tehokkuudessa kuljetuskustannukset ovat usein keskeisessä osassa. Kysymys, joka toistuu kaikissa keruujärjestelmissä on: kuinka suurelta alueelta voidaan taloudellisesti tehokkaasti järjestää keruu tietyllä kalustolla, kun loppukäyttöpiste on tietyssä osoitteessa? Tämä kysymys on tärkeä suunniteltaessa kierrätettävien materiaalien hyödyntämistä teollisessa mittakaavassa. Keruun, kuljetuksen ja varastoinnin kokonaiskustannus ei saisi ylittää raaka-aineen arvoa.

Kuva alla esittää Ilmajoelle sijoittuvaa keruupistettä ja sen ympärille laskettua kustannusvyöhykkeitä [A-H]. Kustannusvyöhykkeet perustuvat karttapohjaiseen matka-aikaan kuorma-autolle yhden tunnin intervaleilla. Kalustolle on annettu kiinteä kustannus sekä muuttuvina kustannuksina palkat ja polttoaineen kulutus. Kullekin vyöhykkeelle voidaan laskea kokonaiskustannus, yksisuuntainen rahti tai menopaluu kuorman kustannus.

Tätä kustannuslaskentasovellusta voidaan hyödyntää esim. kuljetusten analyysissä kerätessä biopolttoaineen komponentteja keruupaikalta käyttöpaikalle tai arvioitaessa sivuvirtojen järkevää keruuta eri vyöhykkeiltä kierrätyslaitokselle. Mahdolliset keruupisteet voidaan sijoittaa vyöhykkeille ja laskea kierrätyksen kustannuksia ja kokonaiskannattavuutta eri vyöhykkeiltä.



Kuva 25. Keruuvyöhykkeet ja keruukustannukset.

Esimerkkitapaus 6: Rakennuselementtien kierrätys

Euroopan Unionin tavoitteena oli päästä rakennus- ja purkumateriaalien 70 % kierrätysasteeseen vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteeseen ei olla päästy, vaan monissa maissa jäädytään n. 50 %:iin. Suomessa ollaan jäljessä tästäkin, sillä tällä hetkellä vain 35 - 40 % rakennus- ja purkumateriaaleista päätyy kierrätykseen. Joissakin EU-maissa rakennus-

materiaalien kierrätys ja uudelleen käyttö on kuitenkin huomattavasti Suomea kehittyneempää. Hyviä esimerkkejä ovat Alankomaat ja Tanska. Kööpenhaminan Ørestadissa on mm. rakennettu kerrostaloja, joissa on käytetty merkittäviä määriä kierrätysmateriaaleja. Käytettyjä ikkunoita, puumateriaalia, betonia ja osia tiiliseinistä on otettu uudelleen käyttöön vanhoista rakennuksista (Lendager Group 2021).

Kolmikerroksisessa kerrostalossa ikkunoista 75 % on käytettyjä. Ne ovat peräisin käytöstä poistuneista rakennuksista. Ikkunoista on koottu seinän kokoisia julkisivuelementtejä. Osa julkisivusta ja rakennuksen lattiat on tehty paikallisen puualan yrityksen sivuvirtamateriaalista. Rakentamisessa on käytetty myös kierrätettyä betonia, jota on saatu mm. Kööpenhaminan metrotyömaalta (Palomäki & Lehtisaari 2018).



Kuva Virpi Palomäki

Kuva 26. Rakenteilla oleva kerrostalo, jossa on käytetty kierrätettyjä ikkunoita.

Samalle asuinalueelle on rakennettu myös tiiliverhoiltu viisikerroksinen kerrostalo, jossa on uudelleenkäytetty käytöstä poistuneiden tiilirakennusten seinä. Seinäelementit on tehty leikkaamalla vanhoista tiilirakennuksista palasia ja asettelemalla ne teräs-

kehikkoihin, joita käytetään uuden rakennuksen seinäelementteinä. Elementit on koottu eri kokoisista ja värisistä palasista, mistä johtuen ne ovat poikkeuksellisen näköisiä. Tiili-osat oli leikattu Carlsbergin historiallisesta panimosta sekä vanhoista kouluista ja teollisuusrakennuksista. Talossa on käytetty myös vanhasta metroasemasta purettua puumateriaalia. Puujäte on käsitelty kauniiksi ja kestäväksi uudistuotannon rakennusmateriaaliksi. Kierrätettyä puuta käytetään ulkoverhoilussa ja sisätiloissa (Palomäki & Lehtisaari 2018).



Kuva: Virpi Palomäki.

Kuva 27. Vanhoista tiilirakennuksista leikattuja palasia, joista on tehty uusia tiilielementtejä

Suomessakin puretaan jatkuvasti käytöstä poistettuja koulu- ja toimistorakennuksia. Suomessa purettu kiviaines käytetään lähinnä maanrakennuksessa, ja puumateriaali menee poltettavaksi. Suomen lainsäädäntö edellyttää suurissa yli 5 tn purkukohteissa purkulupaa, jossa pitää ilmoittaa materiaalin jatkokäsittelystä. *”Lupahakemuksessa tulee selvittää purkamistyön järjestäminen ja edellytykset huolehtia syntyvän rakennusjätteen käsittelystä sekä käyttökelpoisten rakennusosien hyväksi käyttämisestä.”* (Ympäristöministeriö 1999). Lainsäädäntö on parhaillaan uudistumassa ja uusi rakennuslainsäädännön pitäisi tulla voimaan vielä vuonna 2021.

Suomen lainsäädäntö estää ja hidastaa tällä hetkellä purettujen rakennusosien uudelleenkäyttöä uusissa rakennuksissa. Rakennusmateriaaleilta vaaditaan CE-merkintää, jonka vaatimuksia käytetyt materiaalit eivät täytä tai merkinnän hakeminen on aikaa vievä ja kallis prosessi, johon ei kannata ryhtyä pienien materiaalmäärien vuoksi (CE-merkintä

2021). Siten lainsäädäntö osaltaan estää kierrätystä ja toisaalta kannustaa siihen. Kuitenkin 70 % kierrätysasteeseen pääseminen vaatii tehokkaampaa kierrätystä kuin mihin Suomessa tällä hetkellä päästään (Euroopan komissio 2018).

Lainsäädännön uudistaminen tuo kierrätykseen uutta ohjeistusta ja keinoja, jolla pyritään lisäämään käytettyjen rakennusten rakenneosien hyödyntämistä. Uuteen lakiin ehdotettuja uusia elementtejä ovat mm. sähköisen rakennusjäteilmoituksen ottaminen osaksi jätetietojärjestelmää, siirtoasiakirjojen digitalisointi, jolloin tieto materiaaleista saadaan eteenpäin sekä vapaaehtoinen ammattilaisen tekemä purkukartoitus ennen purkutyötä (Ympäristöministeriö 2021).

Sähköisten järjestelmien käyttöönotto helpottaa ja mahdollistaa purkumateriaalien uudelleen käyttöä aivan uudella tavalla. Tieto materiaaleista saadaan jaettua laajasti. Aktiivista verkkokauppatoimintaa on tällä hetkellä mm. käytetyille toimistokalusteille Kiertonet-verkkokaupassa (Kiertonet 2021). Kunnat käyttävät tätä palvelua Etelä-Pohjanmaalla systemaattisesti CESME-hankeessa tehdyn kyselytutkimuksen mukaan. Kiertonet välittää nykyään myös rakennusmateriaaleja mm. ovia ja ikkunoita. Myös rakennustyömaiden ylijäämätavaroille on olemassa verkkokauppatoimintaa ja mm. Netlet Oy hakee rakennustyömailta ylijäämämateriaaleja ja myy niitä sähköisen Rakennusoutletin kautta (Netlet 2021).

Rakennusten purkumateriaalien laajamittainen hyödyntäminen vaatii kuitenkin vielä parempia purkumateriaalien tuottajien ja hyödyntäjien kohtaamispaikkoja. Tässä digitalisaation ja erilaisten kauppapaikkojen kehittämällä on keskeinen rooli.

Esimerkkitapaus 7: Mikrokiertojen syntypaikkalajittelu

Syntypaikkalajittelu on keskeinen keino tehostaa erilaisten kierrätettävien materiaalien hyödyntämistä. Kun mikrokiertojen syntypaikkalajittelun tekee jatkossakin jokainen kansalainen kotonaan itse, lajittelun ja lajiteltujen jakeiden välisäilyttämisen kotona pitäisi olla mahdollisimman yksinkertaista ja toimivaa. Myös kierrätyspisteiden keräysastioiden pitäisi olla jollakin tavalla luontaisten kulkureittien varrella.

Eryisesti pienten pakkausmateriaalivirtojen hallinta kotioloissa on tunnetusti hankalaa. Kuva 28 alla on innokkaan kierrättäjän keittiötä. Kierrätettävää kertyy nopeasti, etenkin pahvipakkauksia ja erilaisia muovisia pakkauksia kertyy jo muutamassa päivässä niin paljon, etteivät ne mahdu roskakaapin lajitteluastioihin. Järjestyksestä pitävälle omakoti-asujille roskakaapin roska-astia on vielä liian helppo ratkaisu välttää kaaosta keittiössä. Roska-astian helppokäyttöisyys ei houkuttele kierrättämään ja kierrätettävissä olevat ”roskat” saa heti pois silmistään.



Kuva: Matti Mäki.

Kuva 28. Kierrätysarkea kotona.

Kotitalouden pakkausjätteiden kierrättämiseen on jo kehitelty monenlaisia keittiöön ros-kakaapin ulkopuolelle sijoitettavia laatikkoratkaisuja (Lajittelulaatikosto 2021), jotka helpottavat virtojen hallintaa ja eri jakeiden lajittelua. Kerrostaloasujat voivat jo nyt viedä erilaiset pakkausmateriaalit taloyhtiöiden keräysastioihin käyttäen näitä vielä suhteellisen pieniä lajitteluastioita. Tila- ja järjestysongelma koskee siis erityisesti omakotitalojen asukkaita. Omakotiasukkaalla matka kierrätyspisteeseen on pidempi ja hyvin harva viitsii tuon matkan tehdä useita kertoja viikossa. Vaasassa on edetty askel kohti kierrätettävien materiaalien noutokeräystä. Alueellinen jäteyhtiö Stormossen on järjestänyt kierrätettävien materiaalien noutokeräyksen kiertävällä, eri pisteissä eri viikonpäivinä olevalla, merkintä kokoisella Mikromossen pop-up hyötykäyttöasemalla. Konttiin voi tuoda kerralla sen verran, kun pystyy paikalle kantamaan (Mikromossen 2021).

Yksi ratkaisu on siirtää lajittelu keittiöstä autotalliin (kuva 29). Tässä ei kuitenkaan ole ongelman ydin. Uudet keräysastiat tai autotallilajittelu eivät ratkaise ongelmaa. Pakkausjäte on niin tilaa vievää, että se pitäisi kyetä jotenkin kierrättämään nopeammin tai puristamaan syntypaikalla vielä pienempään tilaan, jolloin lajitteluastioiden tyhjentämisestä tulisi harvaremmempää. Myös erilaisten muovilaatujen tunnistaminen on tavalliselle kansalaiselle erittäin vaikeaa, jopa ylivoimaista tällä hetkellä. Kierrättäjä laittaakin usein kaikki pakkausmuovit eteenpäin luottaen, että niiden tarkempi lajittelu tapahtuu muovin

jatkokäsittelyn yhteydessä. Muovin mikrokiertojen hallinta liittyykin vahvasti seuraavaan esimerkkitapaukseen 8 eli erilaisten muovilaatujen tunnistamisen mahdollisuuksiin.



Kuvat: Arto Räikkönen.

Kuva 29. Lajitteluratkaisu autotallissa.








Esimerkkitapaus 8: Syntymäpaikkalajittelu ja muovilaadut

Myös erilaisten muovien kohdalla syntymäpaikkalajittelu on monesti ratkaiseva kustannustekijä kierrätettävien virtojen tehokkaassa järjestämisessä. Erilaisten toimivien ratkaisujen tekeminen syntymäpaikkalajittelun ohjaamiseen ja lajittelun laadun parantamiseen ovat keskeisiä asioita, jotta muovilaadut kiertäisivät nykyistä paremmin. Jakeiden määrä kasvaa syntymäpaikalla ja toisinaan oikean lajittelutyyppin tunnistaminen ei ole helppoa. Lajitteluratkaisun tulisi tarjota riittävä määrä jakeita ja opastaa käyttäjää päätöstä tehtäessä. Erilaiset muovilaadut pitäisi pystyä tunnistamaan nykyistä helpommin jo syntymäpaikalla esimerkiksi kotona.

Erityisen haastavia jakeita ovat muovituotteet. Yleisimpiä muovityyppejä ovat: PE, PVC, PP, PS, PTFE, PC, PU ja PET-muovit. Kierrätyksen tehokkuuden kannalta olisi tärkeää tunnistaa oikeat tyypit. Ongelmana on, että monissa pakkauksissa käytetään useita muovityyppejä sekoitettuna, jotta eri muovien ominaisuudet saadaan hyödynnettyä maksimaalisesti: lämpötilojen kesto, lämmöneristys, hygienia, kaasutiiveys, ultraviolettilon kesto, väriytys jne.

Muovipakkaukset voi laittaa muovipakkaukeräykseen, paitsi PVC:n

Tavallisimpien pakkausmuovimateriaalien merkintä, ominaisuudet, käyttö- ja hyötykäyttöesimerkkejä

MATERIAALI-MERKINTÄ	NIMI	YLEISET OMINAISUUDET	ESIMERKKEJÄ KÄYTTÖKOhteista JA LAJITTELUSTA
	Polyeteeni-tereftalaatti	Kirkas, kova, kemikaaleja kestävä	Virvoitusjuoma- ym. pullo. Pantilliset pulloet kauppojen automaateihin. Muut muovipakkaukeräykseen.
	Polyeteeni high-density	Samea tai värillinen, joustava, vahamainen pinta	Mehupullot, virvoitusjuomakortit. Muovipakkaukeräykseen.
	Polyvinyylikloridi	Erittäin monimuotoinen ja -piirteinen	Harvoin pakkausmateriaalia. Ei muovipakkaukeräykseen
	Polyeteeni low-density	Pehmeä, joustava, vahamainen pinta	Muovikassit, pussit, kalvot. Muovipakkaukeräykseen
	Polypropeeni	Jäykkä, sitkeä, hyvin monikäyttöinen	Narut, rasiat, kalvot, pehmusteet. Muovipakkaukeräykseen
	Polystyreeni	Lasin kirkas tai värjätty, hauras, vaahdotettu (EPS)	Rasiat, purkit, pehmusteet. Muovipakkaukeräykseen
	Muut	Kaikkien ylläolevien yhdistelmät	Rasiat, kannet, pussit. Muovipakkaukeräykseen

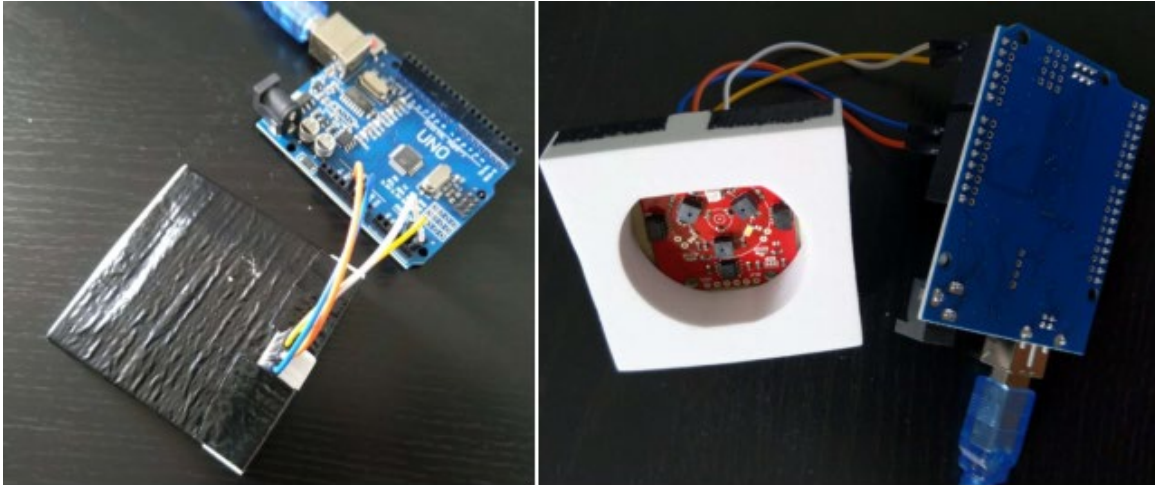
Kuva 30. Muovityypit.

Lähi-infrapunavalon avulla voidaan tunnistaa erilaisia aineita ja tietyillä aallonpituuksilla keskeisiä muovityyppejä voidaan erottaa toisistaan. Kehitettyssä esimerkkitapauksessa rakennettiin tunnistuslaite edullisista komponenteista ja testattiin yksinkertaisen järjestelmän kykyä auttaa eroteltaessa eri muovilaatuja toisistaan.

Lähi-infrapunaspektroskopia (NIR) on luultavasti eniten käytetty teknologia muovin kiertäyksessä. (Beigbeder ym., 2013) Sitä käytetään, koska sillä on mahdollista erottaa monia erilaisia polymeerejä hyödyntämällä niiden erilaisia heijastusspektrejä. Muovien lisäksi voidaan tunnistaa myös muita materiaaleja kuten paperi, puu, lasi, kivi, jne. NIR-tunnistamisessa käytetään hyväksi sähkömagneettisen spektrin lähi-infrapuna-aluetta, jossa valon aallonpituus on n. 700–2 500 nm.

Data on jokaisen data-analyysin perusta. Siksi tiedonkeruu NIR-anturilla pyrittiin automatisoimaan. Kehitetty järjestelmä koostuu kahdesta osasta: 1) Arduino UNO -kehitysalustasta, johon on yhdistetty NIR-sensori ja 2) Windows-tietokoneesta, jossa ajetaan Python-sovellusta datan hallinnoimiseksi ja analysoimiseksi.

NIR-anturi on kiinnitetty vaahtomuovilohkon päälle, jolla varmistetaan, että mittausetäisyys on aina sama sekä estetään häiritsevän säteilyn pääsy NIR-anturille.



Kuva 31. NIR-sensori ja Arduino Uno kehitysalusta

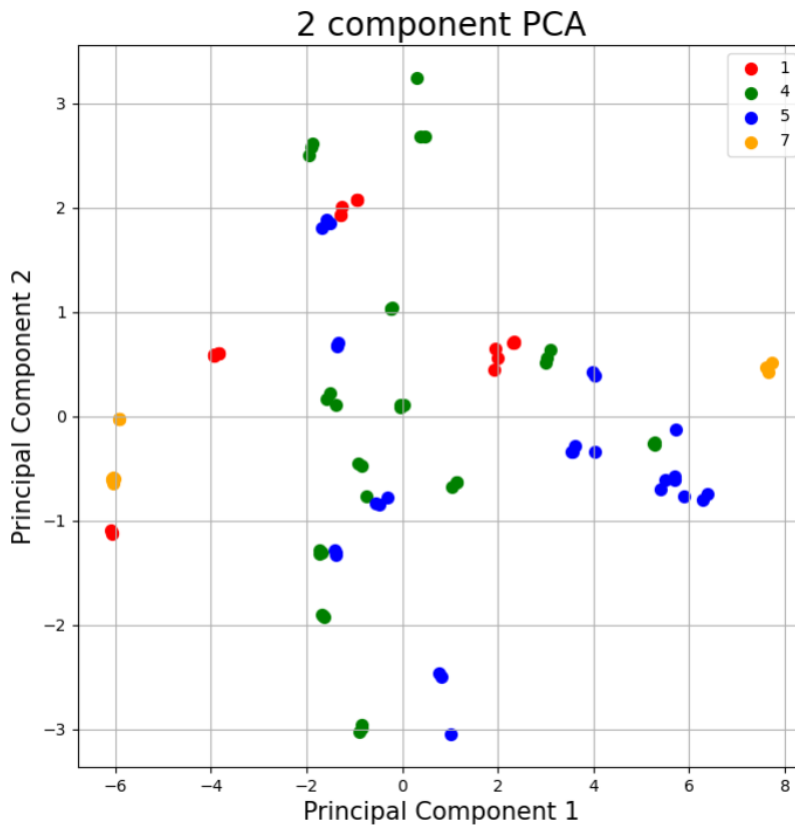
Tutkimuksissa käytetty SparkFun AS7265x NIR-sensori mittaa säteilyn heijastumista kahdeksalla eri aallonpituudella, jotka sijoittuvat välille 410nm (UV) - 940nm (IR).

Sensoriin kytketty Arduino UNO-kehitysalusta välittää kaikki 18 mitattua anturiarvoa sarjaportin kautta sekunnin välein Python-sovelluksen vastaanotettavaksi.

Python -sovellus koostuu kolmesta pääosasta: 1) sarjaportin datan lukemisesta, 2) datan tallentamisesta CSV-tiedostoon ja 3) data-analyysisovelluksesta.

Sovellus lukee sarjaportilta Arduinon lähettämää sensoridataa, kunnes painetaan ctrl-c-näppäintä. Ctrl-c-näppäimen painaminen keskeyttää datan lukemisen sarjaportilta ja sovellus kysyy, että haluaako käyttäjä suorittaa data-analyysin löytääkseen dataa vastaavan materiaalin. Data-analyysin lisäksi käyttäjä voi myös halutessaan lisätä mittausarvot CSV-tiedostoon ja määrittellä sitä vastaavan materiaalin. Tällä tavoin eri näytteistä koostuvan datan kasvattaminen ja uusien materiaalien lisääminen järjestelmässä on helppoa ja nopeaa.

Data-analyysissä lähdettiin liikkeelle pääkomponenttianalyysistä, jonka tavoitteena on löytää monidimensioisesta datasta ne komponentit, joiden avulla sen keskeisimmät piirteet voidaan esittää ilman, että merkittävää informaatiota menee hukkaan. Pääkomponenttianalyysin tulokset näkyvät tulostettuna kuvassa 32. Kuvasta voidaan päätellä, että selkeitä klustereita ei ole havaittavissa. Klusteroituminen olisi selkeä visuaalinen viite siitä, että datasta voidaan erottaa eri muovityyppejä.



Kuva 32. Pääkomponenttianalyysi.

Seuraavaksi muovityyppien tunnistamiseksi kokeiltiin vielä muutamia erilaisia data-analyysimenetelmiä kuten k-NN algoritmia, ja ohjattua Tensorflow-koneoppimisalgoritmia. Näidenkin analyysien tulokset olivat heikkoja ja eri muovityyppien tunnistaminen kerätystä datasta jäi saavuttamatta. Syynä tähän voidaan pitää edullisen NIR-sensorin tarkkuutta, jolloin kerätty data ei sisällä tarpeeksi informaatiota muovien tunnistamiseksi. Toisaalta asiasta ei ole täyttä varmuutta ja data-analyysissä olisi mahdollista mennä syvemmällekin tuloksien saamiseksi, mutta tätä ei koettu tarpeelliseksi käytettävissä olevien rajallisten resurssien johdosta.

Aiemmin tehdyt alustavat testit kuitenkin antoivat tuloksia, joiden mukaan testeissä käytetyllä NIR-sensorilla on mahdollista erottaa eri materiaaleja kuten teräs, paperi ja muovi toisistaan.

5 POHDINTAA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Pienet kierrätettävät materiaalivirrat ovat haasteellisia kaikissa ympäristöissä, ei pelkästään haja-asutusalueilla. Vaikka osittain keinot ja mahdollisuudet ovat rajallisempia, tämä ei välttämättä estä kierrätysasteen nostamista ja uusien hyödyntämistapojen kehittämistä.

Tämä raportti on esitellyt tyyppitapauksia erilaisista kierrätettävissä olevista jakeista ja mahdollisuuksista kiertotalouden tehostamiseen digitalisaation avulla. Yhteisenä piirteenä kaikille esitellyille tyyppitapauksille on tiedon välittäminen eri osapuolien välillä ja tiedolla johtamisen hyödyntäminen prosesseissa. Kierrättämisen lisäämistä mahdollistavia asioita ovat mm.

- (1) Syntypaikkalajittelu – Tietoisuus ja ymmärrys kierrätyksen vaikutuksista, osapuolten motivointi syntypaikkalajitteluun.
- (2) Tilannetieto – Nopea kierto syntypaikalla on mahdollista hyvällä ohjauksella. Paikat pysyvät siistinä, kun järjestelmä toimii ja käyttäjät näkevät tulokset.
- (3) Kustannustehokkuus - Kustannustehokkuus keruussa ja kuljetuksissa vähentää keruun kustannuksia ja motivoi toimijoita. Syntypaikkalajittelu vaikuttaa keruun tehokkuuteen. Uudet liiketoimintavetoiset jakelukanavat mahdollistavat kierrätyksen taloudellisen kannattavuuden. Kuljetusten kustannuksia voidaan leikata kalustovalinnoilla, yhdistelmäkuljetuksilla ja reittioptimoinnilla.

Vastaavasti myös selkeitä kierrättämisen lisäämistä ehkäiseviä ongelmakohtia nousi esiin. Suurin osa niistä liittyy erilaisten materiaalien tunnistamisen ja toisistaan erottamisen vaikeuteen, tuotteiden suunnitteluun, kierrätysmateriaalin kalleuteen suhteessa neitseellisiin materiaaleihin sekä toimivien markkinapaikkojen puutteeseen. Näistä osaan on löydettävissä keinoja myös digitalisaation avulla, ja osa taas on sellaisia, että niiden ratkaiseminen edellyttää yhteiskunnan tekemiä ratkaisuja, joilla säädellään erilaisten materiaalien käyttöä. Tällaisia ongelmakohtia ovat mm.

- (4) Syntypaikkalajittelu – erilaisten materiaalien syntypaikkalajittelu on tällä hetkellä hankalaa ja haasteellista erilaisten materiaalien runsauden ja erilaisten sekoite- ja kerrostemateriaalien käytön takia.
- (5) Suunnittelu – Tuotteiden suunnittelu on keskeisessä asemassa kierrätettävyyden kannalta. Tuotteet pitää suunnitella jo ennen valmistusta siten, että kierrättäminen on mahdollisimman helppoa. Esimerkiksi puutuote- ja rakennusalaalla rakenteiden ja materiaalien purku ja uudelleenkäytön mahdollisuudet pitää huomioida jo arkkitehtisuunnitteluvaiheessa. Tekstiili- ja muovialoilla materiaalien valinta

vaikuttaa kierrätysmahdollisuuksiin. Tällä hetkellä ollaan vasta heräämässä suunnittelun tärkeyteen, ja se ei ole vielä keskeinen valintoihin vaikuttava kriteeri.

- (6) Hinta ja laatu - Kierrätysmateriaalista valmistettujen tuotteiden hinta ja laatu vaikuttavat materiaalien käytön laajenemiseen. Materiaalien pitäisi olla tasalaatuisia ja hinnaltaan vertailukelpoisia, jotta materiaalia olisi kannattavaa käyttää tuotteissa. Näin ei kuitenkaan aina ole. Kierrätysraaka-aineiden hinta ja kierrätystoiminnan helppous aktivoivat toimijoita.
- (7) Markkinapaikat- Erityisesti yrityshaastattelujen yhteydessä tuotiin usein esiin kierrätettäviksi soveltuvien materiaalien markkinapaikkojen kehittymättömyys. Vaikka tällaisia markkinapaikkoja onkin jo syntynyt, ne eivät vielä tänään riittävästi tavoita potentiaalisia hyödyntäjiään. Kaikki yrittäjät kuitenkin näkivät tulevaisuuden, joissa tällaisten markkinapaikkojen merkitys tulee kasvamaan.

Jo Kiertodigi-hanketta suunniteltaessa puhuttiin monesti pieniä kiertoja kotitalouksilta ovelta-ovelte kannattavasti keräävästä pienellä pakettiautolla ja perävaunulla liikkuvasta ”Hiace-miehestä”. Hän noutaisi pienet lajitellut materiaalierät kotiovelta tai lähikadulta ja maksaisi niistä jotain esim. painon mukaan tai antaisi jonkinlaisen panttimaksuosoituksen, jonka voisi vaikka lähikaupassa lunastaa. Tämä keskustelu ”Hiace-miehestä” toistui usein projektipalavereissa toimintaa suunniteltaessa.

Erilaisia panttijärjestelmiä on jatkuvasti käytössä. Pullopantti on varmasti kaikkein tunnetuin ja toimivin systeemi. Myös muovin panttijärjestelmää – muovisampo – on viime vuonna Etelä-Pohjanmaalla kokeiltu erillisessä hankkeessa ja kokeilua jatketaan yhä (Muovisampo 2021).

Noutojärjestelyt sopivat yksittäisten kierrätettävien tavaroiden tai esineiden keräilyyn. Voisihan joku ryhtyä keräämään myös kierrätettäviä pulloja siten, että noutaisi kierrätyspullot kotiovelta ja maksaisi niiden pantista osan luovuttajalle, kuljettaisi ne kiertoon ja ottaisi samalla itselleen loppuosan pantista. Tällaisessa toiminnassa auttavan digitaalisen kuluttajakäyttöliittymän luonnista oli jo hahmotelmia esimerkkitapauksen 4 yhteydessä erilaisten appien muodossa.

Kierrätysasteen parantamisen kysymyksissä liikutaan usein yleisen kustannustehokkuuden ja yksilön kierrättämisen helppoutta koskevissa kysymyksissä. Jotta materiaalien kierrättäminen olisi ylipäätään mahdollista on erotettava yksittäisen ihmisen halu ja liiketoimintapohjalta toimivien yritysten mahdollisuudet kierrättää erilaisia materiaaleja. Tässä raportissa haettiin erityisesti ratkaisuja siihen, kuinka kierrättäminen voisi mahdollistaa pienten kiertojen paremmalla järjestämisellä lisää yrittäjyyttä ja synnyttäisi uusia ratkaisuja, jotka parantaisivat nykyisiä pienten kiertojen toteutusmalleja. Yksi mielenkiintoinen kysymys on, miten kotinoudot muidenkin kierrätettävissä olevien materiaalien

osalta saataisiin vaikkapa ”Hiace-miehelle” kannattavaksi niin, että hän maksaisi pieniä summia eri jakeista ja se olisi myös hänelle kannattavaa. Tällaisen palvelun luonti koskisi erityisesti harvaan asuttuja alueita, jotka ovat pientalovaltaisia.

Tarkasteltaessa kotitalouksien mikrokiertojen sijaan jo nyt yritystoimintana näyttäytyvien kiertojen tehostamisen ja lisäämisen mahdollisuuksia uusien toimintamallisen luominen on paljolti kiinni yksittäisten toimijoiden innovointikyvystä ja halusta. Tätä halukkuutta voidaan kasvattaa erityisesti yhteiskunnan luoman regulaation avulla. Ympäristöministeriö onkin juuri uudistamassa pelisääntöjä, jotka koskevat erilaisten rakennusmateriaalien kiertoa. Myös tekstiilien kiertoon on tulossa uusia määräyksiä ja uusi suuren mittakaavan kierrätysjalostamo on valmistumassa.

Tämä kehittämishanke paljastikin, että kierrätysasteen nostaminen edellyttää monen eri osatekijän huomioimista samanaikaisesti. Kierrättämistarve tai suoranaisten kierrättämispakko on yhteiskunnan kehittyessään itselleen luoma tyypillinen tämän ajan kompleksinen ongelma, jossa on monia erilaisia ulottuvuuksia. Niiden ratkaiseminen ei onnistu yhdellä keinolla, vaan tarvitaan useiden erilaisten toimien yhdistämistä joko samanaikaisesti tai peräkkäin. Silti voi olla niin, että jonkun kierrätykseen liittyvän ongelman purku aiheuttaa jopa entistä suuremman ongelman toisaalle. Tästä huolimatta digitalisaation lisääntyessä on oletettavaa, että monia näistä syntyvistä ongelmista kyetään ratkaisemaan ja erilaiset materiaalit saadaan yhteiskunnassa kiertämään paljon nykyistä paremmin.

Summa summarum, kierrätys on usein myös nollasummapeliä, toisen roska on toisen aarre. Onkin niin, että kierrättämisen tarjoamat liiketoimintamahdollisuudet nousevat usein yllättävistä paikoista ja vaativat joskus myös viitseliäisyyttä luojiltaan. Hyvä esimerkki tästä on, että lähinnä kuntien erilaisilla toimintamalleilla toimivat työ- ja kierrätyskeskukset ja erilaiset hyväntekeväisyys- tai aatteelliset järjestöt ovat jo vuosia ottaneet hoidettavakseen erilaisia kierrättämiseen liittyviä tehtäviä. Näin kierrättämisen käytäntöjen ja toimintamallien markkinoitumista on tapahtunut usein ”kolmannen sektorin” toimesta. Oletettavaa on, että monet liiketoimintamahdollisuuden kiertotaloudessa ovat vasta syntymässä tai hahmollaan odottaen niitä, jotka syystä tai toisesta löytävät pieniin kiertoihin liittyvät työllistymisen paikat tai luovat kierrättämisestä uutta liiketoimintaa.

Lähteet

Abdallah, M., Adghim, M., Maraqa, M., & Aldahab, E. (2019). Simulation and optimization of dynamic waste collection routes. *Waste Management & Research*, 37(8), 793-802.

Accenture (2014). Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth. Saatavissa: https://www.accenture.com/t20150523T053139__w__/us-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_6/Accenture-Circular-Advantage-Innovative-Business-Models-Technologies-Value-Growth.pdf

Achterberg, E., Hinfelaar, J & Bocken, N. (2016). Master Circular Business with the value hill. Saatavissa: <http://www.circle-economy.com/financing-circular-business>

Ali, T., Irfan, M., Alwadie, A. S., & Glowacz, A. (2020). IoT-based smart waste bin monitoring and municipal solid waste management system for smart cities. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 10185-10198.

Bakhshi, T., & Ahmed, M. (2018, October). Iot-enabled smart city waste management using machine learning analytics. In 2018 2nd International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE) (pp. 66-71). IEEE.

Beigbeder, J. et al. (2013) 'Study of the physico-chemical properties of recycled polymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE) sorted by high resolution near infrared devices', *Resources, Conservation and Recycling*, 78, pp. 105–114. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2013.07.006.

Bocken, N. M., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of cleaner production*, 65, 42-56.

Botnjarosk (2021). Kahdeksan kunnan yhteinen jätelaitos, <https://botnjarosk.fi/fi/>

Cederlöf, N. (2016). Tulevaisuuden koulu: siirrettävä moduulikoulu uuden oppimisympäristön pilottina. Aalto-yliopisto. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos. Diplomityö.

CE-merkintä (2021). Lisätietoja CE-merkinnästä: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>

Dahlbo, H., Aalto, K., Eskelinen, H., & Salmenperä, H. (2017). Increasing textile circulation—consequences and requirements. *Sustainable production and consumption*, 9, 44-57.

Ekokumppanit (2021). Muoviopas: Plastoposeeni muovinen maailma. Saatavissa 19.8.2021: <https://ekokumppanit.fi/muoviopas/>

Emmy (2021). Suomen suurin verkkokauppa second hand -merkkivaatteille. Saatavissa: <https://store.emmy.fi>

Euroopan komissio (2018). Rakennusten purku- ja kunnostustöitä edeltäviä jätehuoltotarkastuksia koskevat ohjeet: Rakennus- ja purkujätteen käsittely ja kierrätys EU:ssa. Saatavissa: <https://ec.europa.eu>

European Commission (2018). A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Saatavissa: <https://www.europarc.org/wp-content/uploads/2018/01/Eu-plastics-strategy-brochure.pdf>

Fallavi, K. N., Kumar, V. R., & Chaithra, B. M. (2017, February). Smart waste management using Internet of Things: A survey. In 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) (pp. 60-64). IEEE.

Finnish Textile & Fashion (2018) At the head of the circular economy II – Solutions for textile recycling. Saatavissa 10.8.2021: https://stjm.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20181016145845/STJM_Kiertotalous_EN_10_2018_verkko.pdf

Gross, A. (2021). Surge in single-use PPE feeds 'toxic' pandemic waste crisis. Financial Time 23 July 2020, saatavilla verkossa: <https://www.ft.com/content/d5e27b1f-ba5a-4445-a329-1802cf70d619>

Haribabu, P., Kassa, S. R., Nagaraju, J., Karthik, R., Shirisha, N., & Anila, M. (2017, December). Implementation of an smart waste management system using IoT. In 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS) (pp. 1155-1156). IEEE.

Heikkilä, P., Cheung, M., Cura, K., Engblom, I., Heikkilä, J., Järnefelt, V., Kamppuri, T., Kulju, M., Mäkiö, I., Nurmi, P., Palmgren, R., Petänen, P., Rintala, N., Ruokamo, A., Saarimäki, E., Vehmas, K., & Virta, M. (2021). Telaketju - Business from Circularity of Textiles. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research. Report No. VTT-R-00269-21

Hossain, M. A., Ahmedy, I., Harith, M. Z. M., Idris, M. Y. I., Soon, T. K., Noor, R. M., & Yusoff, S. B. (2020, March). Route Optimization by using Dijkstra's Algorithm for the Waste Management System. In Proceedings of the 2020 The 3rd International Conference on Information Science and System (pp. 110-114).

HSY (2018) Pääkaupunkiseudun sekajätteen koostumus vuonna 2018 Kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimuksen. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, Helsinki. Saatavilla verkossa: https://kivo.fi/wp-content/uploads/Lajittelututkimus_HSY_2018.pdf

Huuhka, S., Köliö, A., Annala, P., & Poti, A. (2018). Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet. *Muuttuva rakennettu ympäristö 4*. Tampereen teknillinen yliopisto.

Häkkinen, T. ja Ala-Kotila, P. (2019). Monikäyttöisyys ja muunneltavuus kestävässä rakentamisessa, VTT Technology 363.

Kiertonet (2021). Julkisen sektorin huutokauppa. Saatavissa: <https://kiertonet.fi>

Koch, K., & Domina, T. (1999). Consumer textile recycling as a means of solid waste reduction. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 28(1), 3-17.

Lagarda-Leyva, E. A., Morales-Mendoza, L. F., Ríos-Vázquez, N. J., Ayala-Espinoza, A., & Nieblas-Armenta, C. K. (2019). Managing plastic waste from agriculture through reverse

logistics and dynamic modeling. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(7), 1415-1432.

Lajittelulaatikosto (2021). Esimerkki muovisesta kotikierrätykseen soveltuvasta laatikosta. <https://www.orthexgroup.fi/inspiroidu/smartstore-collect>

Lehtonen, T.I. (2021). Biohajoava muovi ei kaipaa öljyä. *Content House Newspool*. Saatavissa 10.8.2021: <https://newspool.fi/biohajoava-muovi-ei-kaipaa-olja/>

Lendager Group (2021). The Resource Rows. 11.2.2021. Saatavissa 27.8.2021: <https://lendager.com/>

Maaseudun tulevaisuus (2020). Paimioon avataan poistotekstiilien jalostuslaitos – voi käsitellä 10 prosenttia Suomen vuosittaisesta tekstiilijätteestä. 18.8.2020.

Martikkala, et al. (2013) 'Towards the Interoperability of IoT Platforms: A Case Study for Data Collection and Data Storage', Proceedings of the 17th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Budapest, Hungary, June 7-9, 2021

Materiaalitori (2021). Jätteiden ja sivuvirtojen tietoa. *Ympäristöministeriö*. Saatavissa: www.materiaalitori.fi

Mentink, B. (2014). Circular Business Model Innovation: A Process Framework and a Tool for Business Model Innovation in a Circular Economy. Delft University of Technology & Leiden University. Leiden. Master's Thesis.

Mikromossen (2021). Vaasassa toimiva merikontista rakennettu materiaalien kierrätykseen soveltuva pop-up tyyppinen hyötykäyttöasema. <https://www.stormossen.fi/mikromossen/>

Monikerroslevy (2021). Perustietoa CLT:stä eri monikerroslevystä. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööriuotteet/monikerroslevy-clt/>

Muovisampo (2021). Tietoa muovin pantillisesta kuluttajakierrätyksestä haja-asutusalueilla. <https://www.seamk.fi/yrityksille/tki-projektit/muovisampo/>

Muoviteollisuus ry (2021). KiMuRa-projekti. Saatavissa 24.8.2021: https://www.plastics.fi/projektit/kimura_-projekti/

Murugaanandam, S., Ganapathy, V., & Balaji, R. (2018). Efficient IOT based smart bin for clean environment. In 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). IEEE. pp. 0715-0720

Nencková, L., Pecáková, I., & Šauer, P. (2020). Disposal behaviour of Czech consumers towards textile products. *Waste Management*, 106, 71-76.

Netlet Oy (2021). Rakennusliikkeiden ylijäämän ratkaisut. Saatavissa 11.8.2021: www.netlet.fi

Nirde, K., Mulay, P. S., & Chaskar, U. M. (2017). IoT based solid waste management system for smart city. In 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) IEEE. pp. 666-669.

Palomäki, V. & Lehtisaari, P. (2018). Kiertotaloutta Alankomaissa ja Tanskassa – voiko näinkin rakentaa? *Seinäjoen yliopistokeskuksen tiedotuslehti*. 2/2018.

Poursafar, N. Alahi M. E. E. & Mukhopadhyay S. (2017), "Long-range wireless technologies for IoT applications: A review," 2017 Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST) pp. 1-6, doi: 10.1109/ICSensT.2017.8304507.

Shyam, G. K., Manvi, S. S., & Bharti, P. (2017). Smart waste management using Internet-of-Things (IoT). In 2017 2nd international conference on computing and communications technologies (ICCCT). IEEE. pp. 199-203

Suomen Tekstiili & Muoti ry. (2017). Kiertotalouden kärjessä - Ratkaisuja tekstiilien kiertoon. Saatavissa 10.8.2021: https://stjm.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20170123172356/STJM_Kiertotalousjulkaisu_2017.pdf

SVT (2018) Suomen virallinen tilasto: Jätetilasto [verkkójulkaisu]. ISSN=1798-3339. 2018. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 21.9.2021]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tie_001_fi.html

Tarpio, J. (2015). Joustavan asunnon tilalliset logiikat: Erilaisiin käyttöihin mukautumiskykyisen asunnon tilallisista lähtökohdista ja suunnitteluperiaatteista. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laitos. 18/2015.

Teijo-Talot (2021). Saatavissa: www.teijotalot.fi.

Tekniikka & Talous (2021). Tekstiilijätteen kierrätys mullistuu pian Suomessa – näin kuitu kiertää Paimioon rakennetussa uudenaikaisessa jalostuslaitoksessa. 19.3.2021.

Vaatteet ulkomaille (2021). Käytetyn vaatteen jäljillä. Saatavissa: <https://arena.yle.fi/1-50278158>.

van Sante, M. (2017). Circular construction: Most opportunities for demolishers and wholesalers. ING Economics department. June 2017. Saatavissa: https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/ING_EBZ_Circular-construction_Opportunities-for-demolishers-and-wholesalers_juni-2017_tcm162-127568.pdf

Wen, Z., Hu, S., De Clercq, D., Beck, M. B., Zhang, H., Zhang, H., ... & Liu, J. (2018). Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste management*, 73, 26-38

Yan, G. (2019). Reverse Logistics in Clothing Recycling: A Case Study in Chengdu. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 13(5), 298-301.

Ympäristöministeriö (1999). Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. 139 § Purkamisluvan edellytykset. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990132>

Ympäristöministeriö (2019). Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Muovitiekartta Suomelle. Saatavissa: <https://muovitiekartta.fi/>

Ympäristöministeriö (2021). Jätesäädönpaketti. Saatavissa: <https://ym.fi/jatesaadospaketti>

Zeb, A., Ali, Q., Saleem, M. Q., Awan, K. M., Alowayr, A. S., Uddin, J., & Bashir, F. (2019). A proposed IoT-enabled smart waste bin management system and efficient route selection. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2019.