

Urban mining eurooppalaisissa hankkeissa rakennusalalla

Tiivistelmä

Tekijä(t) Kettunen, Sini	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 50	Valmistumisaika 2025
Työn nimi Urban mining eurooppalaisissa hankkeissa rakennusalalla		
Tutkinto Insinööri (AMK), Ympäristötekniikan koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio LAB-ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tutkittiin urban mining -konseptin toteutusta osana kiertotaloutta rakennusalalla. Urban mining on konsepti, jossa teknisiä tai biologisia materiaaleja hyödynnetään kaupunkiympäristöistä. Konseptin tavoitteena on neitseellisten luonnonvarojen sijaan käyttää jo olemassa olevia, ihmisten luomia raaka-ainevarastoja.</p> <p>Tutkimuskohteiksi valikoitui kahdeksan eurooppalaista demonstraatiota tai projektia. Tutkimusaineistona käytettiin hankeraportteja. Kohteissa pyrittiin valikoivan purkamisen avulla hyödyntämään materiaaleja tai komponentteja, käyttämään uudelleen maamassoja tai suunnittelemaan viitekehystä raaka-ainevarastojen kartoittamiseen.</p> <p>Keskeinen havainto oli, että urban mining -toimintaan on olemassa jo puitteet, mutta kiertotalouden muuttuminen yleiseksi käytännöksi rakennusalalla vaatii vielä sidosryhmäyhteistyön, lainsäädännön ja standardien kehittämistä. Haasteita aiheuttaa myös logistiikka ja kustannukset. Materiaalien uudelleenkäyttö rakennusalalla vaatii monistettävien mallien käyttöönottoa ja myös liiketoiminnan mahdollistavia alustoja materiaalien jakamiseen.</p>		
Asiasanat Urban mining, urban metabolism, kaupunkiaineenvaihdunta, kiertotalous, kiertotalouden ekosysteemi, vihreä siirtymä		

Abstract

Author(s) Kettunen, Sini	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2025
	Number of Pages 50	
Title of Publication Urban Mining as part of European projects in the construction sector		
Name of Degree Engineer (UAS), Environmental Engineering		
Name, title and organization of the client LAB University of applied sciences		
Abstract <p>The thesis examined the implementation of the Urban Mining concept as a part of circular economy in the construction industry. Urban Mining is a concept where technical or biological materials are utilized from urban environments. The goal of the concept is to use existing, human-created raw material stocks instead of virgin natural resources.</p> <p>Eight European demonstrations or projects were selected as research subjects. Project reports were used as research material. The projects aimed to utilize materials or components through selective demolition, reuse soil masses or design a framework for mapping raw material stocks.</p> <p>A key finding is that there is already frameworks for Urban Mining activities, but for the circular economy to become a common practice for construction industry, it needs developing of stakeholder co-operation, legislation and standards. Costs and logistics are also challenges. The reuse of materials in the construction industry requires adaption of replicable models and platforms that enable business for material sharing.</p>		
Keywords Urban mining, urban metabolism, circular economy, circular economy ecosystem, green transition		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuskysymys ja opinnäytetyön tavoite.....	1
1.2	Opinnäytetyön toimeksiantaja.....	2
1.3	Tutkimusmenetelmä.....	3
2	Kiertotalous.....	5
2.1	Kiertotalous talouden mallina.....	5
2.2	Vihreä siirtymä.....	7
3	Kiertotalouden ekosysteemit.....	8
3.1	Ekosysteemin käsite kiertotaloudessa.....	8
3.2	Hammarby Sjöstad.....	9
4	Urban mining.....	11
4.1	Urban mining käsitteenä.....	11
4.2	Urban metabolism - kaupunkiaineenvaihdunta.....	13
4.3	Kaupunkien aineenvaihdunnan virrat ja varannot.....	13
4.3.1	Virtoja ohjaavat toiminnot, mahdollistajat ja rajoitteet.....	15
4.4	Urban mining -konseptin merkitys kaupungeille.....	16
5	Materiaalit kiertotaloudessa ja urban mining -konseptissa.....	19
5.1	Tekninen ja biologinen kierto.....	19
5.2	Biologiset materiaalit kiertotaloudessa.....	19
5.3	Tekniset materiaalit kiertotaloudessa.....	20
5.4	Sähkö- ja elektroniikkajäte kiertotaloudessa.....	20
5.5	Rakennusalan materiaalit kiertotaloudessa.....	21
6	Case-esimerkit - urban mining tutkimuksia ja hankkeita eurooppalaisissa kaupungeissa.....	24
6.1	CityLoops.....	24
6.1.1	Bodø: Uusi lentokenttä / Uusi kaupunki.....	25
6.1.2	Bodøn projektin tulokset.....	27
6.2	Mikkeli: Rakennus- ja purkujätteen hyödyntäminen.....	29
6.3	PUMA (Prospecting the Urban Mines of Amsterdam).....	32
6.3.1	PUMA-viitekehys.....	33
6.4	CIRCuiT-projekti.....	36
6.4.1	Vantaa ja Helsingin seutu.....	36
6.4.2	Hampuri.....	38
6.4.3	Kööpenhamina.....	40

6.4.4	Lontoo	42
6.5	Karma	44
6.5.1	Korbach, Saksa	45
7	Yhteenveto ja tulokset.....	47
7.1	Kohteiden vertailu.....	47
7.2	Tulokset ja pohdinta	48
	Lähteet	51

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on yksi aikamme suurimmista haasteista. Ihmisen toiminta on kiihdyttänyt ilmastonmuutosta, sen seuraukset näkyvät ympäri maailmaa. Ilmastonmuutoksen hillintä vaatii nopeita ja laajoja toimia. Suurin osa päästöistä syntyy fossiilisten polttoaineiden käytöstä, teollisuudesta ja kulutuksesta. Luonnonvarojen ylikulutus aiheuttaa päästöjä ja vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen.

Vihreä siirtymä kohti hiilineutraalia taloutta on välttämätön ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Vihreä siirtymä kuitenkin lisää tiettyjen materiaalien, kuten metallien kysyntää. Uusiutuvaan energiaan liittyvä teknologia, kuten sähköautojen akut ja tuuliturbiinit lisäävät myös materiaalien kysyntää. Metallien ja mineraalien louhintaan liittyvä kaivostoiminta aiheuttaa myös mittavia ympäristövaikutuksia. Tämän vuoksi on tärkeää keksiä ratkaisuja, joilla voidaan vähentää uusien raaka-aineiden käyttöä ja edistää kiertotaloutta.

Kiertotalous on yksi merkittävimmistä keinoista vähentää luonnonvarojen kulutusta. Kiertotaloudessa on tarkoitus pitää materiaalit käytössä mahdollisimman pitkään ja hyödyntää jo olemassa olevia resursseja uudelleen. Vaikka kiertotalouden merkitys tunnetaan, sen potentiaalia ei ole vielä täysin hyödynnetty.

Rakennusala on yksi suurimmista luonnonvarojen kuluttajista ja jätteen tuottajista. Rakennukset ja infrastruktuuri sisältävät suuren määrän metalleja, mineraaleja ja muita arvokkaita materiaaleja, joita voitaisiin hyödyntää uudelleen. Yksi kiertotalouden keino on urban mining (kaupunkilouhinta), joka tarkoittaa materiaalien talteenottoa ja uudelleenkäyttöä kaupunkiympäristöissä. Urban mining tarjoaa mahdollisuuden vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja pienentää esimerkiksi rakennusalan hiilijalanjälkeä. Purettavista rakennuksista voidaan hyödyntää esimerkiksi terästä, kuparia ja betonia, mikä vähentää uusien materiaalien tarvetta ja säästää luonnonvaroja.

Urban mining ja kiertotalous voivat tarjota keinoja vähentää ympäristön kuormitusta, mutta niiden hyödyntämistä on lisättävä ja kehitettävä edelleen. Kestävä rakentaminen, materiaalien kierrätys ja uudenlaisten ratkaisujen käyttöönotto ovat avainasemassa tulevaisuudessa, kun rakennetaan kestävää yhteiskuntaa.

1.1 Tutkimuskysymys ja opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia urban mining -konseptin hankepilotteja Euroopassa. Urban mining -konseptia voidaan soveltaa melkein minkä tahansa materiaalin louhintaan

kaupunkiympäristössä. Viime vuosina on ollut käynnissä paljon erilaisia hankkeita urban mining -konseptiin liittyen, joista osa on Euroopan Unionin hankkeiden rahoittamia, osa pienempien konsortioiden projekteja ja osa kiertotalousyritysten vetämiä hankkeita. Opinnäytetyöhön on valikoitunut pääasiassa hankkeita, joissa on mukana julkista rahoitusta. Näistä hankkeista on olemassa kattavat raportit, joissa hankkeiden vaiheita ja ominaisuuksia kuvataan tarkasti.

Urban mining -demonstraatioita on pilotoitu rakennusmateriaalien lisäksi ainakin tekstiileillä, biomateriaaleilla, ruokahävikillä, muoveilla ja metalleilla. Rakennusala valikoitui tutkittavaksi sen mittavien ympäristövaikutusten vuoksi, rakennusmateriaaleihin liittyviä hankeraportteja oli myös eniten saatavilla.

Urban mining -konseptista löytyy paljon tieteellistä tutkimustietoa ja teoreettisia viitekehyksiä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon urban mining -toimintaa on käytännössä ja millaisia pilotteja hankkeissa on ollut rakennusalalla.

Opinnäytetyön päätutkimuskysymys on:

- Millaisissa hankkeissa urban mining -konseptia on toteutettu käytännössä lähivuosina Euroopassa rakennusalalla?

Tutkimuksen apukysymyksiä ovat:

- Millaisia tavoitteita hankkeilla on ollut, mitä niissä on saavutettu ja mitä niistä on opittu?
- Millaisia haasteita hankkeissa on ollut, miten hankkeet eroavat toisistaan ja mitä yhtäläisyyksiä niissä on ollut?
- Ovatko hankkeiden toimintamallit sovellettavissa yleisesti rakennusalalle?

1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Euroopan Unionin Horisontti-ohjelmasta rahoituksen saanut Sustainable Horizons – European Universities Designing The Horizons of Sustainability. Hankkeen toteutusaika oli kaksi vuotta ajalla 1.9.2022 - 31.8.2024. LAB-ammattikorkeakoulu on hankkeessa ns. osatoteuttaja eli partneri. Hankepartnereina toimivat kuusi korkeakoulua, jotka sijaitsevat pienissä kaupungeissa EU:n suurten kasvukeskusten ulkopuolella: Etelä-Euroopasta Faro, Portugali ja Huelva, Espanja, Keski-Euroopasta Zlin, Tšekki ja Ludwigshafen, Saksa, Itä-Euroopasta Timisoara, Romania ja Pohjois-

Euroopasta Lahti ja Lappeenranta, Suomi. Partnerit toimivat yhdessä aluetalouden sekä -vaikuttavuuden hyväksi.

Hanke keskittyi kestäväen kehityksen tieteenalaan ja sen myötä laajaan institutionaaliseen muutokseen. Verkosto tarjoaa yhteistyöalustan, jossa toimitaan yhteistyössä ympäröivän ekosysteemin kanssa. Tavoitteena on tukea institutionaalista muutosta myös EU:n ulkopuolisissa partnerimaissa verkostojen ja hyvien käytäntöjen avulla, sekä määrittelemällä yhdessä tiekarttoja avoimen tieteen mukaiseen politiikkaan, tasa-arvoon, kestävään kehitykseen ja tutkijoiden yhteiskunnallisiin yhteyksiin.

Kestäväen kehityksen tutkimuslähtökohtana ovat sen perinteiset osa-alueet kuten ympäristö- ja sosioekonomiset kysymykset, mutta hankkeessa kehitetään myös innovaatiolähtöisesti muita osa-alueita, edistäen samalla yrittäjyyttä ja työllisyyttä sekä aluekehitysvaikutusta. Hankkeen jälkeen partnereiden yhteistyö on jatkunut esimerkiksi tutkija-vaihto-ohjelman toteutuksella. Nämä ovat olleet hyviä perusteita sille, että opinnäytetyön teema sopii hankkeen tavoitteisiin.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa pyritään jonkun tietyn ilmiön ymmärtämiseen. Laadullisessa tutkimuksessa määritellään tutkimusongelma, sen jälkeen valitaan tutkimuskysymykset, joihin pyritään hankkimaan vastaus tutkimusaineistolla. Tutkimusaineisto analysoidaan ja luokitellaan, jonka jälkeen tehdään johtopäätökset. Opinnäytetyössä on aina katsaus ilmiötä selittäviin teorioihin ja tutkimuksiin, eli teoreettinen viitekehys. (Kananen 2010, 36.)

Tapaustutkimuksessa tutkimuskohteena on yksi tai muutama kohde tai ilmiökokonaisuus. Tapaustutkimuksessa ei pyritä tutkimuksen avulla yleistettävyyteen samalla tavalla kuin kyselytutkimuksissa, vaan tuottamaan valitusta tai valituista tapauksista intensiivistä ja yksityiskohtaista tietoa. Tapaustutkimuksessa pyritään tutkimaan ja ymmärtämään tapauksia syvällisesti niiden erityisessä kontekstissa. Ilmiön toiminnan dynamiikasta, mekanismeista, prosesseista ja sisäisistä lainalaisuuksista haetaan tietoa sellaisella tavalla, että tutkimustuloksilla pystytään osoittamaan jonkinlaista yleistettävyyttä tai sosiokulttuurista merkitystä. (Jyväskylän yliopisto 2025.)

Tässä opinnäytetyössä teoreettisen viitekehysten keskiössä on urban mining ja sen liittyminen kiertotalouteen ja sitä kautta luonnonvarojen säästämiseen ja kestäväen kulutukseen. Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena, tutkimusaineistoksi valikoitui kahdeksan urban mining -pilottia rakennusosalta. Kuudessa pilotissa on mukana Euroopan Unionin rahoittama Horizon 2020 -hanke, yhdessä pilotissa Euroopan Unionin osittain rahoittama

Karma-hanke ja yksi pilotti on muun paikallisten organisaatioiden ja yritysten konsortion hanke.

2 Kiertotalous

2.1 Kiertotalous talouden mallina

Kiertotalous on talousmalli, jossa hyödynnetään kaikki materiaali, eikä synny hukkaa. Kiertotalous ei ole käsitteenä uusi. Jakaminen, kierrätys, korjaaminen ja kertakäyttökulttuurista luopuminen ovat jo pitkään liittyneet kestäväan kehitykseen. Kiertotalous sisältää kaikkia näitä ja lisäksi tavoitteen luoda kiertotaloudesta liiketoimintaa ja taloudellista hyötyä. (YLE 2017.)

Sitra julkaisi vuonna 2017 ensimmäisen kiertotalouteen liittyvän tiekartan ”Kierrolla kärkeen”. Tiekartassa määritellään kiertotalous Suomen uudeksi kärkihankkeeksi. Kiertotalous on talouden malli, jossa kaikki materiaali pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti, niin että mahdollisimman vähän menee hukkaan. Tuotteet, komponentit ja erilaiset materiaalit pyritään pitämään mahdollisimman pitkään talouden käytössä. Sen sijaan että otetaan luonnonvaroja, valmistetaan tuotteita ja hävitetään ne elinkaaren lopussa, on tarkoitus palauttaa materiaalit kiertoon ja näin hyödyntää kaikki resurssit mahdollisimman tehokkaasti (Kuvio 1). Kiertotaloudessa pyritään estämään tuotannossa syntyvää hukkaa ja jätteen syntymistä. (Sitra 2017, 9.)



Kuvio 1. Kiertotalous (Euroopan Unionin tutkimuspalvelu 2023)

Kiertotalouden tärkein tavoite ja hyöty on vaikuttaa materiaalien kulutukseen ja sitä kautta ilmastonmuutokseen. Luonnonvarojen, kuten fossiilisten polttoaineiden, mineraalien, metallien ja biomassan käytön ennustetaan kaksinkertaistuvan globaalisti vuoteen 2060 mennessä. Jätteen määrän ennustetaan myös kasvavan jopa 70 prosenttia vuoteen 2060 mennessä. Näin suuri luonnonvarojen kulutus lisää hiilidioksidipäästöjä massiivisesti ja vaikuttaa sitä kautta myös ilmastonmuutokseen. Kiertotalouden edistämällä arvioidaan olevan merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Luonnonvarojen säästämisen lisäksi kiertotaloudella voidaan vaikuttaa energian käytön vähentämiseen ja uusiutuvan energian lisäämiseen energian lähteenä. (Kiertotalous-Suomi 2025.)

Ilmastonmuutoksen lisäksi suuri globaali ongelma on luontokato. Luontokato näkyy myös Suomessa mm. elinalueiden häviämisenä, joka on johtanut monien lajien uhanalaisuuteen. Kiertotalouden arvioidaan olevan myös mahdollisuus luontokadon pysäyttämiseen. Luontokatoon vaikuttavat ruoka- ja maatalous, rakentaminen ja maankäyttö sekä metsäteollisuus. Luontokadon pysäyttäminen kiertotalouden avulla vaatisi valtavaa systeemistä muutosta, jossa pitäisi vähentää lihantuotantoa, paperin ja sellun kulutusta, sekä tekstiilien ja kuitujen käyttöä merkittävästi. (Sitra 2022, 6.)

Sitran (2017, 13) selvityksessä nostetaan esille neljä erilaista painopistettä kiertotalouteen. Kestävässä ruokajärjestelmässä pyritään vähentämään ruokahävikkiä ja tehostamaan bioperäisten yhdyskuntajätteiden hyödyntämistä mm. biokaasun valmistamisessa. Metsäperäisissä kierroissa pyritään hyödyntämään kaikki tuotannon sivuvirrat ja lisäämään biopohjaisia innovaatioita. Liikkumisessa ja logistiikassa pyritään lisäämään biopolttoaineiden käyttöä ja kehittämään kestävämpiä liikkumiskäytäntöjä. Teknisessä kierrossa on tärkeää saada materiaalit tehokkaasti käyttöön parantamalla niiden kierrätystä, talteenottoa ja uudelleenkäyttöä.

Kiertotalouden tavoitteilla pyritään vaikuttamaan ilmastonmuutokseen vähentämällä luonnonvarojen kulutuksen kautta päästöjä. Kiertotalouden tarkoitus on myös lisätä taloudellista hyvinvointia luomalla uudenlaisia tuotteita ja palveluita. Materiaalien arvon säilyttämisellä ja lisäämisellä pyritään taloudelliseen hyötyyn. Suomen on tarkoitus kiertotalouden avulla myös lisätä kansainvälistä kilpailukykyä. (Sitra 2017, 45.)

Kiertotaloudessa on ympäristönäkökulman lisäksi myös liiketoimintänäkökulma. Kiertotalouden ajatus on hyödyntää tuotteita ja materiaaleja uudella tavalla, siinä on tarkoitus hyödyntää jo olemassa olevia resursseja tai pidentää tuotteen elinkaarta. Kiertotalouden liiketoimintamalleja ovat kiertävät raaka-aineet, resurssien talteenotto, elinkaaren pidentäminen, tuote palveluna ja jakamisalustat. Kiertotalouden markkinaperiaatteet ovat sovellettavissa lähes kaikilla toimialoilla ja eri mittakaavan toiminnoissa. Monet kiertotalouden hyödyt

ja periaatteet voidaan tehokkaasti siirtää toimialalta toiselle, mikä edistää innovaatioiden leviämistä koko yhteiskunnassa. Tämä monistettavuus luo vahvan pohjan kiertotalouden laajalle leviämiselle. (Kiertotalous-Suomi 2025.)

2.2 Vihreä siirtymä

Vihreä siirtymä tarkoittaa talouden muutosta, jossa pyritään siirtymään fossiilisista polttoaineista vähähiilisiin ratkaisuihin. Päästöjen vähentäminen on yksi tärkeä toimi ilmastomuutoksen hillitsemisessä. Päästöjä voidaan vähentää tehokkaasti vihreän siirtymän avulla. Vihreä siirtymä edellyttää kiertotaloutta ja luonnon monimuotoisuutta edistäviä ratkaisuja. Luopuminen fossiilisista polttoaineista ja siirtyminen uusiutuvaan energiaan erilaisten innovaatioiden avulla on osa vihreää siirtymää. Luonnonvarojen ylikulutus on globaali ongelma, johon pitää etsiä ratkaisuja. Yhteiskunta yrittää tukea yritysten vihreää siirtymää myös erilaisilla rahoitusmalleilla. (Ympäristöministeriö 2024.)

Vihreä siirtymä tarkoittaa, että siirrymme fossiilisista polttoaineista uusiutuvaan energiaan ja sähköisiin ratkaisuihin. Tämä vaatii valtavasti metalleja ja mineraaleja, kuten kobolttia, litiumia, nikkeliä, vanadiinia ja harvinaisia maametalleja (REE, Rear Earth Elements). Nykyiset kaivokset ja varannot eivät riitä kattamaan tulevaa kysyntää. Lisäksi jokaisessa teollisuuden tuotantoprosessissa tarvitaan yhä enemmän eri materiaaleja. Esimerkiksi yhden matkapuhelimen valmistamiseen tarvitaan 60–70 eri metallia ja mineraalia. (Geologinen tutkimuskeskus 2023.)

Euroopan neuvosto on hyväksynyt maaliskuussa 2024 kriittisten raaka-aineiden säädöksen, jonka taustalla on harvinaisten maametallien kysynnän raju kasvaminen tulevaisuudessa. Säädöksen on tarkoitus vahvistaa kiertotaloutta ja varmistaa että Euroopan Unionin alueella on metalleja, mineraaleja ja luonnon materiaaleja, joita tarvitaan teollisuuden arvokeijuihin, strategiaan teknologioihin ja puhtaaseen teknologiaan. (Eurooppa-neuvosto 2025.)

Kiertotalous on yksi keino siirtyä vihreään talouteen. Väestönkasvun, teollisen tuotannon ja kulutuksen lisääntyessä tarvitsemme kiireellisiä toimia sosiaalisten, ympäristö- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseen. Kiertotalous ja vihreä siirtymä eivät ole kilpailevia termejä, vaan ne liittyvät toisiinsa. Kiertotalous on vihreän talouden kulmakivi, keskeiset teollisuudenalat, kuten energia, maatalous, muoti ja rakentaminen voivat hyödyä kiertotalouden integroinnista kaikkiin toimintoihin. (Martinez 2023, 5-6.)

3 Kiertotalouden ekosysteemit

3.1 Ekosysteemin käsite kiertotaloudessa

Ekosysteemi käsitteenä tulee alun perin luonnontieteistä, ja sillä viitataan organismien muodostamaan yhteisöön ja niiden väliseen toimintaan omassa yhteisössään. Yksi esimerkki ekosysteemistä on metsä, jossa eläimet, kasvit ja organismit elävät yhdessä, riippuvaisina toisistaan ja samalla hyötyen toisistaan. Metsää ympäröivä ilmasto ja maaperä asettavat metsän toiminnalle reunaehdoja. Vaikka ekosysteemit ovat erilaisia, niillä on yhteisiä piirteitä. Ekosysteemit ovat kompleksisia ja systeemisiä, niiden kehitys ei ole lineaarista, vaan monimutkaista ja vaikeasti ennustettavaa. Ekosysteemin toimijat ovat riippuvaisia toisistaan, vaikka niillä on myös omat intressinsä. Ekosysteemin menestys hyödyttää kaikkia sen toimijoita. Ekosysteemit syntyvät, kasvavat, kehittyvät ja kuolevat. Ekosysteemin toiminta on riippuvainen siitä, kuinka tehokkaasti se käyttää käytössä olevia resursseja. (Kaihovaara ym. 2017, 16.)

Yritys- ja innovaatiotoiminnassa ekosysteemin käsite auttaa ymmärtämään eri toimijoiden välisiä keskinäisriippuvuuksia ja dynamiikkaa. Tällöin puhutaan yleensä kolmesta yritys- ja innovaatiotoiminnan ekosysteemin tyypistä: liiketoimintaekosysteemit, yrittäjäekosysteemit ja innovaatioekosysteemit. (Kaihovaara ym. 2017, 17.) Perinteisesti liiketoiminnassa on puhuttu klustereista. Ekosysteemit ovat perinteisiä klustereita voimakkaampia yhteisöjä, joissa vuorovaikutus, avoimuus ja yhteistyö on tiiviimpää kuin klustereissa. (Kaihovaara ym. 2017, 39.)

Kiertotalouden tarkoitus on parantaa resurssitehokkuutta. Ympäristöhyötyjen lisäksi yritysten on mahdollisuus myös parantaa kannattavuutta ja luoda uutta liiketoimintaa kiertotalouden avulla. Kiertotalouden ekosysteemi tarkoittaa yhteisöä, jossa kiertotalousyritykset toimivat yhdessä, niin että ne hyötyvät toisistaan. Toisilta yrityksiltä saatu hyöty voi olla tuotantoon liittyvää resurssia, kuten materiaalia. Se voi olla myös yhdessä kehittämistä tai innovointia. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, 68-70.)

Ekosysteemeillä ei yleensä ole yhteistä liiketoimintasuunnitelmaa tai visiota. Ekosysteemi-toiminta perustuu usein alihankintaketjuihin, kuitenkin ekosysteemit hyötyisivät innovatiivisista startup-yrityksistä, jotka tulisivat mukaan tasavertaisina kumppaneina. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, 68.)

Yksi esimerkki kiertotalouden ekosysteemistä on Woodpolis Kuhmossa. Woodpoliksen idea on hyödyntää paikallista puuta niin, että siitä ei jää mitään hukkaa. Saha jalostaa paikallisesta puusta puutavaraa, yrityksen sivutuotteena syntyvä sahanpuru ja kuorike taas hyödynnetään naapurirytyksessä lämpövoimaksi. (Woodpolis 2024.) Sahan viereen on

syntynyt myös muita sivuvirtoja hyödyntäviä yrityksiä. Ekosysteemin kilpailukyky perustuu tiiviiseen yhteistyöhön ja siihen, että toisia yrityksiä ei nähdä kilpailijoina, vaan kumppaneina. (Woodpolis 2022.)

Kiertotalouden ekosysteemi voi myös toimia yrityksen tai konsernin sisällä. Metsä Fibren Äänekosken Biotuotetehtaassa toimii ekosysteemi, joka on lähes suljettu kierto. Tehtas valmistaa päätuotteenaan sellua paperi- ja pahvituotteiden raaka-aineiksi. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 1,3 miljoonaa tonnia vuodessa. Tehtaan prosesseissa kierrätetään vettä ja kemikaaleja tehokkaasti ja ne palautetaan kiertoon takaisin resurssiksi. Sivutuotteena syntyvästä hajukaasusta valmistetaan rikkihappoa, jota tarvitaan mäntyöljyn valmistuksessa. Tehtas ei käytä ollenkaan fossiilisia polttoaineita, vaan kaikki sähkö tuotetaan tehtaan tuotannon sivuvirroista ja sitä ohjataan myös kaukolämpöverkkoon. Äänekosken tehtaan läheisyydessä toimii myös muita konserniin kuuluvia yrityksiä, jotka hyödyntävät yrityksen sivuvirtoja ja hukkamateriaalia. (Metsä Group 2024.)

3.2 Hammarby Sjöstad

Yksi esimerkki kestävästä kaupunkiekosysteemistä on Tukholmassa sijaitseva Hammarby Sjöstad. 1990-luvun alussa Hammarby Sjöstad tunnettiin rappeutuneena ja saastuneena teollisuus- ja asuinalueena. Alue sijaitsee lähellä kaupungin keskustaa. Vuoteen 2016 mennessä siellä asui 25 000 ihmistä ja työskenteli 10 000 henkilöä. Kestävä kehitys on keskeinen osa Hammarby Sjöstadin kaupunkisuunnittelua. Alueella on otettu käyttöön veden, energian ja jätteiden hallintaan liittyviä ratkaisuja. Kaikki alueella käytetty sähkö on peräisin uusiutuvista lähteistä ja siellä testataan uusia energiateknologioita, kuten polttokennoja ja aurinkopaneeleja. Alue on yhteistyöprosessin lopputulos ja sitä on ollut kehittämässä kunnalliset viranomaiset, kaupunkisuunnittelijat, arkkitehdit, maisema-arkkitehdit, energiayhtiö ja Tukholman vesiyhtiö. (Urban Green-Blue Grids for resilient cities, 2025.)

Kaupunkisuunnittelussa on yhdistetty perinteisiä 1800-luvun Tukholman piirteitä moderniin arkkitehtuuriin. Rakennukset on sijoitettu siten, että mahdollisimman moni asunto hyötyy vesinäkymistä. Julkiset tilat ja kävelyreitit lisäävät yhteisöllisyyttä ja tiheä kaupunkirakenne muistuttaa Tukholman keskustaa. (Urban Green-Blue Grids for resilient cities, 2025.)

Hammarby Sjöstadin pääasiallinen lämmönlähde on kaukolämpö. Sen tuotannossa hyödynnetään useita kestäviä energialähteitä: 34 % lämmöstä saadaan puhdistetusta jätevedestä, 47 % poltettavasta kotitalousjätteestä ja 16 % biopolttoaineista (vuoden 2002 tiedot). Lämpö otetaan talteen käsitellystä jätevedestä, ja samalla syntyvä kylmä vesi voidaan hyödyntää kaukokylmänä. Tätä käytetään esimerkiksi ruokakauppojen kylmävarastoissa ja

toimistorakennuksissa vähentämään perinteisten, paljon energiaa kuluttavien ilmastointijärjestelmien tarvetta. (Urban Green-Blue Grids for resilient cities, 2025.)

Hammarby Sjöstadissa kokeillaan erilaisia tapoja tuottaa energiaa. Sickla Kanalgratan -kadulla on kaksi taloa, joissa on aurinkokennoja. Ne tuottavat sähköä talojen yhteisiin tiloihin. Lisäksi yksi iso asuintalo käyttää aurinkopaneeleita, jotka tuottavat puolet asukkaiden käyttämästä kuumasta vedestä. Toinen kokeilu on polttokenno, joka sijaitsee Glashuset-nimisessä ympäristökeskuksessa. Polttokenno toimii kuin akku, mutta se tuottaa sähköä ja lämpöä esimerkiksi vetykaasusta. (Urban Green-Blue Grids for resilient cities, 2025.)

Hammarby Sjöstadissa 900 asuntoa käyttää biokaasuliesiä. Biokaasu tulee asukkaiden omasta jätteestä. Kun jätevesi puhdistetaan, siitä syntyy kaasua, joka voidaan käyttää ruoanlaittoon. Keskimäärin perheet tuottavat suunnilleen yhtä paljon biokaasua kuin käyttävät. Kun sähköllä toimivat liedet korvattiin biokaasuliesillä, sähkönkulutus laski 20 %. Sadevesi hyödynnetään imeyttämällä tai keräämällä kanaviin. (Urban Green-Blue Grids for resilient cities, 2025.)

4 Urban mining

4.1 Urban mining käsitteenä

Perinteinen talouden lineaarinen malli perustuu raaka-aineiden louhintaan, tuotantoon, käyttöön ja tuotteen elinkaaren lopussa materiaalien päätymiseen jätteeksi. Linearisessa mallissa raaka-aineet käytetään ja hylätään. Väestönkasvu aiheuttaa kuitenkin raaka-aineiden niukkuutta, eikä tällä lineaarisella mallilla voida enää jatkaa. Kiertotalousnäkökulma on noussut tarpeesta säästää luonnonvaroja. (Cossu 2013, 497.)

Raaka-aineiden niukkuudesta on noussut kiertotalousajattelu. Sen sijaan että kulutamme rajoitettuja luonnonvarojen varastoja, meidän tulisi kääntää huomio ns. antropogeenisiin eli ihmisen toiminnan synnyttämiin raaka-ainearastoihin. Urban mining käsitteenä tarkoittaa teknologioita ja toimenpiteitä, joilla otetaan talteen energiaa ja raaka-aineita kaupunkien aineellisesta "aineenvaihdunnasta" (urban metabolism). Urban mining pyrkii pitkän aikavälin ympäristöhyötyihin, resurssien säästämiseen ja taloudellisiin hyötyihin hallitsemalla järjestelmällisesti ihmisen toiminnasta syntyneitä resursseja ja jätteitä. (Cossu 2013, 497.) Raaka-aineita voidaan ottaa talteen mistä tahansa ihmisen luomasta varastosta; näitä voivat olla rakennukset, infrastruktuuri, teollisuus ja tuotteet. (Cossu & Williams 2015, 1.)

Varsinkin elektroniikkalaitteilla on lyhyt käyttöikä, ja näiden laitteiden jätteen määrä kasvaa koko ajan. Esimerkiksi elektroniikan sisältämän kullan talteenoton on arvioitu olevan huomattavasti ympäristöystävällisempää kuin perinteinen kullan kaivaminen. Urban mining -konseptia voidaan kuitenkin jalostaa pidemmälle myös muihin materiaaleihin, joita voivat olla esimerkiksi muovit, paperi, pahvi, lasi, metallipurkit, rakennus- ja purkujätteet, elinkaaren päässä olevat ajoneuvot, palamisjätteet ja ruokajäte. Näitä materiaaleja voidaan käyttää uusien tuotteiden valmistuksessa, kuten sekundäärisenä raaka-aineena, rakennusmateriaaleina, biopolttoaineina, komposiitteina tai maanparannusaineina. (Cossu 2013, 497.)

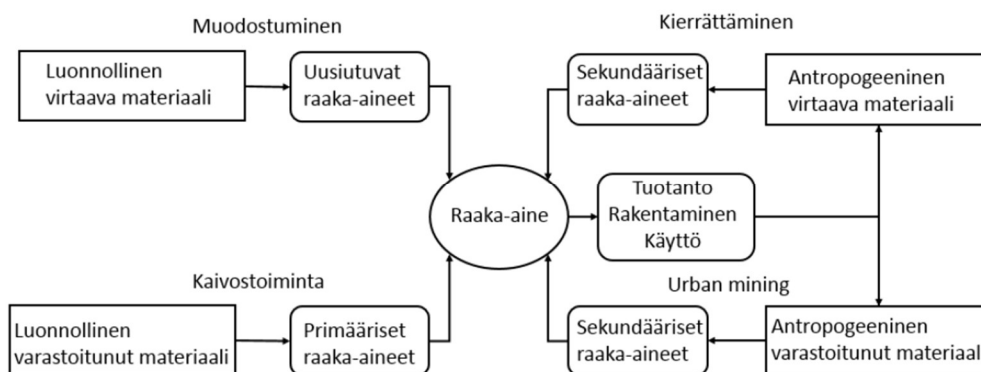
Urban mining -konseptissa vastuuta tulisi siirtää enemmän tuotteen kuluttajalta tuottajalle. Tuotteet ja materiaalit tulisi suunnitella entistä paremmin raaka-aineiden talteenottoa ajatellen, ja tätä yhteiskunnan tulisi ohjata enemmän erilaisilla säädöksillä ja kannustimilla. (Cossu 2013, 498.)

Aiemmin on viitattu ns. kaatopaikkakaivoksiin, joissa kaivetaan ja käsitellään kaatopaikkajätettä. Tällaisia paikkoja ovat olleet esimerkiksi kunnalliset kaatopaikat tai kaivostoiminnasta jääneet jätteet. Nämä ovat olleet ns. varastoja eli materiaali on varastoitunut niihin. Urban mining -konsepti taas laajentaa käsitettä prosessiksi, jossa materiaaleja, mineraaleja ja alkuaineita otetaan talteen mistä tahansa ihmisen toiminnasta, kuten teollisuudesta, rakentamisesta tai infrastruktuurista. Näiden varastojen on arvioitu olevan merkittäviä raaka-

aineiden lähteitä, joiden alkuainepitoisuudet voivat olla yhtä suuret tai jopa suuremmat kuin luonnonvaroissa. (Cossu & Williams 2015, 1.)

Näitä ihmisten ylläpitämiä varastoja kutsutaan ns. antropogeenisiksi varastoiksi (Kuvio 2). Näissä varastoissa taloudellinen hyöty on yhtä tärkeää kuin kiertotaloudessa yleisesti. Alun perin nämä varastot keskittyivät sähkö- ja elektroniikkaromuun, jotka pitävät sisällään suuren määrän metalleja ja alkuaineita. Geologisten kerrostumien, pohjavesivarastojen, kotitalouksien, rakennusten ja teollisuuden tuottamat vuosittaiset materiaalivarastot eivät yleensä muutu paljon ajan myötä, mutta materiaalien virta muuttuu ajasta ja trendeistä riippuen. Materiaalivarastojen ja materiaalivirtojen määrien eroja on vaikea arvioida. Urban mining on konsepti, joka tulisi integroida kiertotalousstrategiaan. (Cossu & Williams 2015, 1.)

Sähkö- ja elektroniikkaromusta voidaan urban mining -konseptia laajentaa myös muihin materiaaleihin. Ruokajätteessä, paperissa, muovissa ja rakennusten purkujätteissä on paljon potentiaalia jatkojalostukseen. Sähkö- ja elektroniikkaromu (WEEE) on kuitenkin keskeinen materiaalivirta, koska se sisältää teollisuuden kannalta kriittisiä materiaaleja. Varsinkin harvinaisia alkuaineita ja jalometalleja, kuten kultaa, hopeaa, indiumia ja neodyymiä voidaan tutkimusten mukaan ottaa talteen materiaalivirroista, (Cossu & Williams 2015, 1.)



Kuvio 2. Raaka-ainetuotanto (Cossu ja Williams, mukailen Pirttinen 2018)

Urban mining on alun perin käsittänyt lähinnä elektroniikkajätteen talteenoton, mutta nykyään sillä voidaan käsittää minkä tahansa jätteen kierrätys ja talteen otto. (Cossu & Williams 2015, 1.) Kaupunkien kasvu yhdessä palvelukeskeisen yhteiskunnan kanssa on lisännyt tarvetta materiaaliresursseille, kuten sementille, teräkselle, alumiinille, kuparille ja harvinaisille maametalleille. Ensisijaisen kaivostoiminnan haasteet, sekä materiaalien hinta, niukkuus ja saavutettavuus ovat luoneet tarpeen toissijaisten materiaalien käytölle. (Arora ym. 2017, 210.)

Toissijaisten materiaalien käytön tarvetta lisää myös kriittisten materiaalien käytön tarpeen kasvu. Harvinaisia maametalleja käytetään laajasti eri teollisuuden aloilla, kuten terveydenhuollossa, puolustuksessa, liikenteessä ja tieto- ja viestintäteknologiassa. Niiden käyttö puhtaana energian teknologioissa (esim. tuuliturbiinit, sähköautot, aurinkopaneelit ja energiatehokkaat valaisimet) on lisääntynyt huomattavasti, ja raaka-aineiden tarve tulee myös kasvamaan tulevaisuudessa. (Gaustad ym. 2021, 1.)

Urban mining -konsepti on laajentunut elektroniikasta myös muihin materiaaleihin. Elektroonikkajätteen kierrätyksellä ja materiaalien talteenotolla on ollut merkittäviä ympäristövaikutuksia. Teknologinen kehitys mahdollistaa myös konseptin käytön muissa materiaaleissa, ja mahdollistaa esimerkiksi materiaalien talteenoton teollisuuden jätteistä. Konseptin laajentamisella muihin materiaaleihin voi olla päästöjen vähentämisen lisäksi myös muita etuja, kuten omavaraisuuden lisääminen ja harvinaisten materiaalin hyödyntäminen. (Gaustad ym. 2021, 1.)

4.2 Urban metabolism - kaupunkiaineenvaihdunta

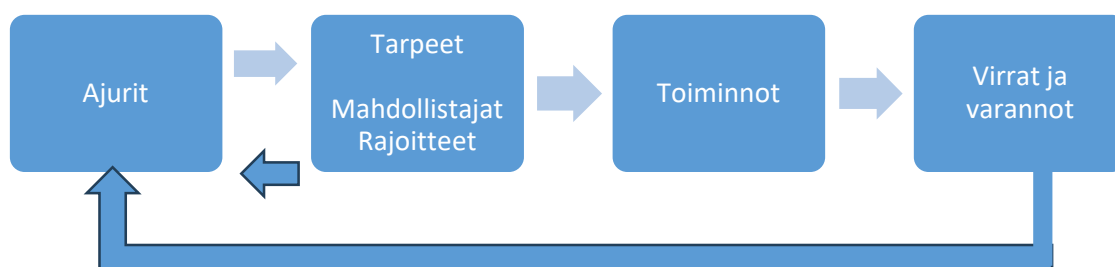
On arvioitu, että vuoteen 2050 mennessä 70 % maailman väestöstä tulee asumaan kaupungeissa. Maailman 27 nopeasti kasvavaa megakaupunkia vastaavat 9 %:sta maailman sähkönkulutuksesta, tuottavat 13 %:ia kiinteästä jätteestä ja majoittavat 7 %:ia maailman väestöstä. Samaan aikaan kaupungit tuottavat huomattavan osan bruttokansantuotteesta. Kaungit kokoavat yhteen tavaroiden, palveluiden, materiaalien ja energian virrat, jotka tukevat miljardien ihmisten elämää. (Brunner ym. 2018, 190.)

Näitä kaupunkien monimuotoisia materiaalivirtoja kutsutaan kaupunkien aineenvaihdunnaksi (urban metabolism, UM). Nykyiset urban metabolism -tutkimukset perustuvat poliittiseen talouteen, biofysikaalisiin tieteisiin, järjestelmäteoriaan ja termodynamiikkaan. Ihmisten toiminnan merkitys osana kaupunkiaineenvaihdunnan tutkimusta on tullut yhä tärkeämmäksi. Jos tulevaisuuden ilmastonmuutokseen ja materiaalin kulutukseen liittyviä ongelmia halutaan ratkaista, pitää ymmärtää paremmin yhteiskuntien, massavirtojen ja energiavirtojen välisiä suhteita. Urban metabolism -lähestymistavat ja mallit voidaan nähdä myös osana alueellisesti painottunutta integroitua maapallon järjestelmän mallinnusta. (Brunner ym. 2018, 190.)

4.3 Kaupunkien aineenvaihdunnan virrat ja varannot

Kaupunkien aineenvaihdunta tarkoittaa kaupunkien läpi kulkevia materiaali-, energia-, ja palveluvirtoja, joita voidaan analysoida vertaamalla kaupunkia ekosysteemiin. Perinteisesti tutkimus perustuu materiaalivirta-analyysiin (MFA). MFA on menetelmä, jolla tutkitaan

materiaali- ja energiavirtoja jonkun järjestelmän, kuten kaupungin läpi. MFA mittaa, kuinka paljon materiaaleja tulee järjestelmään, miten niitä käytetään ja kuinka paljon poistuu jätteenä tai muussa muodossa. MFA ottaa materiaalitasapainoperiaatteen avulla huomioon esimerkiksi polttoaineen polttamisen ja sen muuttumisen hiilidioksidipäästöiksi. Aineiden kertyminen kaupungeissa voi muuttua ajan myötä tuotannon, kulutuksen ja kehityskuvioiden muuttuessa. Kasuvat kaupungit tarvitsevat materiaalia infrastruktuuriin ja voivat kerryttää materiaalia pitkäksi ajaksi. Kaupungeissa, joissa ei ole kasvua, materiaalia ei kerry. Kaupunkien aineenvaihdunta koostuu virroista ja varannoista. Virrat ovat materiaaleja, jotka tulevat järjestelmään ja poistuvat sieltä, varannot taas kertyvät järjestelmään (Kuvio 3). Virtoja ja varantoja voidaan määrittää suhteellisen helposti, kuten energia (MWh), liikenne (ajoneuvoa/h), vesi (l/päivä), pääoma (eurot), ilmansaasteet (ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) tai materiaalit (tonnit). On myös vaikeammin mitattavia aineettomia varantoja, kuten tieto, sosiaalinen pääoma ja kulttuuri. (Brunner ym. 2018, 192.)



Kuvio 3. Kaupunkien aineenvaihdunnan viisi toisiinsa liittyvää osatekijää. (Brunner ym. 2018)

Energia on pääasiassa virtaa, mutta se voi myös hetkellisesti varastoitua järjestelmään tai yksittäisiin toimijoihin. Energiavarannot ovat yleensä pieniä verrattuna virtoihin ja sitä voidaan myös tuottaa kaupunkialueilla. (Brunner ym. 2018, 193.)

Joidenkin varantojen muutokset ovat hyvin nopeita (tieto), kun taas joidenkin varantojen muutokset hyvin hitaita, tällaisia varantoja ovat esimerkiksi rakennukset ja maankäyttö. Virrat ja varannot voivat myös korvata tai täydentää toisiaan, ja usein virrat ovat myös keskinäisessä vuorovaikutuksessa. (Brunner ym. 2018, 193.)

International Community of Industrial Ecologists (ISIE) on kehittänyt tekniikoita kaupunkien resurssien arvioimiseksi urban metabolism -kehystä käyttäen. Näitä ovat:

1. Ekologinen verkostanalyysi
2. Materiaalivirta-analyysi
3. Elinkaarianalyysi
4. Panos-tuotos-analyysi ja
5. Ruoka-vesi-energia-nexus-tutkimus. (Arbabi ym. 2021, 1.)

Vaikka resurssivirtojen seurantaan ja analysointiin on paljon menetelmiä ja kirjallisuutta, ei ole löydetty yhtä suunnitelmaa ratkaisemaan resurssien käytön laatua ja resurssivirtojen kiertoon liittyviä ongelmia kaupunkiympäristöissä. Nykyinen tieto kaupunkien resurssikäyt-
täytymisestä on riittämätöntä, jotta voitaisiin siirtyä kestäväan kulutukseen. Tämä johtuu siitä, että ymmärrys kaupunkien prosesseista on vielä riittämätöntä. Yksi näkökulma voisi olla käyttää avoimen järjestelmän verkosto -lähestymistapaa, jossa ekosysteemiteoriat liitetään kaupunkiverkostoihin. Tämä mahdollistaisi kaupunkien käsittelyn ekosysteeminä. (Arbabi ym. 2021, 1.)

4.3.1 Virtoja ohjaavat toiminnot, mahdollistajat ja rajoitteet

Varantoja ja virtoja ohjaavat erilaiset toiminnot. Toiminnot voivat olla kotitalouteen liittyviä (esim. ruokailu, nukkuminen, siivous tai toisten hoitaminen), taloudellisia (esim. koulutus tai työllisyys), poliittisia, sosiaalisia tai muita toimintoja. Liikkuvuus on itsessään toimintoja, mutta se voi myös liittyä päätöksiin edellisistä toiminnoista. Liikkuvuus voi olla aineellista, kuten materiaalivirtaa tai ihmisten liikkumista, mutta se voi olla myös aineetonta, kuten tiedon, osaamisen, arvojen tai normien liikkumista. (Brunner ym. 2018, 193.)

Toiminnot määrittävät virtoja, osallistuvat varantojen muodostumiseen ja vaikuttavat epä-suorasti ajureihin virtojen ja varantojen kautta. Toiminnot ovat olleet historiallisesti aika- ja paikkasidonnaisia, mutta digitaalisuuden myötä kaupunkiaineenvaihduntaan liittyy myös enemmän paikallista ja ajallista joustavuutta. Hallintaprosessit säätelevät toimintoja, ja myös teknologian kehitys ja väestön kulutustottumukset vaikuttavat kaupunkiaineenvaihdunnan muotoon. Väestön kulutustottumuksiin vaikuttavat kulttuuriset ja sosiaaliset tekijät, taloudelliset tekijät ja ympäristötekijät. (Brunner ym. 2018, 193.)

Toiminnot ja palvelut ovat olemassa täyttääkseen ihmisten tai yhteisöjen tarpeita. Tarpeet muodostuvat usein kulttuuristen arvojen mukaan, joita kutsutaan myös ajureiksi. Media ja markkinointi voivat vaikuttaa siihen, millaisia tarpeita ja arvoja ja ihmisillä on. Kasvava

tarpeiden määrä voi luoda paineita kaupungin aineenvaihdunnan kestävyys. (Brunner ym. 2018 193.)

Toiminnot käynnistyvät tarpeista ja riippuvat siitä, onko niitä mahdollistavia tai rajoittavia tekijöitä. Korkeat kustannukset voivat olla rajoite, kun taas matalat kustannukset voivat olla mahdollistava tekijä. Muita mahdollistavia tai rajoittavia tekijöitä voivat olla teknologia, hallinto, markkinat, tila tai kulttuuri. Sama tekijä voi olla eri tutkimuksessa ajuri, mahdollistaja tai rajoite. Pelkkä rajoitteiden poistaminen ihmisiltä ei riitä, vaan tarvitaan myös ajureita, jotka motivoivat ihmisiä toimimaan. (Brunner ym. 2018, 193.)

4.4 Urban mining -konseptin merkitys kaupungeille

Vihreän siirtymän myötä kriittisten raaka-aineiden ja materiaalien tarve on lisääntynyt. Raaka-aineita tarvitaan tuulivoimaloiden, aurinkopaneelien, akkujen sekä vedyn tuotantjärjestelmien tuotanto- ja varastojärjestelmien valmistamiseen. Metallien ja mineraalien kulutus ja tarve kasvaa huomattavasti globaalin energiamuutoksen myötä. Sähköiseen liikenteeseen siirtyminen vaatii akkuja, polttokennoja ja kevyitä moottoreita autoihin, sähköpyöriin, skoottereihin ja raskaaseen kalustoon. Väestönkasvu, teollistuminen, digitaalisuus ja kehittyvien maiden lisääntyvä kysyntä asettaa painetta raaka-aineiden ja materiaalien saatavuuteen. OECD ennustaa, että raaka-aineiden kysyntä kasvaa vuoteen 2060 mennessä nykyisestä 70 miljardista tonnista 167 miljardiin tonniin. Neitseellinen kaivostoiminta ei ole kestävä tapa kasvattaa materiaalien tuotantoa, vaan sillä on peruuttamattomia sosio-ekonomisia- ja ympäristöseurauksia. (Michielin 2024.)

Euroopan Unioni hyväksyi maaliskuussa 2024 EU:n kriittisiä raaka-aineita koskevan säädöksen (Critical Raw Materials), jonka tarkoituksena on vahvistaa Euroopan Unionin oma-varaisuutta kriittisten materiaalien suhteen. Eurooppa on vahvasti riippuvainen raaka-aineiden tuonnista ja asetuksella on tarkoitus vahvistaa kriittisten materiaalien arvoketjujen kaikkia vaiheita. EU pyrkii vuoteen 2030 mennessä kattamaan 40 % kulutuksesta kotimaisella jalostuksella ja 25 % kulutuksesta tulee kattaa kierrätyksellä. Saatavuuden varmistamisen lisäksi aloitteen tarkoitus on varmistaa ympäristönsuojelun tavoitteet. (European Commission 2024.)

Ihmiset hankkiutuvat yhä nopeammin eroon elektroniikasta ja samalla kaatopaikat täyttyvät sähkö- ja elektroniikkajätteestä. Elektroniikka sisältää sekä arvokkaita materiaaleja että haitallisia aineita. Kaupunkeja voidaan pitää kaupunkikaivoksina, raaka-ainevarastoina, joita voidaan hyödyntää ja samalla luoda uutta arvoa. Kaupunkilouhintaan siirtyminen perinteisen kaivostoiminnan sijaan tarkoittaa luonnonvarojen hyötymisen sijaan siirtymistä ihmisen luomien resurssien hyödyntämiseen. Kaupunkilouhinnassa toissijaisista raaka-aineista

otetaan arvo talteen biologisten, kemiallisten ja fysiologisten menetelmien sekä tekniikan avulla. (Michielin 2024.)

Kaupunkilouhinta voidaan nähdä kiertotalouden työkaluna, jossa on kaksi peruseriaatetta: arvokkaiden materiaalien talteenotto ja syöttö toimitusketjuun sekä jätteiden syntymisestä aiheutuvien ekologisten ja sosiaalisten haittojen vähentäminen kiertotalouden keinoilla. Yksi kaupunkilouhinnan etu on toimitusketjujen varmistaminen. Luonnonvarojen lähteet, kuten kaivokset, sijaitsevat usein syrjäisillä tai geopolitiittisesti epävakailta alueilla. Kaupunkilouhinnan avulla resurssit voidaan hyödyntää lähellä niiden käyttöpaikkaa. Tämä vähentää kuljetuskustannuksia ja lisää omavaraisuutta ja toissijaisten raaka-aineiden käyttö vähentää myös tarvetta käyttää luonnonvaroja ja pidentää niiden käyttöikä. (Michielin 2024.)

Intia mainitaan valtiona, jossa väestön kasvu, nopea kaupungistuminen, teollisuuden ja talouden kasvu ja tulojen nousu aiheuttavat resurssien kulutuksen nopeaa kasvua. (Arora ym. 2017, 211.) Vaikka Intian asukaskohtainen kulutus on pientä, kokonaiskulutus on suuri. Intian materiaalien tarpeen arvioidaan nousevan 25 miljardia tonnia vuoteen 2050 mennessä. Intiasta on tullut maailman kolmanneksi suurin materiaalien kuluttaja. Intiassa kaupunkilouhinta voisi olla erittäin merkittävää kaupunkien hallitsevien jätelajien, kuten elektroniikkajätteen, elinkaarensa päähän tulleiden ajoneuvojen, energiatehokkaiden valolähteiden ja rakennuspurkujätteen suhteen. Kehittyville maille kaupunkilouhinta on sekä haaste että mahdollisuus. Kehittyvissä maissa jätevirtojen käsittelyyn osallistuvat sekä viralliset että epäviralliset toimijat, jätteet eivät välttämättä päädy kaatopaikoille eikä varsinaisia materiaalivarastoja synny. (Arora ym. 2017, 211.)

Aidosti kestävä ja kehittyvä kaupungit eivät erottele jätteitä ja resursseja, vaan hyödyntävät toissijaisia materiaaleja erilaisten innovaatioiden avulla. Yksi Euroopan Unionin kiertotalouden ja kaupunkilouhinnan ajuri on omavaraisuusasteen nousu (European Commission 2024), sen sijaan Intia on hyvin omavarainen ja tuottaa tällä hetkellä suurimman osan materiaalistaan itse. (Arora ym. 2017, 211.)

Intiassa kuitenkin huolenaiheita aiheuttaa mineraalivarastojen sijaitseminen metsissä, tärkeillä valuma-alueilla, biodiversiteetillään rikkailla alueilla ja alkuperäiskansojen asuttamilla alueilla. Kaivostoiminnan laajeneminen aiheuttaa myös konflikteja Intiassa. Kaivostoiminnan ollessa myös paljon energiaa kuluttava ja päästöjä aiheuttava ala, sen lisääntyminen saattaa olla myös ristiriidassa kansainvälisten ilmastopöimusten ja päästötavoitteiden kanssa. (Arora ym. 2017, 211.)

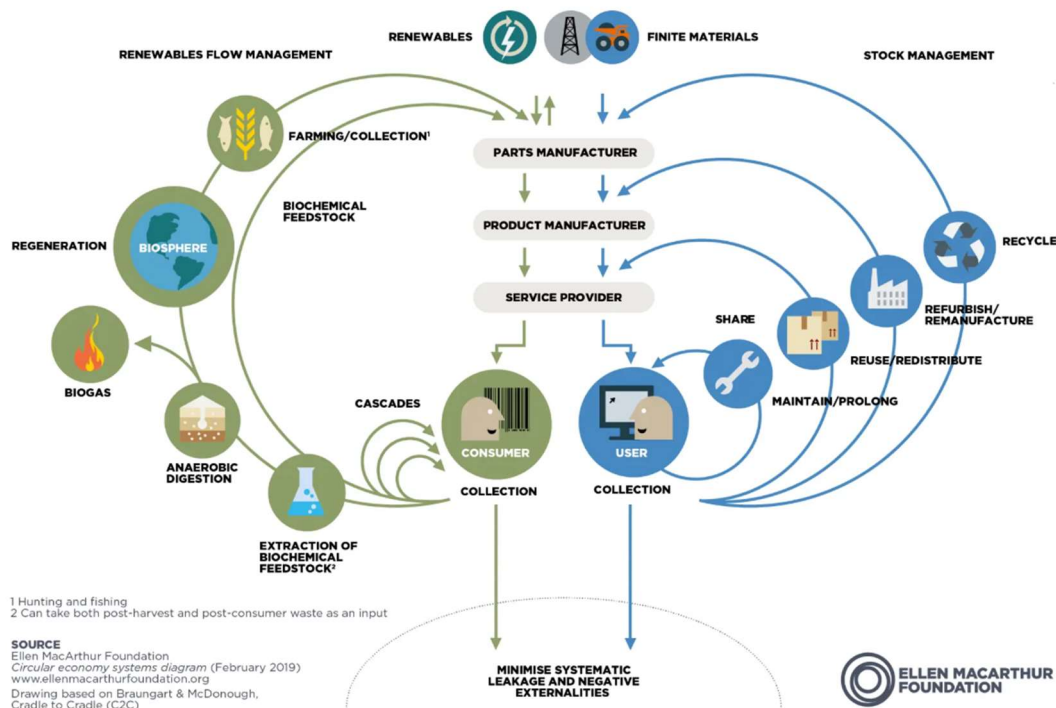
Suurin osa maailman väestöstä asuu kaupunkialueilla ja ne voidaan nähdä materiaalin kulutuksen "vetovoimapisteinä", joissa kulutettu materiaali tuodaan pääosin muualta. Kaupungeissa kulutettujen materiaalien ympäristövaikutukset ulottuvat ympäri maailman. (Barles

2009, 899.) Tutkimusten mukaan kaupunkien aineenvaihdunta tulisi ottaa huomioon poliittisen päätöksenteon ja jätevirtojen suunnittelun lisäksi myös kaupunkisuunnittelussa. Kaupungeissa on todettu olevan materiaalivirtojen lisäksi ns. piilomateriaalivirtoja, jotka vaativat lisää tutkimista. (Barles 2009, 911.)

5 Materiaalit kiertotaloudessa ja urban mining -konseptissa

5.1 Tekninen ja biologinen kierto

Kiertotaloudessa on tarkoitus pitää kaikki materiaali mahdollisimman pitkään ja tehokkaasti talouden käytössä. Kiertotaloudessa yritykset ja organisaatiot voivat toimia useilla tavoilla. Tuotteen korjaamisella ja huoltamisella pyritään mahdollisimman pitkään elinkaareen. Jakamisalustoilla voidaan yhteiskäyttää ja lainata tuotteita, jolloin yksilöiden tarve ostaa vähe- nee. Tuotteita voidaan myös suunnitella uusiutuvasta materiaalista, jolloin tuotteen elinkaaren päässä materiaalit palaavat kiertoon. Tuotannon sivuvirroista voidaan valmistaa uusia tuotteita, jolloin saadaan kaikki tuotannossa syntyvä hukka talteen, ja niistä uusia tuotteita ja taloudellista hyötyä. Kierrätysmateriaalin käyttö on myös yksi tapa tuottaa kiertotalouden mukaisia tuotteita. (Syke 2020.) Perhoskaavio kuvaa materiaalien virtausta kiertotalou- dessa (Kuvio 4). Materiaalit voidaan jakaa teknisiin ja biologisiin materiaaleihin, perhoskaa- vio kuvaa kahta kiertotalouden pääsykliä, teknistä ja biologista kiertoa. (Vrzel 2022.)



Kuvio 4. Tekninen ja biologinen kierto kiertotaloudessa (Ellen MacArthur Foundation 2021.)

5.2 Biologiset materiaalit kiertotaloudessa

Biologisessa kierrossa kiertävät biologiset materiaalit ovat luonnosta peräisin olevia biopoh- jaisia materiaaleja. Bioperäiset materiaalit voidaan palauttaa kiertoon niin että myös niiden sisältämät ravinteet saadaan myös takaisin kiertoon. (Syke 2020.) Biologisia materiaaleja

saadaan metsistä, vesistöistä ja pelloilta, mutta myös tuotannon sivuvirroista. Biotalous on toimiala, jossa toimijat korvaavat fossiilisia raaka-aineita ympäristöystävällisemmällä bioperäisillä tuotteilla. Myös luontomatkailu kuuluu biotalouteen. (Biotalous 2024.)

Biologisessa kierrossa biohajoavat materiaalit palautetaan maahan ja hajotetaan esimerkiksi kompostoinnin ja anaerobisen hajoamisen avulla. Uudistava ajattelu on yksi kiertotalouden periaatteita ja siinä on tarkoitus lisätä luonnon pääomaa eikä käyttää sitä loppuun. Esimerkiksi kiertotalouden ruokajärjestelmässä on tarkoitus palauttaa kaikki ravinteet takaisin maaperään ja kiertokulkuun. Kaskadikäytössä bioperäinen raaka-aine ja sen sivuvirrat käytetään tarkasti, ja raaka-aineet pyritään myös käyttämään uudelleen, niin kauan kun niissä on vielä taloudellista arvoa jäljellä. Polttaminen energiaksi saisi olla vaihtoehto vasta sitten, kun kaikki muut tavat hyödyntää materiaalia on käytetty. Kun biologista materiaalia ei voida enää käyttää, se palaa ravinteina maaperään tai biologisen kierron ulompiin kehiin. Kompostointia on käytetty jo vuosikymmeniä menetelmänä hyödyntää biologisia materiaaleja. Kompostoinnin haitta on hiilidioksidin tuotanto. Anaerobinen hajotus on prosessi, jossa mikro-organismit hajottavat biohajoavat materiaalit tuottaen metaania, joka on biokaasun pääkomponentti. (Vrzel 2022.)

5.3 Tekniset materiaalit kiertotaloudessa

Teknisessä kierrossa ihminen on prosessoinut materiaalit ja raaka-aineet muotoon, jossa niitä ei voida palauttaa kiertoon. Tekniset materiaalit ovat alun perin olleet luonnosta, mutta tuotantoprosessien jälkeen niistä muodostettuja tuotteita on vaikea palauttaa kiertoon. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi metallit tai muovit, jotka alun perin on valmistettu öljystä. Varsinkin elektroniikka ja teknologia sisältää paljon erilaisia materiaaleja, joita on hankala kierrättää. Osa näistä materiaaleista on ns. kriittisiä materiaaleja, eli tulevaisuudessa niistä saattaa olla pulaa. (Syke 2020.) Teknisistä materiaaleista valmistettujen tuotteiden kiertotaloutta olisi ensisijaisesti huoltaa, korjata ja uudistaa tuotetta niin, että sen käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä. Näin tuotteen arvo pysyisi mahdollisimman pitkään talouden käytössä. Kun tuote vihdoinkin tulee elinkaarensa päähän ja sitä ei voi enää korjata, olisi tärkeää saada sen sisältämät arvokkaat materiaalit talteen. Tuote voidaan hajottaa komponentteihin ja hyödyntää niitä kiertotaloudessa. Osat, joita ei voida sellaisenaan hyödyntää, voidaan ottaa talteen materiaaleina. Materiaalin kierrätys on kriittinen osa kiertotaloudessa. Ilman kierrätystä materiaali päättyy jätteeksi, eikä pysy talouden käytössä. (Ellen MacArthur Foundation 2021.)

5.4 Sähkö- ja elektroniikkajäte kiertotaloudessa

Urban mining -käsite on alun perin syntynyt tarpeesta kierrättää ja ottaa talteen elektroniikkajätettä. (Cossu & Williams 2015, 1.) EU:n tavoite on kierrättää 65 % yhdyskuntajätteestä vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi on kehitettävä tehokkaita jätteen keräysmenetelmiä ja innovatiivisia kierrätysteknologioita. Kriittisten metallien maailmanlaajuisen kysyntä kasvaa jatkuvasti, ja se lisää tarvetta kaupunkilouhinnalle. Teknologian nopean kehityksen vuoksi sähkö- ja elektroniikkalaitteet (EEE) on voimakkaimmin kasvava toimialue globaalisti. EEE-tuotteiden monimuotoisuus ja teknologiakehityksen aiheuttama tuotteiden nopea vanhentuminen ovat johtaneet sähkö- ja elektroniikkaromun voimakkaaseen kasvuun. SER eli sähkö- ja elektroniikkaromu koostuu monimutkaisesta yhdistelmästä rauta-, ei-rauta-, muovi-, ja keraamisia metalleja sekä merkittävästä määrästä arvokkaita jalometalleja. On arvioitu, että tehokas kierrätys voisi tuottaa EU:n alueella 2,15 miljardia euroa tuloja vuodessa. EU:n alueen kuluttajätietoisuus elektroniikkaromun kierrätyksestä on korkea. Kuitenkaan tietoisuus ei ole muuttunut kierrätyskäyttämiseksi pienikokoisten elinkaarensa päässä olevien laitteiden osalta, koska nykyinen jätehuoltojärjestelmä ei tue riittävästi pienten laitteiden palauttamista. (Hamuyne ym. 2017, 209.)

Muita haasteita kuluttajatoiminnan lisäksi SER-materiaalien kierrättämisessä on kuljetuskustannukset ja riittävien jalostus- ja sulatuslaitosten puute kaupunkiympäristöjen läheisyydessä. Riittävään keräykseen vaaditaan tietoisuuden, logistiikan ja teknologian lisäksi myös yhteiskunnan kannustimia. (Hamuyne ym. 2017, 217.) Nykyiset liiketoimintamallit eivät myöskään riitä materiaalien uudelleenkäyttöön (Hamuyne ym. 2017, 209).

5.5 Rakennusalan materiaalit kiertotaloudessa

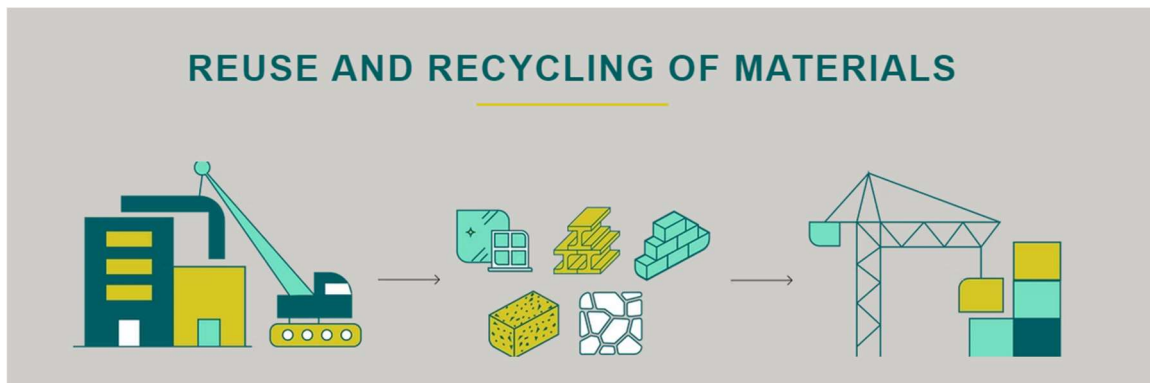
Rakennusala on kiertotalouden näkökulmasta merkittävä, koska se tuottaa 37 % Euroopan jätteistä. (Berlach ym. 2024, 209.) Rakennusosalalla käytettävistä materiaaleista valtaosa käytetään betoniin ja maa- ja vesirakentamiseen. Materiaalit ovat maa- ja kiviaineita, muita rakennusosalalla käytettäviä teknisiä materiaaleja ovat tiili, metalli, puu, lasi ja muovit. (Rakennusteollisuus 2024.) Rakennusosalalla olisi paljon potentiaalia kierrättää teknisiä materiaaleja, mutta se on kaupunkilouhinnan näkökulmasta haastava ala. Rakentamiseen kuuluu paljon muita toimijoita itse rakennusalan yritysten lisäksi, kuten arkkitehdit, kaupunkisuunnittelijat ja poliittiset päättäjät. Rakennusalan teknisten materiaalien kierrätys ja uudelleenkäyttö vaatii rakennusten modulaarista suunnittelua, jolloin rakennuksia voidaan purkaa ja osia hyödyntää uudelleen. Tieto rakennusresursseista ja niiden käytettävyydestä tulisi olla myös avoimesti saatavilla erilaisista tietokannoista, mutta tietosuojan tai kaupallisten syiden vuoksi se on toistaiseksi mahdotonta. (Berlach ym. 2024, 210.)

Rakennusala on merkittävä ala luonnonvarojen kulutuksessa. Jopa 50 % luonnonvaroista käytetään rakentamisessa. Rakennussektori tuottaa globaalisti 30 % jätteistä ja 35 %

kasvihuonepäästöistä. Rakentamisen aiheuttama raaka-aineen kulutus ja maankäyttö vaikuttavat merkittävästi luontoon ja ilmastoon. Kiertotalouden avulla on mahdollisuus vähentää rakennusalan päästöjä ja jätteitä. Rakennusallalla esimerkiksi materiaalien uudelleenkäytöllä voidaan merkittävästi vähentää luonnonvarojen käyttöä. Suomi on myös sitoutunut EU:n jäsenenä hyödyntämään 70 % rakennus- ja purkujätteestä. (Ympäristöministeriö 2024.)

Kiinteistöjen rakentamiseen, peruskorjaukseen ja ylläpitoon käytettävät materiaalit ja energia aiheuttavat noin kolmasosan Suomen hiilipäästöistä. Suomen tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Tämä edellyttää rakennusallalta energiankäytön päästöjen vähentämistä 90 prosentilla sekä rakennusmateriaalien, työmaiden ja kuljetusten päästöjen puolittamista. Siksi vihreä siirtymä on tulevaisuudessa myös rakennusalan liiketoiminnan perusedellytys. (Lean Construction Institute 2025.)

Energiankäytön päästöihin vaikuttavat sähkön ja lämmöntuotannon kehitys, mutta myös rakennusmateriaalien merkitys on huomattava. Yksittäisen rakennuskohteen päästöistä noin puolet syntyy rakennusmateriaalien valmistusketjuista. Talonrakennushankkeissa tulisi jatkossa keskittyä entistä enemmän tuotantoketjujen tehostamiseen, kiertotalousratkaisuihin ja kemikaalien aiheuttamien päästöjen vähentämiseen (Kuva 1). (Lean Construction Institute 2025.)



Kuva 1. Reuse and recycling of materials (CIRCuiT 2024.)

Kuten muillakin tuotteilla, rakennuksella on elinkaari. Rakennusten sisältämät arvokkaat materiaalit – puu, lasi, betoni, metalli ja erilaiset komponentit – päätyvät usein kaatopaikalle, poltettavaksi tai kierrätetään tuotteiksi, joiden taloudellinen arvo on alkuperäistä huomattavasti alhaisempi. (Blok 2024.)

Kaupunkiympäristöissä yleisimmät jättemateriaalit ovat peräisin rakennus- ja purkujätteistä. Euroopan Unionissa purkutyöt, mukaan lukien rakennusten saneeraukset, tuottavat

vuosittain 124 miljoonaa tonnia jätettä. Arvio on, että 71 % puretuista materiaaleista kierrätetään tai käytetään täyttömateriaalina, materiaaleista suurimman osan arvo alenee uudelleenkäytössä (downcycling). (Blok 2024.)

Esimerkiksi merkittävän rakennustuotteen, betonin, prosessi alkaa raaka-aineen hankinnasta. Hiekkaa ja kiviä louhitaan ja ne yhdistetään seokseen, johon lisätään sementtiä. Sementti valmistetaan kalkkikivestä, piihiekasta, savesta ja muista aineksista. Betoniteräksen lisääminen vahvistaa betonia, mutta teräksen tuotanto kuluttaa 20 gigajoulea energiaa tonnia kohde ja aiheuttaa 1,83 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä, sekä myös saastuttaa ilmaa ja vettä rautamalmikaivosten vuoksi. Myös valmistus, kuljetus ja työvoiman käyttö vaativat aikaa ja resursseja, mikä taas lisää kasvihuonekaasupäästöjä ja ympäristövaikutuksia. (Blok 2024.)

Vähähiilisen ja kiertotalouteen perustuvan rakennussektorin tavoitteena onkin säilyttää materiaalien arvo mahdollisimman pitkään erityisesti rakenteissa, jotka on määrä purkaa. Rakennusten huolellinen purkaminen ja uudelleenkäyttö säilyttävät materiaalien arvon ja vähentävät ympäristövaikutuksia. (Blok 2024.)

6 Case-esimerkit - urban mining tutkimuksia ja hankkeita eurooppalaisissa kaupungeissa

6.1 CityLoops

Suomessa on käynnissä paljon rakentamiseen liittyviä kiertotaloushankkeita, pelkästään Uudellamaalla on tällä hetkellä käynnissä 20 Uudenmaan kiertotalouslaaksoon liittyvää hanketta. (Uudenmaan kiertotalouslaakso 2025.) Tässä tutkimuksessa haluttiin tutkia, millaisia hankkeita on ollut viime vuosina käynnissä eurooppalaisissa kaupungeissa. Tutkimukseen valikoitui kolme Euroopan Unionin rahoittamaa Horizon 2020 -ohjelmaan kuuluvaa hanketta, CIRCUIT, CityLoops ja Karma, ja sekä yksi paikallinen hanke.

"CityLoops - Closing the loop for urban material flows" on EU:n Horizon 2020 -projekti, jossa oli mukana 28 yhteistyökumppania ja kuusi Euroopan kaupunkia. Kiertotaloushankkeen tarkoitus oli pyrkiä sulkemaan kaupunkien materiaalivirtoja ja edistää kestävästä kaupunkikehitystä. Tarkoitus oli myös vähentää ympäristövaikutuksia sekä lisätä kiertotalouden liiketoimintaa ja työpaikkoja eurooppalaisiin kaupunkeihin. Projektissa oli mukana kuusi kaupunkia: Apeldoorn, Bodø, Mikkeli, Porto, Sevilla ja Roskilde/Høje-Taastrup. Projekti alkoi vuonna 2019 ja päättyi vuonna 2024. Projektin demonstraatiot liittyivät erityisesti rakentamis- ja purkujätteisiin sekä orgaanisiin aineksiin. (Cityloops 2025.)

Projektin alkuvaiheessa kehitettiin ja otettiin käyttöön erilaisia kiertotalouden skannausmenetelmiä ja indikaattoreita, jotka mukautettiin paikalliseen tietoon ja haasteisiin. Näiden avulla arvioitiin kiertotalouden toteutumista ja mukautettiin toimenpiteitä tarpeen mukaan. Lisäksi projektissa kehitettiin päätöksentekoa tukevia työkaluja, kuten Citylab-paikkatietopohjainen suunnittelutyökalu ja purkuresurssien kartoitustyökalu. Jokaisessa projektikaupungissa perustettiin paikallinen sidosryhmäkumppanuus, joihin kuului kansalaisryhmiä, yritysyhteisöjä ja muita kumppaneita. Sidoryhmät ohjasivat projektien suunnittelua ja toteutusta. Projektissa analysoitiin myös julkisten hankintojen mahdollisuutta tukea kiertotaloustoimenpiteitä. Mukaan valitut kaupungit olivat pieniä tai keskisuuria (50 000–60 000 asukasta), jolloin mahdolliset kehitettävät työkalut olisivat monistettavissa muihin Euroopan kaupunkeihin. (Cityloops 2025.)

Projektissa oli tarkoitus viedä mallien monistettavuutta eri tasoille. Kaupunkitasolla jokainen demonstraatiokaupunki laatisi omat laajennussuunnitelmansa ja alueellisella tasolla perustettaisiin yhteistyöverkostoja muiden kuntien ja sidosryhmien kanssa. Euroopan tasolla perustettaisiin monistamisalueita, jotka laativat monistussuunnitelmia ja laativat ohjeita mallin monistamiseen. (CityLoops 2025.)

6.1.1 Bodø: Uusi lentokenttä / Uusi kaupunki

Bodøn hankkeessa vanha sotilaslentokenttä purettiin ja sen tilalle rakennettiin uusi kaupunginosa (Kuva 2). Toisella alueella rakennettiin uusi lentokenttä. Hanke keskittyi rakentamiseen ja purkujätteen uudelleenkäyttöön ja hyödyntämiseen, ja myös kansalaisten ja sidosryhmien osallistaminen oli tärkeä osa hanketta. Hankkeen toimenpiteitä olivat kiertotalouden hallintaprosessien integrointi kaupungin sotilaslentokentän purkamiseen, kansalaisten osallistaminen kaupunkikehitykseen ja kiertotalousstrategioiden sisällyttäminen uuden kaupunginosan suunnitteluun. Tavoitteena oli vaikuttaa kaupungin mahdollisuuksiin hallita materiaaleja ja massoja Material Mapper -työkalun avulla, mikä myös vähensi jätteen määrää ja lisäsi uusiokäyttöä. (CityLoops 2023, 4-5.)



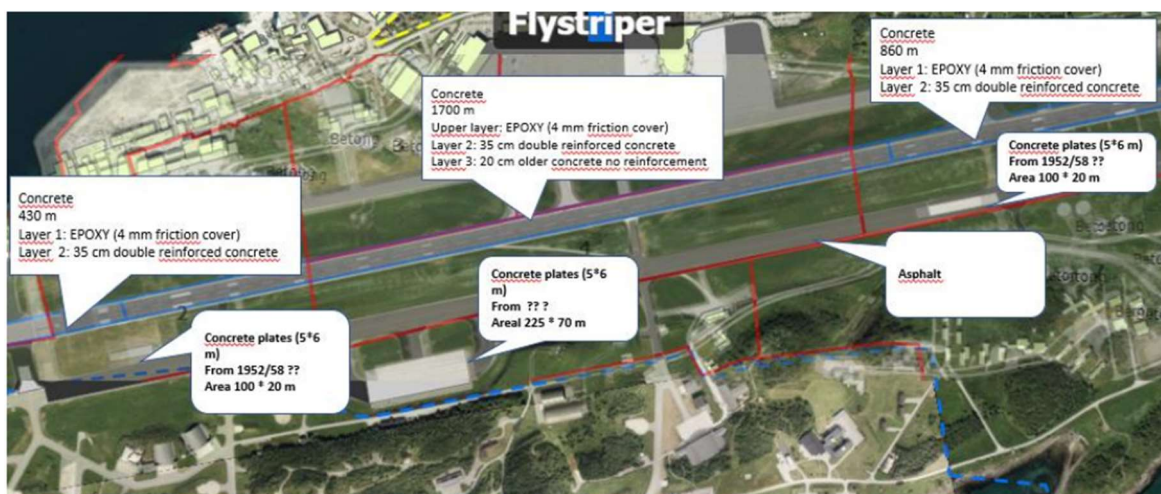
Kuva 2. Demonstraatioalue (CityLoops 2023)

Bodøn pilottitoimenpiteissä käytettiin useita erilaisia työkaluja ja menetelmiä. 3D-tekniologiaa käytettiin materiaalien, maaperän, päästöjen, liikenteen, BIM-mallien ja uudelleen käytettävien rakenteiden visualisointiin. Toimien tukena käytettiin useita CityLoops-työkaluja, kuten 3D-pohjaisia GIS-visualisointityökaluja seurantaan ja suunnitteluun, CityLab (ByLab) -osallistamisalustaa Bodøn kaupungintalolla, elinkaarianalyysijä purku- ja kunnostuskohteissa, valikoivan purkamisen seulontatyökaluja, hyvinvoinnin seurantatyökalua, tietopankkia ja digitaalista markkinapaikkaa kierrätysmateriaaleille, sekä työkalua maaperästä kaivettavien materiaalien ennustamiseen. (CityLoops 2023, 5-6.) Sidosryhmille, kuten yrityksille, yliopistoille, julkiselle sektorille ja asukkaille järjestettiin sidosryhmätilaisuuksia, joissa he pääsivät mukaan hankkeeseen. Sidosryhmiltä kysyttiin, mitä tarvitaan digitaalisen ja fyysisen kierrätysmateriaalien markkinan luomiseksi. Työpajoissa tehtiin mm. huomioita, että kierrätysmateriaaleille on markkinat, mutta markkinoilla on epävarmuutta ja riskien välttelyä, erityisesti hinnoitteluun, materiaalin laatuun ja varmuuteen liittyen. (CityLoops 2023, 9.)

CityLoops-projektissa pyrittiin toteuttamaan kestävä hankintaa, jossa kerättiin tietoja tarjouksista, toteutettiin työpajoja ja kehitettiin uutta hankintastrategiaa. (CityLoops 2023, 82.) Projektissa kehitettiin ja käytettiin myös innovatiivisia teknologioita, kuten saastuneen maaperän hallintapaneelia ja Material Mapper -työkalua (Kuva 3). (CityLoops 2023, 96.) Lisäksi laadittiin massojen käsittelystrategia osana laajempaa ympäristöohjelmaa. (CityLoops 2023, 72.) Kaupungin arkkitehteille ja kaupungin kehittäjille asetettiin suunnittelukilpailun kriteereihin kiertotalousvaatimukset. Kaupungin materiaalit ja massat kartoitettiin ja yhteistyötä luotiin paikallisen jäteyrityksen kanssa kierrätysmateriaalien markkinapaikan kehittämiseksi. (CityLoops 2023, 88.)

Bodøn pilottiprojekteissa testattiin fyysisesti Cityloop-työkaluja, kuten Sjøgatan tiehankkeessa, jossa käsiteltiin 10 000–15 000 tonnia erilaisia massoja. (CityLoops 2023, 7.)

Projekti mahdollisti materiaalien kiertotalouden lisäksi myös sosiaalisten ja taloudellisten tekijöiden huomioon ottamisen. (CityLoops 2023, 75-76.)



Kuva 3. Esimerkki materiaalien kartoittamisesta (Circular CDW in Bodø 2025, 18.)

Bodøn projektin toteutus sisälsi useita demonstraatiovaiheita, jotka liittyivät kaupungin kiertotalouden ja materiaalin kierron parantamiseen lentokentän purkamisen ja uuden kaupunginosan rakennuksen yhteydessä. Ensimmäisessä vaiheessa keskityttiin sotilaslentokentän purkuun ja sen materiaalien hallintaan. Tavoitteena oli minimoida syntyvä jäte, käyttää rakennuksia uudelleen ja integroida kiertotalous kaupungin hankintaprosesseihin. (CityLoops 2023, 15-16.) Tässä vaiheessa kartoitettiin myös betonirakenteet ja arvioitiin noin 173 000 tonnin betonin infrastruktuurin uudelleenkäyttöpotentiaalia eri projekteissa. (CityLoops

2023,17.) Suoja- ja terminaalirakennusten materiaalit analysoitiin tarkasti ja osa elementeistä hyödynnettiin suoraan uusiin tarkoituksiin. (CityLoops 2023, 17.)

Toisessa demonstraatiovaiheessa osallistettiin kansalaisia ja eri sidosryhmiä. Vaihe sisälsi tapahtumia ja työpajoja, joissa paikalliset toimijat kuten yritykset, julkinen sektori ja järjestöt osallistuivat suunnitteluun ja päätöksentekoon. (CityLoops 2023, 41-43.) Sidosryhmiä kuultiin esimerkiksi rakennusmateriaalien ja kestävään maankäyttöön liittyen. Kansalaisille annettiin mahdollisuus osallistua uuden kaupunginosan suunnitteluun ideoimalla kierrätysmateriaaleihin perustuvia ratkaisuja. (CityLoops 2023, 46-47.) Minecraft-haasteessa nuoret suunnittelivat kaupunkia, ja heidän ehdotuksiaan esiteltiin päätöksentekijöille. Haasteessa nuorempi sukupolvi sai kaupunkisuunnittelussa ottaa huomioon kiertotalouteen liittyviä tavoitteita ja ympäristötekijöitä. Paras suunnitelma palkittiin. (CityLoops 2025, 54-55.)

Kolmannessa vaiheessa hyödynnettiin erilaisia teknologioita, kuten 3D-visualisointia ja digitaalista kaupunkimallia. Näitä käytettiin materiaalivirtojen ja päästöjen hallintaan. (CityLoops 2023, 21.) Tiemallinnuksen avulla pyrittiin optimoimaan kuljetusreittejä ja vähentämään päästöjä. Tähän käytettiin mm. Norjan tielaitoksen liikennesensoreita. Massan kuljetusreittejä analysoitiin digitaalisessa kaksosessa, jonka perusteella havainnollistettiin eri reittien päästömääriä. (CityLoops 2023, 33-35.)

Neljäs demonstraatiovaihe keskittyi kaupungin materiaalien ja resurssien markkinapaikkojen kehittämiseen. Tämä vaiheessa kehitettiin digitaalinen materiaalipassi ja perustettiin markkinapaikka, joiden avulla uudelleenkäytettäviä rakennusmateriaaleja voitiin inventoida ja yhdistää uusiin projekteihin. (CityLoops 2023, 110-111.) Purkuhankkeiden materiaaleja analysoitiin ja dokumentoitiin, ja niitä tarjottiin muiden projektien käyttöön. (CityLoops 2023, 36.)

Viidennessä vaiheessa järjestettiin paikallisia ja kansainvälisiä yhteistyötapahtumia. Näihin kuuluivat muun muassa seminaarit ja työpajat, joissa jaettiin kokemuksia kiertotalouden toteuttamisesta muista eurooppalaisista kaupungeista. Paikallisesti perustettiin myös "kompetenssifoorumi", jossa rakennusalan toimijat pohtivat yhdessä kestävästä rakentamisen käytäntöjä. (CityLoops 2023, 46-48.)

6.1.2 Bodø'n projektin tulokset

Bodø'n CityLoops-projektin keskeiset tulokset ja saavutukset liittyivät vahvasti kiertotalouden toimintamallien käyttöönottoon rakennus- ja purkuprosesseissa. (CityLoops 2023, 127.) Projekti vaikutti erityisesti siihen, miten sotilaslentokentän purku ja uuden kaupunginosan rakentaminen suunniteltiin kiertotalousperiaatteiden mukaisesti. (CityLoops 2023, 129.)

Bodøn sotilaslentokentältä saatiin hyödynnettyä merkittäviä määriä rakennusmateriaaleja, erityisesti betonia, joka oli keskeinen materiaali kiertotalouden edistämässä. Kartoitusten ja purkutöiden perusteella murskattu betoni kierrätettiin kahdessa pääskenaariossa: osa käytettiin uuden lentokentän rakentamisessa ja osa siirrettiin paikalliseen betonitehtaaseen uusiokäyttöä varten. Materiaalien käsittelyprosessi ja betonin virrat visualisoitiin digitaalisessa mallissa, mikä auttoi seuraamaan materiaalien uudelleenkäyttöä ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä. (CityLoops 2023, 18-21.)

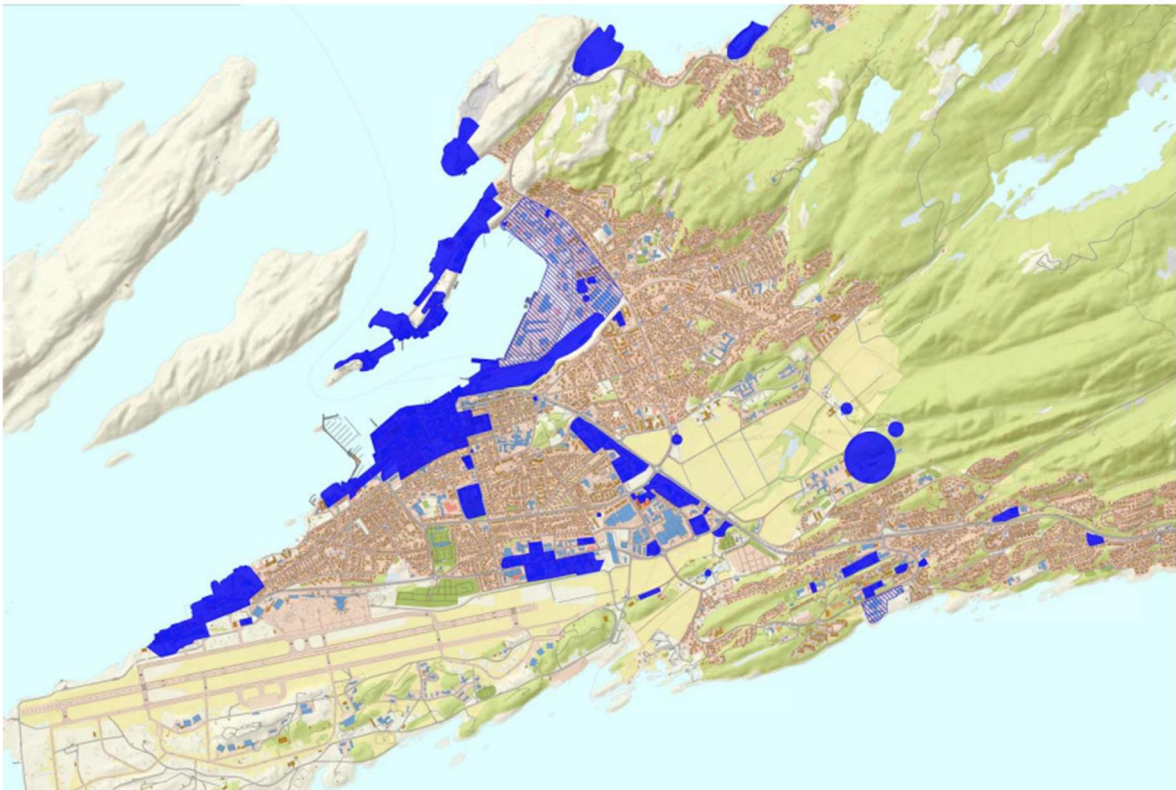
Projektissa kehitettiin ja testattiin erilaisia digitaalisia työkaluja ja prosesseja, kuten esimerkiksi 3D GIS-visualisointityökalu ja kaupungin digitaalinen kaksosen (digital twin). (CityLoops 2023, 26-28.) Materiaalipankkeja ja -passeja käytettiin rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen. (CityLoops 2023, 39-40.) Esimerkiksi rakennuksista ja maaperästä saatiin tarkkaa tietoa, jota voitiin hyödyntää materiaalien kierrätyksessä ja päästöjen vähentämisessä. Tämä mahdollisti konkreettisia parannuksia, kuten jätteen määrän vähentämistä, kierrätysmateriaalien laajempaa hyödyntämistä ja hankintaprosessien kiertotalouskriteerien kehittämistä. (CityLoops 2023, 31-32.)

Sidosryhmien osallistaminen oli hankkeessa keskeisessä roolissa. Kaupunkilaiset, yritykset ja paikalliset toimijat osallistuivat päätöksentekoon työpajoissa. (CityLoops 2023, 42.) Työpajojen ja Minecraft-haasteen avulla kerättiin ideoita uuden kaupunginosan suunnitteluun ja parannettiin kansalaisten tietoisuutta kiertotaloudesta. (CityLoops 2023, 54.) Projekti myös tuki opiskelijayhteistyötä ja tieteellisiä tutkimuksia. Yliopisto-opiskelijat pääsivät vierailemaan lentokentällä ja tutkimaan vanhan terminaalin materiaalien uudelleenkäyttömahdollisuuksia. (CityLoops 2023, 60.)

Bodøn projekti kehitti myös monistettavia ja skaalattavia menetelmiä, jotka ovat sovellettavissa muille kaupungeille. Esimerkiksi sidosryhmien osallistamiseen liittyvää analyysiä voi käyttää tulevaisuudessa vastaavissa projekteissa. (CityLoops 2023, 113-114.) Material Mapper -työkalua voidaan hyödyntää laajasti kiertotalouden edistämässä rakennusalalla. Material Mapper kerää tietoa Bodøn tulevista rakennushankkeista julkisista asiakirjoista, jolloin saadaan jo etukäteen tietoa materiaaleista. Ohjelmisto ennustaa myös jätemääriä ja sisältää digitaalisen markkinapaikan maamassojen ja muiden rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöön. (CityLoops 2023, 39-40.) Digitaalinen kaksonen osoittautui hyödylliseksi suunnittelutyökaluksi, joka mahdollistaa kiertotalouden hallintaa kaupungissa. Hankkeessa opittiin myös digitaalisen kaksosen puutteista ja todettiin että se toimii parhaiten yhdessä tietokannan ja Power BI -ohjelman kanssa. (CityLoops 2023, 40.)

Bodøn projektin suurimpia haasteita oli maaperän hallinta ja kuljetus, koska kaupungin eri osastot käsittelivät sitä eri näkökulmasta ilman yhtenäistä prosessia. Eri tahojen

osallistuminen maa-ainesten hallintaan teki kokonaisuudesta monimutkaisen. Ihanteellisessa tilanteessa maa-ainesta kuljetetaan vain lyhyitä matkoja. Maa-aineksen tarjonta ja käyttötarve eivät kuitenkaan aina kohtaa samanaikaisesti, joten välivarastointia tarvitaan. Bodøssa näitä varastointipaikkoja oli niukasti. (CityLoops 2023, 104-105.) CityLoops-projekti pyrki ratkaisemaan tätä ongelmaa kehittämällä maa-aineksen tiekartan, jossa kuvataan selkeästi eri toimijoiden roolit maa-aineksen hallinnassa. (CityLoops 2023, 104.) Maaperän todettiin myös olevan saastunutta (Kuva 4) ja paikallisia toimijoita jouduttiin käyttämään maaperän puhdistamisessa. Välivarastoinnin järjestäminen osoittautui vaikeammaksi ja kalliimmaksi kuin ennakoitiin. Esimerkiksi Burøyen aluetta Bodøn keskustan lähellä ei voinut käyttää maaperän välivarastointiin. Saastunutta maaperää jouduttiin varastoimaan kaatopaikalle. (CityLoops 2023, 107-108.) Material Mapper osoittautui haasteelliseksi työkaluksi maa-aineksen kierrättämisessä, koska se ei sisällä tarkkoja tietoja maaperän saastuneisuudesta. (CityLoops 2023, 95.)



Kuva 4. Kartta pilaantuneesta maasta Bodøssa. (CityLoops 2023, 94.)

6.2 Mikkeli: Rakennus- ja purkujätteen hyödyntäminen

Mikkelin CityLoops-hanke liittyi kahden julkisen rakennuksen purkuprojektiin. Rakennukset olivat Pankalammen terveyskeskus ja Tuukkalan sairaala, jotka liittyivät projektin ensimmäiseen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa tutkittiin kaupungin päätöksentekoprosesseja ja

politiikkatoimenpiteitä, pyrkimyksenä kehittää hankintoja, sopimuksia ja julkisia purkuprojekteja kiertotalouden mukaiseksi. (CityLoops 2023, 7.)

Pankalammen terveyskeskuksen ja Tuukkalan sairaalan purkuprojektissa testattiin CityLoopsin menetelmiä ja työkaluja. Erityisesti pyrittiin lisäämään rakennusosien uudelleenkäyttöä, vähentämään syntyvän jätteen määrää sekä kehittämään uusia kaupallisia mahdollisuuksia purkumateriaalien hyödyntämiseksi. Lisäksi tavoitteena oli parantaa päätöksenteon ja sidosryhmien välistä vuorovaikutusta kiertotaloutta edistävissä projekteissa. (CityLoops 2023, 7-8.)

Projektissa käytettiin useita uusia työkaluja ja menetelmiä. Digitaalisella markkinapaikalla ostettiin ja myytiin rakennusosia ja 3D-mallinnusta hyödynnettiin työmaiden jätevirtojen seuraamiseen. Rakennusmateriaalien tietopankkia käytettiin tiedon keräämisessä ja analysoinnissa. Ympäristö- ja terveysvaikutuksia, kuten haitallisten aineiden leviämistä, seurattiin tarkasti koko purkuprosessin ajan. Osana projektia kehitettiin uudet purkukartoitus- ja valikoidun purkamisen oppaat. (CityLoops 2023, 7-8.)

Perinteisesti purkutyöt ovat olleet jätemäärien hallintaan ja kierrätyksen perustoimenpiteisiin keskittyneitä, mutta Mikkelin projektissa rakennusosien uudelleenkäyttöä pyrittiin optimoimaan jo purkutöiden suunnitteluvaiheessa. Projektin aikana ilmeni kuitenkin useita esteitä, kuten haitallisten aineiden (esim. asbestin, PAH- ja VOC-yhdisteiden) laajat kartoitustarpeet, jotka hidastivat purkuprosesseja ja kasvattivat kustannuksia. (CityLoops 2023, 8.)

Mikkelin CityLoops-projektin yhteydessä kiertotaloutta haittasivat erityisesti lainsäädännölliset esteet, jotka liittyivät Suomen jätelakiin ja maankäyttö- ja rakennuslakiin. Jätelain mukaisesti purkuprojektin omistajan on laadittava jätelajeista arvio ja suunnitelma niiden käsittelystä. Purkujätteen haltijan on järjestettävä erilliskeräys 11 jätelajille ja jätteet on kierrätettävä mahdollisimman korkealaatuisesti jätteen käsittelyhierarkian mukaisesti. Jätteiden käsittelyt vaatimukset aiheuttivat haasteita erityisesti käytännön toteutuksessa ja projektin kustannusten hallinnassa. (CityLoops 2023, 15-16.)



Kuva 5. Tiilijulkisivun erillinen purkaminen (Raimo Lilja)

Tuukkalan projektissa urakoitsijan ennakkolaskelmat ennustivat, että työmaalla syntyisi yhdeksän erilaista yli 10 tonnin jätemäärää (Kuva 5). Käytännössä kuitenkin vain neljä jätedirektiivin mukaisesti erilliskerättävää jätelajia lajiteltiin työmaalla erikseen. Lisäksi asfalttijäte sekä saastunut betoni- ja tiilijäte lajiteltiin erillään muusta jätteestä. Käytännön työmaatoimintojen ja lainsäädännön asettamien vaatimusten välillä oli merkittäviä eroja, jotka voivat estää optimaalisen kierrätyksen ja materiaalin uudelleenkäytön rakennustyömailla. Asbestin purkumääräksi arvioitiin 10 tonnia, todellinen määrä oli kuitenkin 18 tonnia. (CityLoops 2023, 32-33.)

Mikkelin kaupungilla oli paikallisen yrityksen kanssa sopimus, jonka mukaan kaikki purkujäte piti toimittaa kyseiselle jäteyhtiölle. Tämä rajoitti urakoitsijoiden mahdollisuuksia hyödyntää omia kierrätyspalveluitaan tai etsiä vaihtoehtoisia kierrätysratkaisuja. Tämä käytäntö esti myös joidenkin materiaalien paikallisen uudelleenkäytön, koska niitä ei voitu hyödyntää purkupaikalla. Halvin hinta oli myös ainoa kilpailukriteeri, mikä saattoi haitata materiaalien kierrätyksen laadun toteutumista. (CityLoops 2023, 15-16.)

Vaarallisten aineiden tunnistaminen oli osa purkuprosessia. Demonstraation suunnitteluvaiheessa todettiin, että jos haitta-ainekartoituksessa ei havaittaisi vaarallista jätettä, mutta sitä löytyisikin purkutyön aikana, kustannukset jäisivät asiakkaalle. Mikäli työmailta löytyisi

vaarallista jätettä, tämä aiheuttaisi aikataulumuutoksia ja lisäkustannuksia. (CityLoops 2023, 15-16.)

Projektin tulokset olivat kuitenkin monin osin positiivisia. Kiertotalous tunnistettiin tärkeäksi osaksi Mikkelin kaupungin ilmasto-ohjelmaa, ja kaupunkistrategiaan asetettiin tavoite, että vuoteen 2025 mennessä 25 % kaupungin tarjouspyynnöistä sisältäisi kiertotalouskriteerejä. (CityLoops 2023, 15.) Työmailla toteutettu valikoiva purkaminen onnistui hyvin. (CityLoops 2023, 46.) Purkutyömaiden lajitteluprosentti nousi yli 99 prosenttiin, ja rakennus- ja purkujätteen kierrätysaste nousi kaupungissa jopa 11 prosenttiyksikköä vuosien 2019 ja 2021 välillä. (CityLoops 2023, 46.)

Yksi suurimmista haasteista oli kuitenkin materiaalien uudelleenkäytön järjestelmällisyys ja kaupallinen toteutettavuus. Esimerkiksi kohteiden tavoitteena ollut 5 %:n uudelleenkäyttö ei toteutunut, koska sopivia käyttökohteita ei ollut valmiina. Uusi hankintaopas kehitettiin tukemaan kiertotaloutta ja kannustamaan laadukkaampien kierrätysratkaisujen hyödyntämiseen. Yksi ehdotuksista oli purkukartoitusten tekeminen kaikille yli 250 m²:n purkukohteille. (CityLoops 2023, 46, 76.)

Näiden lainsäädännöllisten esteiden vuoksi kiertotalouden periaatteiden täysimääräinen toteuttaminen oli hankalaa. Mikkelin CityLoops-projektissa pyrittiin kuitenkin tunnistamaan mahdollisia lainsäädännön ja käytäntöjen parannuksia, jotta tulevaisuudessa kiertotaloutta edistävät toimenpiteet olisivat sujuvampia ja vaikuttavampia. Projektin tuloksena tunnustettiin myös kaksi toteutettavaa liiketoimintamallia: erillinen kevyen purkamisen palvelu ja betonimurskeen kierrätys betonituotannon raaka-aineeksi. (CityLoops 2023, 15, 46.)

6.3 PUMA (Prospecting the Urban Mines of Amsterdam)

PUMA (Prospecting the Urban Mines of Amsterdam) on tutkimus- ja kehityshanke, jonka tavoitteena oli kartoittaa Amsterdamin alueen rakennuksissa olevat metallit ja mahdollistaa niiden hyödyntäminen kiertotaloudessa. PUMA on Leidenin yliopiston, TU Delftin (teknillinen yliopisto), Waag Societyn (tutkimuslaitos) ja Metabolicin (kiertotalousyritys) muodostaman konsortion kehittämä hanke, joka oli käynnissä vuosina 2016–2019. Nimi PUMA tulee projektin keskeisestä tavoitteesta kartoittaa ja hyödyntää kaupunkien metallivarantoja. PUMA tarkoittaa menetelmää, jolla arvioidaan rakennuksissa olevien metallien määrää ja laatua Amsterdamin alueella. Hankkeen tavoitteena oli luoda geologinen kartta, joka näyttää, missä metallia on ja kuinka paljon sitä voidaan kierrättää uudelleen. (Metabolic 2019, 4.)

Amsterdamia pidetään kaupunkina, joka edustaa hyvin tyypillistä kaupunkiympäristöä. Siellä on paljon ihmisiä ja rakennuksia pienellä alueella. PUMA-projektissa kehitettyä

menetelmää (viitekehystä) pidetään pilottina eli kokeiluna, jonka onnistumisen jälkeen sitä voidaan käyttää myös muissa kaupungeissa. PUMA-projekti käytti niin sanottua "alhaalta ylöspäin" -arviointitapaa. Mallissa kerättiin tietoa rakennusten metallirakenteista ja niiden sisältämistä metallimääristä. Näitä tietoja yhdistämällä saadaan kokonaiskuva metallien varastoista kaupungissa. (Metabolic 2019.)

PUMA-viitekehys keskittyi tutkimaan erityisesti terästä, kuparia, alumiinia ja sinkkiä. Näitä metalleja löytyy paljon asuinrakennuksista. Viitekehys perustuu tiettyihin oletuksiin, kuten siihen, kuinka paljon metalleja rakennuksissa todella on, kuinka helposti tietoja voidaan kerätä ja kuinka tarkkoja käytetyt mittarit ovat. Metabolic-yrityksen rooli hankkeessa on ollut testata PUMA-viitekehystä tekemällä tarkastuksia rakennuksissa ja antaa suosituksia, miten viitekehystä voidaan parantaa, jotta metallimäärien arviointi olisi tarkempaa ja tehokkaampaa. (Metabolic 2019, 5.)

6.3.1 PUMA-viitekehys

PUMA-viitekehyksessä tarkastellaan yksittäisiä asuinhuoneistoja, jotka muodostavat yhdessä asuinrakennuksia. Jokaisessa huoneistossa on tietty määrä metalleja, kuten terästä, kuparia, alumiinia ja sinkkiä. Nämä metallimäärät arvioidaan alhaalta ylöspäin etenevällä menetelmällä, jossa ensin tutkitaan huoneistoja ja sen perusteella arvioidaan koko rakennuksen metallipitoisuudet. (Metabolic 2019, 5.)

Laskelmien perusyksikkönä on standardihuoneisto, jonka oletetaan sisältävän tietyn määrän metallia. Metallimäärät mukautetaan rakennuksen korkeuden ja pinta-alan mukaan. Rakennuksen korkeus ja pinta-ala määritetään käyttämällä Amsterdamin kaupungin interaktiivisia karttoja ja osoitetietoja, jotka löytyvät kaupungin geotietopalveluista. Osoitetietojen perusteella saadaan tietoa siitä, kuinka suuri rakennus on ja kuinka monta kerrosta siinä on. (Metabolic 2019, 6.)

Kun nämä tiedot yhdistetään, rakennus voidaan luokitella tiettyyn kategoriaan, joka kuvaa siinä olevien metallien määrää. Metallimäärien arvioinnissa käytetään vähimmäis- ja enimmäisarvoja, jotka kertovat, kuinka paljon kutakin metallia huoneistossa on. Lopulta huoneistot jaetaan yhdeksään eri luokkaan (A–I), jotka kuvaavat eritasoisia metallipitoisuuksia. Huoneiston pinta-alan mukaan jaetuissa luokissa otetaan huomioon esimerkiksi huoneistojen koosta riippuvaisen kuparin määrä (johdot ja putket). (Metabolic 2019, 6.)

PUMA-viitekehys antaa arvion siitä, kuinka paljon kierrätettävää metallia rakennuksessa on, ja tämä auttaa suunnittelemaan materiaalien kierrätystä. PUMA-viitekehysten käyttö perustuu taustaoletuksiin ja niiden tarkentamiseen ja laajentamiseen. Rakenteisiin, laitteisiin ja taustajärjestelmiin liittyvä oletukset voivat osoittautua epätarkoiksi. Urban mining-

malleihin liittyvä tutkimuskirjallisuus on osoittanut, että todellinen tilanne voi poiketa taustaoletuksista. Tämän vuoksi kenttävarmistus on tärkeä osa PUMA-kehiksen arviointiprosessia. (Metabolic 2019, 6.)

Tarkastuskäynneillä kysyttiin lisäkysymyksiä, kuten:

- Vaihteleeiko teräksen ja kuparin määrä suuremmissa rakenteissa verrattuna menetelmässä ehdotettuihin huoneistoluokkiin?
- Ovatko sinkin ja alumiinin määrät suhteessa pinta-alaan ja korkeuteen?
- Onko julkisivuissa ja katoissa merkittäviä määriä metalleja?
- Ovatko aiemmat saneeraukset vaikuttaneet rakennuksen metallipitoisuuteen?
- Mitä materiaaleja käytetään ikkunoissa ja kehyksissä?
- Onko kantavia rakenteita tehty muista materiaaleista kuin teräsvahvistetusta betonista?
- Käytetäänkö keskuslämmityksen ja pattereiden lisäksi muita lämmitysjärjestelmiä?
- Esiintyykö merkittäviä määriä muita metalleja, kuin terästä, kuparia, alumiinia ja sinkkiä?
- Vaikuttaako rakennustyyppi metallipitoisuuteen? (Metabolic 2019, 7.)

Amsterdamin hankkeessa tehtiin tarkastuskäynnit kuuteen huoneistoon, jotka edustavat erilaisia rakennusvuosia, rakennusten korkeuksia ja pinta-aloja (Kuva 6). Rakennuksen rakennusvuosi on merkittävä tekijä, koska se vaikuttaa mahdollisiin saneerauksiin, käytettyihin materiaaleihin ja järjestelmiin. Asunnot valikoitiin asukkaista, jotka olivat halukkaita osallistumaan tutkimukseen. (Metabolic 2019, 7.)



VOETBALSTRAAT 87



NICOLAAS WITSENKADE 12A

Kuva 6. Amsterdamin PUMA-kohteita. (Metabolic 2019, 13.)

Tarkastuskäyntien ja PUMA-viitekehysten oletuksista tehtyjen havaintojen perusteella tehtiin jotain johtopäätöksiä. Yksi tärkeistä havainnoista oli, että viitekehysten oletukset eivät vastanneet oletuksia. Vanhemmissa rakennuksissa ei ollut kantavina rakenteina teräsvahvistettua betonia, vaan oli käytetty tiiltä. Ilman kaasuliitäntää olevissa rakennuksissa kuparin määrä jäi vähäiseksi, kun taas lattialämmitys lisäsi kuparin määrää. Alumiininjulkisivut taas lisäsivät alumiinin määrää rakennuksissa. Yksi johtopäätös myös oli, että tarkat metalliarviot edellyttävät päivitettyä viitekehystä, jossa otetaan huomioon rakennusten erilaiset rakenteelliset ominaisuudet, kuten ikä, rakennustyyppi ja modernit teknologiset ratkaisut (esim. kaasuttomat rakennukset ja lattialämmitys). (Metabolic 2019, 16.)

Useista kohteista löydettiin saneerauksia, jotka lisäsivät metallipitoisuuksia. Esimerkiksi seinien poistaminen, lämmitysjärjestelmien poistaminen tai keittiön siirtäminen vaikuttivat merkittävästi metallien määrään. Uudemmat rakennukset taas oli suunniteltu kaasuttomiksi, mikä taas vähensi metallien määrää. Uusimmissa rakennuksissa metallien määrään vaikutti oleellisesti uudet rakennusteknologiat. (Metabolic 2019, 16.)

Tutkimuksessa todettiin, että yleisesti ottaen useimmat oletukset todettiin päteviksi. Joitain oletuksia ei voitu todentaa, koska kattotiloihin ei ollut pääsyä. Erityisesti oli haasteita analysoida ennen vuotta 1900 rakennettujen rakennusten rakenteiden metallipitoisuuksia, ja todettiin että näistä rakennuksista tulisi olla tietokannassa rakennusvuosi. Asunnon koko vaikutti suunnitteluun ja sitä kautta myös metallipitoisuuksiin. Uusista rakennuksista ei löytynyt riittävästi tietoja. Paremmiin kohdennetut ja yksityiskohtaisemmat keruumenetelmät voisivat lisätä arvioiden tarkkuutta. (Metabolic 2019.)

6.4 CIRCuiT-projekti

CIRCuiT – Circular Construction in Regenerative Cities oli osa Euroopan rahoittamaa Horizon 2020 hanketta. Projektissa oli mukana 31 kumppania rakennetun ympäristön koko toimitusketjusta, Kööpenhaminasta, Hampurista, Helsingin seudulta ja Lontoolta. Projektin aikana kehitettiin 36 eri demonstraatiokohdetta, joiden tarkoituksena oli lisätä kiertotalouden mukaisia toimenpiteitä ja vähentää päästöjä. (CIRCuiT 2022, 7.) Tässä kappaleessa on avattu kaikkien neljän CIRCuiT-kohteen demonstraatioita.

Hankkeessa oli tarkoitus myös kehittää purkukartoituksen prosessia kumppanikaupungeissa. CIRCuiT-hankkeen puitteissa kumppanit tekivät markkinaselvityksiä ja järjestivät alueellisia työpajoja tunnistaakseen tarpeet kierrätysmateriaaleille ja kehittääkseen materiaalinkiertoon liittyviä toimintamalleja. Tulokset osoittivat, että uudelleenkäytettyjen ja kierätettyjen materiaalien käyttäjät tarvitsevat yksityiskohtaista tuotetietoa rakennushankkeisiin, kun taas purkujätteistä raportoidaan ihan liian vähän tietoa. (CIRCuiT 2022, 11.)

6.4.1 Vantaa ja Helsingin seutu

Toukokuussa 2021, ennen Vantaan ja Helsingin seudun demonstraatiota, järjestettiin verkotyöpaja projektin sidosryhmien kanssa. Työpajan lopputuloksena todettiin, että purkumateriaalien uudelleenkäyttö vaatii selkeämpiä hankintaprosessia, varhaista suunnittelua ja materiaalien huolellista dokumentointia. (CIRCuiT 2022, 27.)

Helsingin seudun demonstraatiokohteiksi valittiin kaksi Vantaan kaupungin omistamaa koulua: Vantaankosken koulu ja Hevoshaan koulu. Kohteet edustavat tyypillisiä suomalaisia koulurakennuksia. Vantaankosken koulun vanhempi osa on rakennettu 1955, ja on siksi myös historiallisesti merkittävä. Koulut valittiin kohteiksi, koska niiden rakenteissa käytetty paljon tiiliä, joista osa voidaan käyttää uudelleen tai kierrättää. (CIRCuiT 2022, 38.)

Tiili todettiin myös käyttökelpoisemmaksi materiaaliksi uudelleenkäyttöön kuin betonilaatat, joita rakennuksista löytyi myös paljon. Molemmissa kouluissa suoritettiin purkukartoitus, jonka suoritti ulkopuolinen konsulttiyritys. Tarkoituksena oli arvioida purkumateriaalien kierätettävyyttä ja uudelleenkäyttömahdollisuuksia. Demonstraatiossa keskityttiin erityisesti tiilien uudelleen käyttöön, koska ympäristön kannalta uudelleenkäyttö on kierrätystä parempi vaihtoehto. Tiilien uudelleenkäyttö ei ole vakiintunut tapa Suomessa, joten haluttiin myös lisätä tietoa ja käytännön kokemusta tiilen uudelleenkäytöstä. (CIRCuiT 202, 38.)

Purkutyöt aloitettiin kesällä 2019 ja tiilien ohella syntyi myös muuta purkumateriaalia, kuten betonia, eristemateriaaleja, puuta ja metalleja. Koulun kiireellisen purkuajataulun vuoksi tiilille ei löytynyt sopivaa käyttökohdetta purkutyön aikana, joten niiden varastointi osoittautui

haasteeksi. Niiden sijoituskohteeksi tuli lopulta vuonna 2021 ulkovarasto Vantaalla. Samassa varastossa säilytettiin myös Suomen kansallisteatterin tiiliä toisesta purkuprojektista. Tiilien uudelleenkäyttökohteeksi löytyi lopulta vantaalaisen koulun ulkovarasto, johon käytettiin Suomen kansallisteatterin vanhoja tiiliä. (CIRCuiT 2022, 39.)

Tiilien uudelleenkäyttö on vakiintunutta liiketoimintaa esimerkiksi Tanskassa. Kansallisteatterin tiilet lajiteltiin visuaalisesti ja testattiin laboratoriossa. Tiilien ominaisuuksista testattiin veden imeytymistä, alkuperäistä imeytymisnopeutta, pakkasenkestävyyttä ja puristuslujuutta. (CIRCuiT 2022, 40.)

Demonstraatiossa ilmeni useita tiilien uudelleenkäyttöön liittyviä haasteita. Tiilien irrottaminen ja puhdistaminen oli työlästä ja aikaa vievää. Tämä lisäksi purkukustannuksia verrattiin perinteiseen purkutapaan, jossa tiilet murskataan ja käytetään materiaalina. Todettiin myös, että ontelotiilien pakkasenkestävyys säilyy heikosti käytön aikana, mikä aiheuttaa Suomen ilmasto-olosuhteissa haasteita uudelleenkäytölle (kuva 7). Tiilien käyttökohteen puuttuminen myös osoittautui ongelmaksi ja lisäsi myös kustannuksia, koska tiiliä jouduttiin varastoimaan ennen uudelleenkäyttöä. Demonstraation lopputuloksia oli, että purkukartoitus tulee tehdä riittävän ajoissa, jotta materiaaleille voidaan löytää uusi käyttötarkoitus. Tiilien käytöstä opittiin, että pitkään säilytettyjä tiiliä ei välttämättä voi käyttää uudelleen ilman mitään käsittelyä. Tiilien uudelleenkäytössä tärkeää on oikea aikaisuus ja oikea varastointitapa. Markkinat ja purkumateriaalien kysyntä myös kasvaa hitaasti ja markkinoilta puuttuu vielä sopivia kanavia purkumateriaalien välitykseen. (CIRCuiT 2022, 73-75.)



Kuva 7. Pakkaskestävyys-testatut tiilet (CIRCuiT 2022.)

6.4.2 Hampuri

Hampurissa demonstraatiokohteiksi valittiin kaksi tyypillistä purkurakennusta, joissa testattiin betonin ja muiden rakennusmateriaalien kierrätystä. Ensimmäinen kohde oli vuonna 1965 rakennettu kaksikerroksinen toimistorakennus ja toinen kaksikerroksinen teollisuusrakennus, joka toimi aiemmin autokorjaamona (Kuva 8). Molemmat rakennukset olivat pääosin betonirakenteisia, ja niiden valinta perustui tavoitteeseen edistää betonin kierrätystä ja selvittää sen soveltuvuutta uusiokäyttötarkoituksiin. (CIRCuiT 2022, 46.)

Hampurissa tuotettiin vuonna 2018 yli miljoona kuutiota valmisbetonia. Purkutoimista päätyi yli 600 000 kuutiota betonia, tiiliä sekä betonin ja keramiikan seosta rakennus- ja purkujätteen käsittelylaitoksiin. Hampurin kaupunkiklusterin tavoite oli parantaa näiden materiaalien kiertoa arvioimalla mahdollisuuksia kierrättää sekalaista rakennuspurkujäteainesta betonin tuotannon täyteaineena. Hampurissa ei ole neitseellisistä luonnonvaroista valmistetulle betonille kilpailevaa kierrätysbetoniteollisuutta. (CIRCuiT 2022, 47.)

Purkutyöt toteutettiin vaiheittain. Ensin tehtiin vuonna 2019 purkukartoitus, sen jälkeen itse purkutyö vuonna 2020 ja lopuksi purkujätteen käsittely. Purkutyö analysoitiin vuosina 2021–2022. (CIRCuiT 2022, 46.) Purkutöiden jälkeen analysoitiin eri materiaalien

kierrätyspotentiaalia ja etsittiin keinoja niiden hyödyntämiseen rakennusalalla. (CIRCuiT 2022, 82.) Tutkimuksen tavoitteena oli testata rakennus- ja purkujätteen kierrätysmahdollisuuksia sekä tunnistaa haasteita betonijätteen hyödyntämisessä. (CIRCuiT 2022, 47.) Purkutöiden jälkeen havaittiin, että suurin yksittäinen jätevirta oli sekoitettu rakennus- ja purkujäte, jota perinteisesti käytetään maanrakennuksessa ja maan täytössä. Materiaalin käyttö maanrakentamisessa ei kuitenkaan ole käyttöarvoltaan paras vaihtoehto, ja tarkoitus oli löytää tapoja hyödyntää betonia niin, että siitä saadaan korkeampi arvo. (CIRCuiT 2022, 47.)

Purkutöiden aikana ilmeni useita haasteita, jotka vaikuttivat kierrätettävien materiaalien hyödyntämiseen. Materiaalin erottelu oli vaikeaa, sillä betonin sisältämä laasti, pöly, kipsi ja kovettumaton sementti vaikeuttivat sen uudelleenkäyttöä. Kierrätysmateriaalin tasainen laatu ja standardien puute estivät sen laajamittaisen hyödyntämisen uusien rakennusmateriaalien tuotannossa. Lisäksi varastointiin ja logistiikkaan liittyvät ongelmat vaikeuttivat kierrätettävän materiaalin käsittelyä, koska väliaikaisia varastointitiloja ei ollut riittävästi. Kiviaineksen uudelleenkäytön todettiin olevan kannattavaa vain lyhyillä etäisyyksillä. (CIRCuiT 2022, 84.) Lainsäädäntö ja kannustimien puute puolestaan hidastivat kierrätetyn betonin käyttöönottoa. (CIRCuiT 2022, 100-101.)

Demonstraation johtopäätöksiä oli, että sekoitetun rakennusjätteen erottelua ja puhdistusta on parannettava, jotta betoni voisi korvata neitseellisiä materiaaleja uusissa betonituotteissa. Hampurin kaupunki aikoo edistää kierrätysbetonin käyttöä rakennushankkeissaan ja kehittää politiikkatoimia materiaalien eroteltavuuden ja uudelleenkäytön parantamiseksi. (CIRCuiT 2022, 101.)

Hampurin demonstraatiossa saatiin paljon tietoa sidosryhmäyhteistyöstä ja työpajoista. Työpajojen tavoitteena oli tiivistää paikallista tietoa kierrätettyjen ja uudelleen käytettyjen materiaalien markkinatarjonnasta ja kysynnästä Hampurissa. Kaksi sidosryhmätyöpajaa järjestettiin elokuussa 2021, joissa keskityttiin rakennusmateriaalien kiertotalouteen ja erityisesti betonijätteen korkeakierrätykseen. Tilaisuuksiin osallistui Hampurin kaupungin ympäristö- ja rakennusviranomaisia, purkuyrityksiä, kierrätysyrityksiä, rakennusmateriaalien valmistajia sekä konsulttiyrityksiä sekä tutkimuslaitoksia. Etelä-Saksassa todettiin olevan pieni vakiintunut kierrätysbetonimarkkina. (CIRCuiT 2022, 30-31.)

Demonstraation aikana opittiin, että kierrätetyn betonin hyödyntäminen uusissa rakennusmateriaaleissa vaatii parempaa lajittelua ja materiaalien laadunvarmistusta. Demonstraatiossa korostui purkukartoituksen merkitys materiaalikierron edistämässä ja materiaalin kierron arvon nostamisessa. Teknologian ja ajanpuutteen vuoksi komponentteja ja materiaaleja ei hyödynnetty täysimääräisesti. (CIRCuiT 2022, 84.) Lisäksi havaittiin, että julkisten

rakennushankkeiden tulisi sisältää selkeitä tavoitteita kierrätysmateriaalien käytölle. (CIRCulT 2022, 101.) Varastointitiloja ja logistiikkaratkaisuja tulisi myös parantaa, jotta kierrätysmateriaaleja voidaan hyödyntää tehokkaasti. Kierrätettyjen materiaalien laadunvarmistus todettiin hankalaksi, verrattuna neitseellisiin materiaaleihin. Kierrätetyn materiaalin laatu koettiin haasteelliseksi, esimerkiksi sääolosuhteiden, homeen, tuholaisten tai vandalismin vuoksi. (CIRCulT 2022, 31.) Demonstraatiossa käytettiin useita työkaluja ja menetelmiä. Betonijätteen ja kierrätysmateriaalin arvioinnissa käytettiin CIRCulT-purkukartoitustyökalua. (CIRCulT 2022, 81.)



Kuva 8. Demonstraatio 1 Luruper Hauptstr. 156-160 ja Demonstraatio 2 Offakamp 9

Työpajoissa tuli myös esille, että lainsäädäntö on vanhentunut ja sitä tulisi uudistaa kiertotaloutta tukevaksi. Myös halukkuus kiertotalouteen tai siihen liittyvän tiedon puute estää materiaalien kierrätystä. Päteviä purkajia todettiin myös olevan liian vähän ja purkuajakautia liian nopeita, jotta voitaisiin suunnitella purkamista huolellisesti. Sidosryhmillä ei ollut luottamusta kierrätysmateriaalien tarjontaan tulevaisuudessa. (CIRCulT 2022, 30-31.)

6.4.3 Kööpenhamina

Kööpenhaminan demonstraatiossa keskityttiin valikoivaan purkamiseen, jossa testattiin puisten kattorakenteiden, tiilien, teräspaneelien ja kattotiilien talteenottoa ja uudelleenkäyttöä. Demonstraatio toteutettiin neljässä kohteessa, kahdessa koulussa, yhdessä sosiaalisessa asuinkiinteistössä ja yhdessä kierrätyskeskuksen rakennusprojektissa. Kööpenhaminan ensimmäinen kohde oli Gladsaxe School, joka oli rakennettu vuosina 1937 ja 1967. Projektissa tavoiteltiin suljettua kiertoprosessia, jossa rakennusmateriaaleja käytettäisiin uudelleen saman alueen päiväkotirakennuksessa. Hankkeessa oli mukana Gladsaxen kunta, purkuyritys, konsulttiyritys, rakennusyhtiö ja arkkitehtitoimisto. Projektissa purettiin valikoidusti rakennuksen eri osia ja kierrätettiin mm. puuta, teräspaneeleita, tiiliä ja

kattotiiliä. Rakenteiden purkamiseen kiinnitettiin erityistä huomioita, jotta elementit säilyisivät ehjinä uudelleenkäyttöä varten. (CIRCuiT 2022, 41.)

Toinen kohde oli Hjylteberg School Kööpenhaminassa. Koulu oli rakennettu vuonna 1957, ja sen purkamisessa sovellettiin CIRCuiT-hankkeen purkukartoitusmallia. Purettuja materiaaleja pyrittiin hyödyntämään uuden Damsusengens Schoolin rakentamisessa ja historialliset ja kulttuuriset elementit pyrittiin siirtää osaksi uutta rakennusta. Kohteessa oli viisi erillistä rakennusta, joista suurin osa oli tarkoitettu purkaa ja käyttää materiaalit uudelleen. Rakennusten päämateriaaleja olivat tiilet, lattialaatat, betonirakenteet, kattorakenteiden puuosat ja koulun irtaimisto, joka voitiin ottaa suoraan uudelleen käyttöön. (CIRCuiT 2022, 42-43.)

Kolmas kohde oli Jacob Michaelsens Minne, joka ei varsinaisesti ollut purkukohde, vaan haluttiin simuloida rakennuksen purkua, jotta voitaisiin selvittää rakennusta purkaessa mahdollisia kierrätettäviä osia ja rakenteita. Projektissa haluttiin testata CIRCuiT-purkukartoitustyökalua asuinrakennuksessa. Simuloinnin avulla arvioitiin mahdollisia uusiokäytön tuomia hiilidioksidipäästövähennyksiä verrattuna uusiin materiaaleihin. Projektissa tutkimus tehtiin ns. kirjoituspöytä tutkimuksena, jossa inventoitiin erilaisia purkumateriaaleja. Tutkimuksen mukaan puisten ovien käyttö tuotti 80 % päästövähennyksen, tiilet 78 % vähennyksen ja lämpöikkunat jopa 98 % vähennyksen verrattuna uusiin tuotteisiin. Lisäksi kohteessa tutkittiin PCB:n vaikutuksia rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöön, sillä Tanskassa on EU-säädösten mukaisesti tarkat säädökset kierrätettyjen materiaalien käytön mahdollisista terveysriskeistä. (CIRCuiT 2022, 43-44.)

Neljäs kohde oli The Stack -rakennus, jonka rakentamisesta vastasi Arkitema. Projekti toteutettiin Horsensin kierrätyskeskuksessa ja tavoitteena oli rakentaa kiertotalouden periaatteiden mukainen esimerkkikohde. Rakennuksen oli tarkoitus toimia kohtaamispaikkana kierrätetyille materiaaleille. Rakennus rakennettiin pääasiassa purkukohteista kerätyillä ja kierrätyskeskuksesta saatavilla rakennusmateriaaleilla. Projektin tavoitteena oli demonstroida kierrätettyjen materiaalien taloudellista ja teknistä käyttökelpoisuutta uudisrakentamisessa. Projektissa painotettiin erityisesti liimapuupalkkien ja betonielementtien uudelleenkäyttöä kantavina rakenteina (Kuva 9). Projektin aikana havaittiin, että kierrätysmateriaalien käyttö vaatii tarkkaa etukäteissuunnittelua ja monialaisen suunnittelutiimin osallistumista. Projektin aikatauluun toi erityisesti epävarmuutta materiaalien hankinnan haasteellisuus, koska niiden saatavuus vaihteli huomattavasti. (CIRCuiT 2022, 45-46.)

Projektissa todettiin myös, että kierrätysrivustojen kautta saadut tiedot materiaaleista olivat epä johdonmukaisia, sillä oli vaikea ennustaa, millaista materiaalia on saatavilla ja millaista laatua materiaalit ovat. (CIRCuiT 2022, 45-46.)



Kuva 9 Kantavat betonirakenteet uudelleenkäyttöön (CIRCuiT 2022.)

Kööpenhaminassa tunnustettiin erityisesti sidosryhmäyhteistyön merkitys purkuprojekteissa. Purkukartoitus ja valikoiva purkaminen olivat tärkeitä, mutta yhtä tärkeänä pidettiin materiaalien laadullisia tietoja. Materiaalien uudelleenkäytössä tarvitaan enemmän laadullisia tietoja, kuten tiilien puristuslujuus, puun vetolujuus ja muita materiaalien ominaisuuksia. Projekteissa tulisi myös ottaa koko arvoketjun sidosryhmät mukaan keskusteluun materiaalien uudelleenkäytön mahdollisuuksista sekä mahdollisista materiaalin ostajista ja käyttäjistä. (CIRCuiT 2022, 78-79.)

Kööpenhaminan projektissa tunnistettiin useita tärkeitä tekijöitä materiaalin kierrätyksen mahdollistamiseen. Keskeisin oli kumppanuus rakennusalan toimijoiden välillä, koska tarvitaan tiedon jakamista eri toimijoiden kesken. Tunnistettiin myös tarve mukauttaa nykyisiä työkaluja kiertotalouteen sopivaksi, esimerkiksi hiilidioksidin parametrien sisällyttäminen työkaluihin, jolloin voitaisiin sisällyttää vähähiilisyys hankintakriteeriksi hinnan rinnalle. Tarvitaan myös uudenlaisia yhteistyömuotoja, kuten purkutoimijan sisällyttäminen suunnittelu-prosessiin tai arkkitehdin osallistuminen purkukartoitukseen. Materiaalia on myös hyvä testata mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta materiaalin uudelleenkäyttöön sisältyvät riskit olisivat mahdollisimman pienet. Tiedon saatavuus ja läpinäkyvyys voisivat lisätä kiertotalouden mahdollisuuksia. Sidosryhmillä on jo nyt kiinnostusta purkumateriaaleihin, ja on jo olemassa alustoja, joissa kauppaa voidaan käydä. Kysynnän ja tarjonnan tulisi kohdata, jotta uudelleen käyttö toteutuu ja tarvitaan myös standardisoituja dokumentointimenetelmiä purkumateriaaleihin. (CIRCuiT 2022, 29-30.)

6.4.4 Lontoo

Lontoon CIRCuiT-projektissa oli kolme eri demonstraatioita, joissa kaikissa oli tavoitteena kehittää rakennusmateriaalien kiertotaloutta ja uudelleenkäyttöä. Kaksi ensimmäistä demonstraatiota keskittyivät rakennusten purkuun ja materiaalien hallintaan ja kolmas puumateriaalien uusiokäyttöön liimapuupalkkien valmistuksessa. Aikataulullisesti projektin purkukartoitukset aloitettiin vuonna 2019, purkutyöt tapahtuivat vuosina 2020–2021 ja

materiaalien analyysi ja testaus jatkuivat vuoteen 2022 saakka. Mukana oli myös sidosryhmäyhteistyötä ja kolmannessa vaiheessa toteutettiin kyselyjä, haastatteluja ja työpajoja, joissa oli mukana purku- ja kierrätysalan yrityksiä, rakennusmateriaalien valmistajia, arkkitehtejä ja suunnittelijoita, rakennuttajia ja sijoittajia. Projektissa käytettiin CIRCuIT-purkukartoitusmallia, materiaalivirta-analyysiä ja erilaisia kierrätyskokeita. (CIRCuIT 2022, 47.)

Ensimmäinen kohde oli Hounslow:n kaupunginosassa sijaitseva teräsrunkoinen teollisuusrakennus. Rakennuksen suunnittelussa oli jo alun perin huomioitu rakenteiden joustavuus eri käyttötarkoituksiin. Tämän tyyppiset rakennukset ovat yleistyneet Lontoossa ja muualla Iso-Britanniassa, joten kohteen avulla haluttiin selvittää, miten rakenteita voisi purkaa ja käyttää uudelleen osina. Tarkoitus oli tutkia teräsrakenteiden uudelleenkäyttämahdollisuuksia joko purkamalla rakennus ja siirtämällä se toiseen paikkaan tai myymällä teräspalkit ja muut elementit uusiokäyttöön. (CIRCuIT 2022, 47.)

Demonstraatiossa haluttiin ensisijaisesti siirtää rakennus, mutta se ei ollut mahdollista, koska sopivaa vastaanottajaa ei löytynyt. Purkuprojektissa keskityttiin siirtämisen sijaan yksittäisten elementtien kierrätykseen. (CIRCuIT 2022, 48.) Teräspalkkien osalta haasteeksi tuli logistiikka ja varastointi, rakennusosien säilytys ja siirtäminen vaativat myös huomattavia resursseja. Joitakin osia myytiin kierrätysyrityksille, mutta suurin osa materiaalista päätyi kuitenkin sulatettavaksi ja käytettäväksi uudelleen terästuotannossa. (CIRCuIT 2022, 86.)

Toinen demonstraatiokohde oli kymmenen kerroksinen toimistorakennus Lontoon keskustassa. 1980-luvulla rakennettu toimistorakennus sisälsi myös kaksi kellarikerrosta. Rakennus sijaitsi arvokkaalla alueella ja siihen haluttiin rakentaa lisää kerrosalaa (kuva 10). Rakennustekniset seikat kuitenkin estivät uusien kerrosten rakentamisen vanhojen päälle, joten rakennus päätettiin purkaa. Purkamisen yhteydessä tarkasteltiin, kuinka paljon materiaaleja voitaisiin hyödyntää uudelleen. (CIRCuIT 2022, 47.) Kohteessa päämateriaalina oli betonielementtirunko, raudoitetut betonilaatat sekä tiili- ja lohkoseinät. Suurimmat purkujätteet olivat betoni, tiilet, laatat ja keraamiset materiaalit. Kierrätystulokset osoittivat, että 40 % ei-vaarallisesta purkujätteestä voitiin uudelleen käyttää ja loput 60 % kierrätettiin. (CIRCuIT 2022, 48.)

Lontoon projektin toimistorakennuksessa käytettiin purkumenetelmää, jossa 2800 m³ betonia murskattiin paikan päällä ja käytettiin täyttömateriaalina ennen paalutustöiden aloitusta. (CIRCuIT 2022, 85.) Demonstraatiossa tunnistettiin useita erilaisia haasteita ja kehittämiskohteita. Alihankkijat korostivat, että suurten materiaalien säilytys työmaalla on haastavaa. Metallikomponentit olivat mitoiltaan räätälöityjä, joten niiden hyödyntäminen uudessa kohteessa oli vaikeaa, eikä vastaanottajaa löytynyt. (CIRCuIT 2022, 86-87)



Kuva 10. Lontoo Demonstraatio 1: Varastorakennus Hounslow, demonstraatio 2: Toimistorakennus Lontoossa (CIRCuiT 2022)

Kolmas kohde keskittyi puumateriaalien uudelleenkäyttöön ja oli materiaalien upcycling-projekti eli materiaalien nosto arvoketjussa. Hankkeessa tutkittiin, miten purkutyömailta kerättyä puuta voitaisiin hyödyntää toissijaisena materiaalina liimapuupalkkien valmistuksessa ja miten se voisi toimia rakennusmateriaalina uusissa rakennuksissa. (CIRCuiT 2022, 47.) Projekti ei liittynyt kahteen muuhun purkuprojektiin, vaan materiaalia saatiin muilta työmailta. (CIRCuiT 2022, 49.) Toissijaisen puutavaran hankinta purkutyömailta aiheutti haasteita. Purettujen materiaalien kilpailevat tarjoukset olivat usein hinnaltaan alhaisempia. Purkamista ei kannata tehdä, ellei käyttökohde ole valmiina, ja myös väliaikaista varastointia saatetaan tarvita. Toissijaisten materiaalien käyttö saattaisi säästää kierrätys- ja kaatopaikkakustannuksia, mutta rajoitteita liittyi erityisesti materiaalien laatuun, varastointiin ja purkuaikaan. (CIRCuiT 2022, 89-90.)

Yleisesti Lontoon kohteiden haastatteluissa ja työpajoissa ilmeni, että monet toimijat eivät erottaneet kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Betonin murskaamista täyteaineeksi saatettiin pitää uudelleenkäyttönä, vaikka teknisesti se on kierrätystä. Lontoon tapauksissa todettiin myös, että alihankkijoiden olisi hyvä toimia purkukohteen lähellä, koska työmaat ovat ahkaita ja materiaalien varastointi voi olla hankalaa ja lisätä kustannuksia. (CIRCuiT 2022, 33) Lainsäädännön ja politiikan rooli nähtiin tärkeänä: Lontoon kaupunki julkaisi 2021 uuden kaavasuunnitelman, jossa rakennushankkeiden tulee tehdä kiertotalouslausunto osana lupaprosessia. Lausunnoissa tulee esittää suunnitelma purkumateriaalien uudelleenkäytöstä. (CIRCuiT 2022, 25-26.)

6.5 Karma

Karma on rakennusalan kiertotaloushanke, jota Euroopan Unioni on ollut mukana rahoittamassa. Hankkeessa on kumppaneita Saksasta, Belgiasta, Unkarista, Italiasta ja

Romanista. Karman tavoitteena on ollut kehittää politiikkaan työkaluja, jotka tukevat kiertotaloutta rakentamisessa, edistävät resurssitehokkuutta, rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöä, kierrätystä ja jatkojalostusta, sekä tarjota ohjeistusta päättäjille, rakennusalan ammattilaisille ja sidosryhmille. (Interreg Europe 2025.)

6.5.1 Korbach, Saksa

Yksi Karman hankekohteista on Korbachissa, Saksassa sijaitseva kohde, jossa oli tarkoitus peruskorjata ja uudistaa vanhaa kaupungintaloa. Hankkeessa purettiin 1970-luvulla rakennettu laajennusosa ja käytettiin osa vanhan osan betonista ja savitiillistä uuden osan rakentamisessa. Samalla arkkitehtien haluttiin luovan uusi osa vanhoja kattorakenteita hyödyntäen, niin että se sulautuisi hyvin kaupunkikuvaan (Kuva 11). Rakennustyöt aloitettiin vuonna 2019 ja uusi osa valmistui vuonna 2022. (Interreg Europe 2025.)

Projektissa tehtiin ensin kohteen inventointi ja sen jälkeen suunniteltiin purku- ja jätehuolto-konsepti. Ennen varsinaista purkamista tehtiin testejä, joissa arvioitiin mineraaliperäisten materiaalien soveltuvuus kierrätysbetonin tuotantoon. Projektin haasteita oli saada materiaalit kierrätettyä paikallisesti niin, että kustannukset ja päästöt pysyisivät kohtuullisina. Materiaalien hankintaprosessissa käytettiin urban mining -periaatetta, jossa purkumateriaalien hyödyntäminen olisi keskiössä. Mineraaliperäisten materiaalien kierrätyksen lisäksi hankkeessa huomioitiin purettavuus ja uudelleenkäytettävyys. Hankkeessa otettiin talteen yhteensä 9848 tonnia mineraalimateriaaleja, joista 6006 (61 %) tonnia voitiin käyttää uudelleen uudessa rakennuksessa. (Interreg Europe 2025.)

Suunnittelussa oli mukana urban mining -konseptiin erikoistunut arkkitehti, Hessenin osavaltio oli mukana rahoittamassa hankkeen lisäkustannuksia. Vanhan rakennuksen purkumateriaalista 60 % käytettiin uudelleen uudessa rakennuksessa. Rakennuksen julkisivuun käytettiin vanhan rakennuksen savitiilipurkumateriaalia. Noin 15 % purkubetonista voitiin kierrättää korkealaatuisena rakennusbetonina. (Interreg Europe 2025.)



Kuva 11. Korbach, vanha osa ja havainnekuva (Architekten- und Stadt-planer-kammer Hessen 2025)

7 Yhteenveto ja tulokset

7.1 Kohteiden vertailu

Projekti	Kohde ja tavoite	Mitä saavutettiin tai opittiin	Haasteet	Piloteissa toistuvia teemoja	Ominaispiirteet
CityLoops, Bodø	Sotilaslentokentän purku, materiaalien hyödyntäminen uudessa kaupunginosassa	Suurten betonimäärien uudeen käyttö, digitaalinen materiaalipankki	Maaperän hallinta ja kuljetus, maaperän varastointi, pilaantunut maa	Osallistaminen, digitaalisuus, verkostoyhteistyö	Suuri purkuhanke, kansalaisten laaja osallistaminen (nuoret) digitaaliset välineet, digitaalinen kaksonen
CityLoops, Mikkelä	Kaksi julkista purkukohdetta, jossa tehostettiin lajittelua ja tutkittiin purkumateriaalien hyödyntämistä	Purkukartoitusoppaan kehittäminen, valikoivan purkamisen opas, kiertotalous osaksi Mikkelin kaupungin ilmasto-ohjelmaa	Haitallisten yhdisteiden kartoitus, puutteellinen lajittelu, sopimusten rajoitukset	Verkostoyhteistyö, digitaalisuus, purkukartoituksen tärkeys	Puutteet lajittelussa tiukasta lainsäädännöstä huolimatta
PUMA, Amsterdam	Metallivarantojen kartoittaminen asuintalojen huoneistoista	Tarkennukset PUMA-viitekehityksen kehittämiseen	Rakennusteknisten ominaisuuksien vuoksi viitekehitykset eivät vastanneet odotuksia	Osallistaminen, verkostoyhteistyö	Muista poiketen purkuhankkeen sijaan viitekehityksen kehittäminen
CIRCulT, Helsinki ja Vantaa	Kahden koulun purkaminen ja materiaalien uudelleenkäyttö	Tiilien ominaisuudet uudelleenkäyttömateriaalina	Jatkosijoituspaikan puute, tiilet eivät kestäneen säilytystä (pakkaneen), kustannukset	Verkostoyhteistyö, purkukartoituksen tärkeys	Purkuhankkeessa tiilien uudelleenkäyttökokeilu
CIRCulT, Hampuri	Kaksi purkukohdetta, betonin kierrätys ja uudelleen käyttö	Ymmärrys politiikkatoimien tärkeydestä	Materiaalin laatu, lainsäädäntö ja standardit estivät kierrätyksen	Verkostoyhteistyö, digitaalisuus, purkukartoituksen tärkeys	Betonin uudelleenkäytön haasteet
CIRCulT, Kööpenhamina	Neljä kohdetta (kaksi purkukohdetta, simulaatio ja rakennusprojekti kierrätysmateriaaleista)	Markkinoiden kehittäminen, logistiikan ja varastoinnin kehittäminen, sidosryhmäyhteistyön merkitys	Aikataulujen ja budjetin epävarmuus, logistiikka ja säilytys	Verkostoyhteistyö, purkukartoituksen tärkeys	Historialliset ja kulttuuriset elementit, rakentaminen kierrätysmateriaaleista (liimapuupalkit ja betonielementit)
CIRCulT, Lontoo	Kaksi purkukohdetta (teollisuusrakennus ja toimistorakennus) ja Upcycling-kohde	Lainsäädännön kehittäminen, suunnittelun, purkuteknikoiden ja varastoinnin merkitys	Työmaiden ahtaus, logistiikka, tiedonpuute uudelleenkäytöstä, materiaalien laatu	Verkostoyhteistyö, digitaalisuus, purkukartoituksen tärkeys	Betonirakenteiden säilyttäminen, teräsrakenteiden kierrätys
Korbach, Saksa	Uuden osan rakentaminen vanhaa hyödyntämällä	61 % purkumateriaaleista hyödynnettiin	Materiaalien kierrätys kustannustehokkaasti		Purkumateriaalien kierrätys samassa kohteessa

Taulukko 1. Tutkimuskohteiden ominaisuudet

Hankkeiden demonstraatioissa oli myös jokaisessa omat ominaispiirteensä (Taulukko 1). Bodøn projektissa purettiin suuri kokonaisuus ja rakennettiin uusi kaupunginosa. Kansalaisia ja sidosryhmiä osallistettiin laajasti hankkeeseen. Mikkelin kohteessa materiaalien uudelleenkäytön haasteeksi tulivat haitalliset yhdisteet ja lainsäädäntö, hankkeessa oli myös tarkoitus vähentää jätteen määrää ja lisätä uudelleenkäyttöä, mutta lajittelu ei mennyt suunnitelman mukaan. Amsterdamin PUMA-hanke oli muista poiketen hanke, jossa kartoitettiin asuinrakennusten metallivarantoja ja kehitettiin siihen soveltuvaa viitekehystä. Helsingin seudun projekti keskittyi rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöön, ja siinä tutkittiin erityisesti tiilien uudelleenkäyttöä ja saatiin käytännön kokemusta tiilien varastoinnista. Hampurin kohteessa betonin kovettumisen haasteet haittasivat materiaalin uudelleen käyttöä. Kööpenhaminassa yhdistettiin kaksi purkuprojektia, simulaatio ja rakennushanke, materiaalien uudelleen käytössä haluttiin huomioida myös historialliset ja kulttuuriset näkökulmat. Lontoossa haluttiin siirtää rakennus kokonaisuena, mutta päädyttiin purkamiseen ja pyrittiin kiertämään betoni- ja teräsrakenteita. Korbachissa haluttiin purkaa rakennuksen lisäosa ja rakentaa uusi osa vanhan purkumateriaaleja hyödyntäen, myös kaupunkikuvan suunnittelu huomioon ottaen. Urban mining -konseptissa voidaan käyttää monistettavia malleja ja työkaluja, mutta hankkeen suunnittelussa tulisi aina huomioida projektin erityispiirteet ja tavoitteet.

7.2 Tulokset ja pohdinta

Tutkimuksen kohteena oli kahdeksan kohdetta, joista löytyi yhtäläisyyksiä, mutta myös ominaispiirteitä. Kaikissa purkukohteissa pidettiin tärkeänä purkukartoitusta ja toimien oikeaa ajoitusta. Purettavan kohteen materiaalien tai komponenttien uudelleenkäytön mahdollistamiseksi olisi tärkeää löytää uusi sijoituskohde. Kaikissa purkukohteissa oli myös mukana vahva sidosryhmäyhteistyö ja asukkaiden osallistaminen. Useammassa raportissa todettiin, että materiaalien uudelleenkäyttö ja kiertotalouden toteutuminen vaatii useiden osapuolien mukana oloa; arkkitehtien, suunnittelijoiden, rakennuttajien, purkuyritysten, kiertotalousyritysten ja julkisen sektorin yhteistyötä. Suuremmissa projekteissa kansalaisten osallistaminen suunnitteluun oli tärkeässä roolissa. Erilaisten työpajojen avulla pystyttiin osallistamaan asukkaita, mutta myös lisäämään asukkaiden kiertotaloustietoisuutta. Osallistaminen toteutui myös PUMA-hankkeessa, joka ei ollut purkuprojekti. Kartoitettavat huoneistot valikoitui- vat asunnoista, joiden asukkaat olivat ilmoittautuneet vapaaehtoisiksi hankkeeseen. Vahva sidosryhmäyhteistyö ja kansalaisten osallistaminen oli urban mining -hankkeissa mahdollistaja.

Erityisen tärkeässä roolissa oli digitaalisuus. Osassa hankkeita käytettiin jo olemassa olevia hankkeissa kehitettyjä ohjelmia tai sovelluksia, osassa demonstraatioita vasta pilotoitiin

työkaluja. Digitaalisia välineitä käytettiin 3D-mallinnukseen, materiaalivirtojen seurantaan, elinkaarianalyysihin, valikoivan purkamisen seulontaan, digitaalisina markkinapaikkoina, maaperästä kaivettavien materiaalien ennustamiseen ja kansalaisten osallistamislustoina. Hankkeissa kehitettiin myös oppaita kiertotalouden tueksi, esimerkiksi valikoivan purkamisen opas.

Lähes kaikissa purkukohteissa aikataulut ja kustannukset olivat haaste. Kohde oli suunniteltu siirrettäväksi, mutta sopivaa vastaanottoa ei löytynyt. Materiaalit oli tarkoitus uudelleen käyttää, mutta kohdetta ei löytynyt, joten se päätyi varastoitavaksi ja toi lisäkustannuksia tai materiaali päätyi joko kokonaan tai osittain kierrätettäväksi. Yhdessä tapauksessa materiaali ei kestänyt säilytystä. Myös logistiikka toi kustannuksia, ja todettiin, että alihankkijoiden olisi hyvä sijaita purkukohteen lähellä, jotta pysytään aikataulussa ja kustannukset pysyvät kohtuullisina. Materiaalien hallinta toi myös haasteita, materiaaleja jouduttiin varastoimaan ennen sijoituspaikkaa. Työmaakohteet saatettiin myös todeta liian ahtaiksi purkumateriaalien säilyttämiselle, jolloin välivarastointi oli välttämätöntä. Jos tulevaisuudessa halutaan lisätä materiaalien uudelleenkäyttöä rakennusalalla, kustannustehokkuuden ja säästöjen tulisi ympäristöhyötyjen lisäksi saada merkittävämpi rooli kiertotalouden ajurina.

Erilaiset lainsäädäntöön tai paikallisiin sopimuksiin liittyvät haasteet näkyivät useassa kohteessa. Purkumateriaalien kierrätys koettiin hankalaksi, koska laissa oli tarkat vaatimukset ja standardit rakennusmateriaaleille. Materiaaleja voitiin puhdistaa, mutta siitä tuli kustannuksia. Paikalliset kilpailutussopimukset myös estivät sopivien alirakojen käytön. Lainsäädännön aiheuttamia rajoitteita tulisi poistaa, mikäli tulevaisuudessa halutaan hyödyntää materiaalien uudelleenkäyttöä rakennusalalla.

Toisessa Suomen hankkeessa korostuivat ilmasto-olosuhteet. Mikäli materiaaleille ei ole loppusijoituspaikkaa, ne joudutaan varastoimaan tilapäisesti. Suomen ilmasto-olosuhteet asettavat haasteita materiaalien varastoinnille ja laadun säilymiselle.

Kiertotalous suljettuna kiertona vaatii ekosysteemin, jossa kaikki toimijat hyötyvät toisistaan. Kiertotaloudessa on myös tarkoitus lisätä liiketoimintamahdollisuuksia. Jokaisessa demonstraatioissa projekti perustui useiden eri toimijoiden yhteistyöhön. Urban mining -konseptin keskiössä on toimiminen kaupunkiekosysteemissä, jossa eri toimijat toimivat saumattomasti yhdessä, toisistaan hyötyen. Urban miningin toteuttaminen vaatii tiiviitä paikallisia kierrätys- ja uudelleenkäyttöverkostoja, ja myös toimijoita rakennusprojektien jokaiseen vaiheeseen, kaupunkisuunnittelusta lähtien.

Lainsäädäntö ja politiikka ovat erityisessä roolissa urban miningissa ja kiertotalouden toteutamisessa. Maakohtaisilla säädöksillä, kuten hankintalailla voidaan haitata sujuvaa

kiertotalousekosysteemin toimimista. Kaikkien sidosryhmien tulee myös olla tietoisia lainsäädännöstä ja sitoutua toimimaan lajittelua koskevien lakien mukaisesti. Lainsäädäntö voi haitata myös materiaalien kierrättämistä, mutta kuitenkin materiaalien terveydestä ja turvallisuudesta ei voi tinkiä.

Digitaalisuus on urban mining -konseptin mahdollistaja. Digitaalisilla välineillä voidaan suunnitella, kartoittaa, analysoida ja osallistaa erilaisia sidosryhmiä. Kiertotalous vaatii myös avointa dataa, rakennusten materiaaleihin ja eri alueiden maaperän koostumukseen tulisi olla vapaa pääsy. Useammassa projektissa oli myös tavoitteena luoda monistettavia malleja yleiseen käyttöön. Joissain projekteissa hankkeessa syntyi myös oppaita urban mining -konseptin toteuttamiseen. Demonstraatioiden kohteissa oli kuitenkin jokaisessa prosessiin vaikuttavia ominaispiirteitä, joten yhtä oikeaa mallia ei voida soveltaa, vaan rakennusalan urban mining -projekteissa tulee olla käytössä monipuolinen valikoima erilaisia työkaluja hankkeen menestykselliseen hallintaan. Liiketoiminnan toteutuminen materiaalien uudelleenkäytössä vaatii myös markkinapaikkoja, joissa materiaali vaihtaa omistajaa. Kaupunkiaineenvaihdunnassa voidaan vaikuttaa luonnonvarojen säästämiseen ja saada taloudellisia hyötyjä, mutta sillä voi olla myös sosiaalinen ja kulttuurinen merkitys, kuten historiallisesti merkittävien rakennusten materiaalien säilyttäminen uusissa rakennuksissa.

Lähteet

Arora, K., Baterok, K., Banerjee, A. & Saluja, M.S. 2017. Potential and relevance of urban mining of the context of sustainable cities. IIMB Management Review, Vol29(3), PP. 210-224.

Barles, S. 2009. Urban metabolism of Paris and its regions. Journal of industrial ecology, Vol. 13(6), pp. 898-913

Berlach, C., Lang-Raudaschl, M., Vidal, M. Remixin our cities – current research on circularity in the construction sector. 2024. VLC architectura volume 11 issue 2.

Biotalous. 2024. Viitattu 13.12.2024. Saatavissa: <https://www.biotalous.fi/suomi-kehittaa/biotalous-lyhyesti/>

Blok, M. 2024. From Buildings to Resources: The Role of Urban mining in Circular Cities. Viitattu 14.2.2024. Saatavissa: <https://www.metabolic.nl/news/urban-mining-and-circular-construction/>

Bonifazi, G., Cossu, R, 2013. The Urban mining concept. Waste Management, Vol. 33(3), pp. 497– 498

Brunner, P., Böcker, L., Carreón, J., Davoudi, S., Dijst, M., Geertman, S., Harmsen, R., Helbich, M., Holtslag, A., Kwan, M-P., Lenz, B., Lyons, G., Mokhtarian, P. L., Newman, P, Perrels, A., Ribeiro, A. P., Thomson, G., Urge-Vorsatz, D., Worrell, E., Zeyringer, M. Exploring Urban Metabolism – Towards an interdisciplinary perspective. Resources, Conservation and Recycling. Volume 132, May 2018, P. 190-203. 2018.

CIRCulT. 2022. Viitattu 13.1.2025. Saatavissa: <https://www.circuit-project.eu/post/latest-circuit-reports-and-publications>

Cityloops. Circular CDW in Bodø. Demonstration Report. Bodø Municipality, Norway. 2023. Viitattu 10.2.2025. Saatavissa: https://cityloops.eu/fileadmin/user_upload/D2.9_CDW_Demonstration_Report_for_Bod%C3%B8.pdf

Cityloops. Circular CDW in Mikkeli. Demonstration Report. Mikkeli, Finland. 2024. Viitattu 11.2.2025. Saatavissa: https://cityloops.eu/fileadmin/user_upload/Mikkeli_Demo_Report_CDW_Final.pdf

Cityloops. 2025. Viitattu 10.2.2025. Saatavissa: <https://cityloops.metabolismofcities.org/about/>

Cossu, R. & Williams, I.D. 2015. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. Waste Management, Vol. 45, pp. 1–3

Ellen McArthur Foundation. 2021. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials>

European Commission, 2024. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en

Gaustad, G., Leader, A., Williams, E. Rare earth metals from secondary sources: Review of potential supply from waste and byproducts. Resources, Conservation and Recycling 167. 2021.

Geologinen tutkimuskeskus. 2023. Viitattu 14.2.2025. Saatavilla:

<https://www.gtk.fi/ajankohtaista/raaka-aineet-ja-huoltovarmuus-kohta-on-kiire/>

Hamyuni, J., Hupa, L., Lindberg D., Taskinen P., Tesfaye, F. Improving Urban mining Practises for optimal recovery of resources from e-waste. 2017. Minerals Engineering. 111, 209-211

Interreg Europe. 2025. Viitattu 17.2.2025. Saatavissa:

<https://www.interregeurope.eu/karma#what-will-this-project-change>

Kaihovaara, A., Haila, K., Noro, K., Salminen, V., Härmälä, V., Halme, K., Mikkela, K., Saarnivaara, V-P., H Pekkala, H. (2017) Innovaatioekosysteemit elinkeinoelämän ja tutkimuksen yhteistyön vahvistajina. Viitattu 12.12.2024. Saatavissa:

https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/28_innovaatioe-kosysteemit-elinkeinoelaman-ja-tutkimuksen-yhteistyon-vahvistajina_kuvamuokattu.pdf-f/401dd477-d967-44c2-bd57-a74c0f43f095?version=1.0

Kestävää kasvua kiertotalouden liiketoimintamalleista. Käsikirja Yrityksille. Sitra 2022.

Viitattu 14.2.2025. Saatavissa: [https://www.sitra.fi/wp/wp-](https://www.sitra.fi/wp/wp-content/uploads/2022/02/kestavaa-kasvua-kiertotalouden-liiketoimintamalleista-2-1.pdf)

[content/uploads/2022/02/kestavaa-kasvua-kiertotalouden-liiketoimintamalleista-2-1.pdf](https://www.sitra.fi/wp/wp-content/uploads/2022/02/kestavaa-kasvua-kiertotalouden-liiketoimintamalleista-2-1.pdf)

Kiertotalous-Suomi. 2025. Viitattu 14.2.2025. Saatavissa: <https://kiertotaloussuomi.fi/taito-ja-tyokalut/kiertotalouden-liiketoimintamallit/>

Kiertotalous-Suomi. 2024. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa:

<https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/hyodyt/ekologiset-hyodyt-ymparistohyodyt/>

Lean Construcion Institute – Finland. Viitattu 14.2.2025. Saatavissa: <https://lci.fi/vihreasiirtyma-tulee-olemaan-liiketoiminnan-perusedellytys-rakennusalalla/>

Mapping Resource Effectiveness across urban systems. Arbabi, H., Brockway, P., Mayfield, M., Tan, L., Tingley, D. Nature 2021. Viitattu 9.2.2025. Saatavissa: <https://www.nature.com/articles/s42949-020-00009-3.pdf>

Martinez, S. Circular Economy: A Catalyst for a Just and Green Transformation. Viitattu 10.3.2024. Saatavissa: <https://www.greenecologycoalition.org/assets/reports/GEC-Reports/2024-Sofia-GEC-circular-economy-just-transition-4-FINAL.pdf>

Metsä Group. 2024. Viitattu 13.12.2024. Saatavissa: https://www.metsagroup.com/globalassets/metsa-fibre/attachments/brochures/aanekosken-biotuotetehdas-e-esite_fin-2022-07.pdf

Michielin D. Foresight. 2024. From waste to resource: Rise of Urban mining. Viitattu 11.12.2024. Saatavissa: <https://www.climateforesight.eu/articles/raw-materials-urban-mining/>

Pirttinen, L. 2018. Urban mining osana kaupunkien rakenteiden materiaalien hyötykäyttöä. Viitattu 11.12.2024.

Prospecting the urban mines of Amstredam. Refining the Puma Method based on findings from practise. Metabolic 2019. Viitattu 11.2.2025. Saatavissa: [https://www.metabolic.nl/wp-content/uploads/2019/08/Prospecting the Urban Mines of Amsterdam 15082019.pdf](https://www.metabolic.nl/wp-content/uploads/2019/08/Prospecting_the_Urban_Mines_of_Amsterdam_15082019.pdf)

Rakennusteollisuus. 2024. Viitattu 16.12.2024. Saatavissa: <https://rt.fi/tietoa-alasta/ymparisto-ja-ilmasto/kiertotalous-rakentamisessa/>

Rakennusteollisuus. 2024. Viitattu 17.12. Saatavissa: <https://rt.fi/toimialamme/rakennustuoteteollisuus/rakennusmateriaalit/>

Sitra. 2017. Sitran selvityksiä 117. Kierrolla kärkeen. Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/wp/wp-content/uploads/2017/02/Selvityksia117-3.pdf>

Sitra. 2022. Sitra studies 205. Tackling Root causes. Halting biodiversity loss through circular economy. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/wp/wp-content/uploads/2022/05/sitra-tackling-root-causes-2.pdf>

Syke. 2020. Viitattu 2.12.2024. Kiertotalouden termipankki. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-fi/Tutkimus_kehittaminen/Kiertotalous/Termipankki

Tapaustutkimus. Jyväskylän yliopisto. 2025. Viitattu 17.2.2025. Saatavissa: <https://sites.app.jyu.fi/mehu/fi/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2020. Kiertotalouden ekosysteemit. Viitattu 12.12.2024.

Saatavissa:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162083/TEM_2020_13.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Urban Green-Blue Grids for resilient cities. 2025. Viitattu 18.2.2025. Saatavissa:

<https://urbangreenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden/>

Vrzel, J. 2022. The Circular economy Basics Series – Biological cycle. Circular Innovation

Lab. Viitattu 13.12.2024. Saatavissa: [https://www.circularinnovationlab.com/post/the-](https://www.circularinnovationlab.com/post/the-circular-economy-basics-series-the-biological-cycle)

[circular-economy-basics-series-the-biological-cycle](https://www.circularinnovationlab.com/post/the-circular-economy-basics-series-the-biological-cycle)

Woodpolis. 2024. Viitattu 13.12.2024. Saatavissa: <https://www.woodpolis.fi/>

Woodpolis. Youtube-video. Julkaistu 21.3.2022. Saatavissa:

<https://www.youtube.com/watch?v=AakSnBWpwK4>

Yle. 2017. Viitattu 2.12.2024. Saatavissa <https://yle.fi/a/3-9651020>

Ympäristöministeriö 2024. Viitattu 2.12.2024. Mitä on vihreä siirtymä? Saatavissa:

<https://ym.fi/mita-on-vihrea-siirtyma>

Ympäristöministeriö 2024. Viitattu 2.12.2024. Rakentamisen kiertotalous. Saatavissa:

<https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous>

