

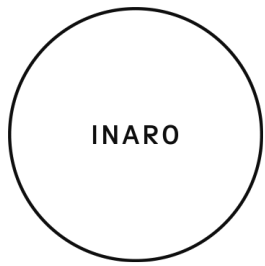
Jätkäsaaren Kiertotalouskortteli

Kiertotalous ja kiertotalouden mukainen
suunnittelu rakennusalalla

Puurakentamisen kiertotalouden ratkaisut -selvityshanke

29.11.2021

Raportti 1



© INARO 2021

Työryhmä

Kirjoittajat

Miia Suomela

arkkitehti, INARO

Antti Lehto

arkkitehti SAFA, INARO, Aalto-yliopisto Arkkitehtuurin laitos

Suunnittelijat

Hanna Mattila

arkkitehti SAFA, INARO

Anni-Mari Anttola

maisema-arkkitehti, INARO

Kannen kuva © Martin Sommerschield, Kuvatoimisto Kuvio Oy

Sisällys

Johdanto	1
1 Rakentamisen kiertotalous	3
1.1 Kiertotalous osana kestävä kehityksen kehikkoa	3
1.2 Kiertotalous rakennusalalla	5
1.2.1 Miksi rakentamisen kiertotaloutta tarvitaan?	5
1.2.2 Kiertotalouden haasteet rakennusalalla	6
2 Rakentamisen kiertotalouden suunnittelu	8
2.1 Kiertotalouden hierarkiat	8
2.2 Rakennuksen osakokonaisuudet kiertotalouden suunnittelussa	9
2.3 Kiertotalouden strateginen suunnittelu	10
3 Kiertotalouden suunnittelustrategiat rakennusalalla	12
3.1 Synteesi ja sen rakentuminen	12
3.2 Suunnitteluratkaisut rakentamisessa	16
3.2.1 Kieltäydy: Uudisrakentamisen välttäminen	16
3.2.2 Karsi: Rakennusosien ja materiaalien optimointi	16
3.2.3 Käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä: Elinkaaren pidentäminen	18
<i>Muuntojoustavuus</i>	18
<i>Ylläpidettävyyys ja purettavuus</i>	20
<i>Materiaalivalinnat</i>	22
3.3 Jakamis- ja kiertotaloutta käytön aikana tukevat suunnitteluratkaisut	23
3.3.1 Karsi: Jakaminen omistamisen sijaan	23
3.3.2 Käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä	24
<i>Tilojen monikäyttöisyys</i>	24
<i>Käyttöään pidentäminen</i>	24
<i>Hukan vähentäminen</i>	24
Lähteet	25

Johdanto

Rakentaminen, kuten muukin ihmisen taloudellinen toiminta, noudattaa tällä hetkellä lineaaritalouden mallia, jossa ehtymättöminä pidettyjä luonnonvaroja käytetään tavalla, joka tekee materiaaleista elinkaarensa lopussa jätettä. Lineaaritalous noudattaa tyypillisesti suoraviivaista reittiä arvonaluomisessa: raaka-aineita kerätään ja niistä tehdään tuotteita, joita käytetään, kunnes ne hävitetään jätteenä (Versnellingshuis Nederland circulair!, 2020). Arvonaluominen perustuu mahdollisimman monen tuotteen tuottamiseen ja myymiseen sekä mahdollisimman korkean myyntikatteen saavuttamiseen. Tämä ohjaa välttämään toimia, jotka lisäävät kustannuksia tuotannossa tai esimerkiksi jätteenkäsittelyssä. Näin asiat, jotka eivät suoraan tuota yritykselle lisäarvoa, kuten ympäristönsuojelu tai ihmisoikeudet, jäävät usein huomioimatta.

Lineaaritalouden vauhdittamana ihmisen muokkaaman materiaalin määrä on ylittänyt elollisen biomassan määrän maapallolla ja tästä määrästä ylivoimaisesti suurin osa muodostuu rakentamiseen käytettävistä materiaaleista (Elhacham, ym., 2020). Samalla Euroopan Unionin alueella rakennus- ja purkujätteen osuus jätevirroista on 70 prosentti (EEA, 2020), joten uudelaistille tavoille käsitellä materiaaleja on suuri tarve. Ratkaisuja kestävämpään luonnonvarojen käyttöön sekä jätteen syntymisen ehkäisyyn toivotaan kiertotaloudesta.

Kiertotalous pyrkii pitämään raaka-aineet kierrossa: neitseellisten raaka-aineiden käyttö minimoidaan, tuotteiden ja niiden osien uudelleenkäyttö maksimoidaan ja elinkaarensa päässä tuotteiden raaka-aineet palautetaan kiertoon uusiksi raaka-aineiksi. Arvonaluominen perustuu siis arvonaluomiseen. (Versnellingshuis Nederland circulair!, 2020.) Kiertotalouden toimintamalleihin kuuluvat jätteen ja hukkan minimointi, jakaminen, kunnostaminen, korjaaminen, uudelleenkäyttö ja kierrätys. Talouskasvu ei kiertotaloudesta perustu luonnonvarojen kulutukseen, koska pyrkimyksenä ei ole tuottaa uutta, vaan hyödyntää vanhaa jo käytössä olevia materiaaleja. (Sjöstedt, 2018.)

Selvitys puurakentamisen kiertotalouden ratkaisuihin

Tämä raportti on osa Jätkäsaaren Kiertotalouskortteli -hanketta. Hankkeessa pyritään selvittämään kiertotalouden ratkaisuja puurakentamisessa ja toteuttamaan niitä käytännössä Jätkäsaareen suunniteltavan asuinkorttelin suunnittelussa ja rakentamisessa. Taustoittavan raportin tavoitteena on ymmärtää, mistä kiertotaloudesta on kyse, miksi se on rakennusallalla tärkeää ja miten sen toteutumista voidaan edistää suunnittelussa. Selvitys keskittyy rakennussuunnitteluun ja rakentamiseen, mutta pihan suunnittelua sivutaan osana kokonaisuutta. Rakennusallalla viitataan tässä selvityksessä rakennuksia ja rakennettuja viherympäristöjä koskevaan kokonaisuuteen. Rakennetut viherympäristöt käsittävät sekä maanvaraisen rakennetun piha-alueen sekä kansirakenteen päällä tai katolla sijaitsevat pihan osat. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta on muodostettu synteisi, joka ohjaa suunnittelijoita arvottamaan suunnitteluvaihtoehtoja ja yhdistelemään eri strategioita parhaan lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Jätkäsaaren Kiertotalouskortteli -hankkeen sisällä tämä ensimmäinen raportti auttaa projektitiimiä asettamaan tavoitteet kiertotalouden edistämiseksi korttelin suunnittelussa sekä ottamaan kiertotalouden huomioon suunnittelun alusta lähtien. Osana hanketta toteutetaan myöhemmin raportti, joka pureutuu puuhun rakennusmateriaalina liittyviin erityiskysymyksiin ja esittelee siihen liittyviä suunnitteluratkaisuja, sekä raportti, jossa esitellään tässä hankkeessa suunnitellut asuinkerrostalot ja niissä tehdyt kiertotalouden mukaiset ja kiertotalouden toteutumista tukevat ratkaisut.

Raportin rakenne

Tämän raportin ensimmäisessä luvussa käsitellään kiertotaloutta yleisellä tasolla osana kestävä kehityksen kehikkoa sekä pohditaan kiertotalouden merkitystä ja mahdollisuuksia rakennusallalla. Rakentamisen kontekstissa pureudutaan myös kiertotalouden kasvun haasteisiin rakennusallalla.

Toisessa luvussa esitellään kolme osa-aluetta, joita voidaan soveltaa rakentamisen kiertotalouden suunnittelussa: kiertotalouden hierarkiat, kiertotalouden suunnittelustrategiat ja rakennuksen jakaminen osakokonaisuuksiin odotetun käyttöiän perusteella.

Kolmannessa luvussa esitetään tämän selvityksen pohjalta syntynyt synteesi, jossa yhdistetään kiertotalouden imperatiivit, muakaelma rakennuksen osakokonaisuuksista ja kiertotalouden mukaiset suunnittelustrategiat suunnittelua ohjaavaksi kokonaisuudeksi.

Kiertotalouteen linkittyviä käsitteitä

Jakamistalous toteuttaa kiertotaloutta edistäessään resurssien viisaampaa käyttöä, lisätessään tuotteiden käyttöastetta sekä vähentäessään neitseellisten raaka-aineiden ja uusien tuotteiden tarvetta. Jakamistaloudessa tärkeämpää on mahdollisuus käyttää tavaroita, palveluita ja muita hyödykkeitä kuin omistaa niitä itse. Jakamistalous mahdollistaa saavutetun elintason ylläpitämisen, kun vaajakäytöllä yksityisomistuksessa olevat hyödykkeet tulevat tehokkaaseen käyttöön yhteisomistuksessa tai jakamistalouden palveluiden avulla. (Sjöstedt, 2018.)

Tuote palveluna -malli tarjoaa vaihtoehtoon tuotokeskeisille liiketoimintamalleille: tuotteiden myynnin maksimoinnin sijaan liiketoiminta perustuu tarjottuun palveluun. Kun tuote myydään asiakkaalle palveluna, yrityksellä on motiivi tehdä tuotteita, joilla on mahdollisimman pitkä käyttöikä ja jotka ovat käytössä mahdollisimman paljon, sekä tuottaa ne mahdollisimman materiaalihyökkäasti ja käyttää tuotteen osia uudelleen niiden elinkaaren lopussa (Michelin, ym., 2017).

Resurssitehokkuus on osa kiertotaloutta, mutta ei sen synonyymi. Resurssitehokkuus on toimintamalli, jossa ympäristökuormitusta vähennetään tuotteiden elinkaaren kaikissa vaiheissa. Tavoitteena on luonnonvarojen loppumisen ehkäisy käyttämällä raaka-aineita optimaalisesti hukkaa ja ympäristövahinkoja välttämällä. Uutta arvoa luodaan pienemmällä materiaalipanoksilla. **Resurssiviisaus** puolestaan on kykyä tarkastella resurssien käyttöä kokonaisvaltaisesti koko yhteiskunnan tasolla ja käyttää resursseja (luonnonvarat, raaka-aineet, energia, tuotteet ja palvelut, tilat ja aika) kestäväällä ja hyvinvointia edistävällä tavalla. Resurssiviisas toiminta pyrkii kokonaisuuden kannalta parhaaseen lopputulokseen, kun resurssitehokkuus saattaa johtaa osa-optimoointiin. (Sjöstedt, 2018.)

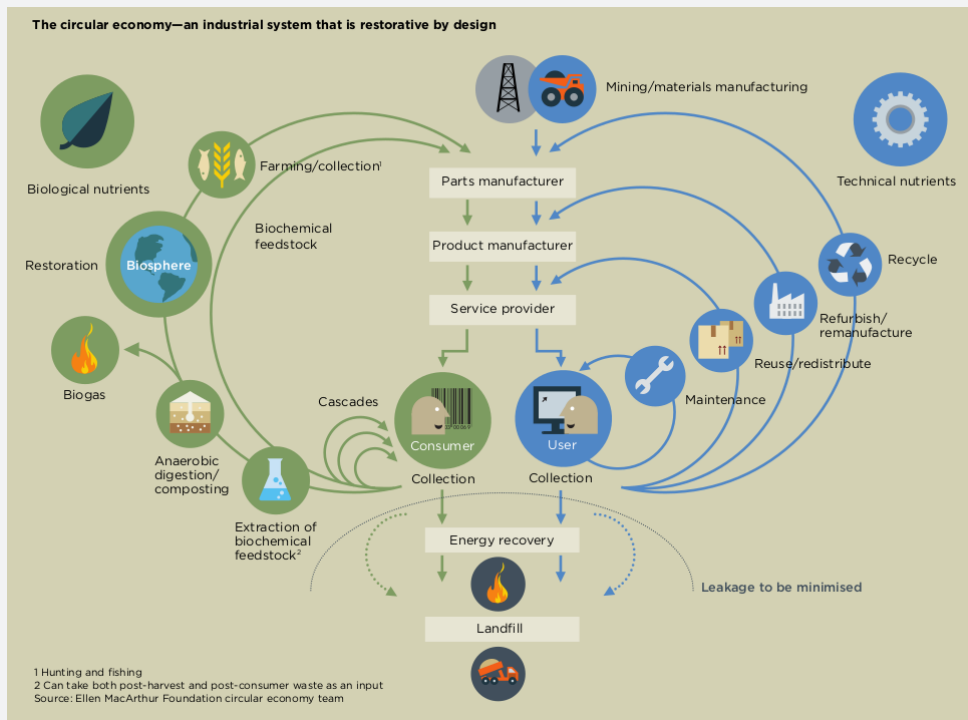
Kaskadiperiaate on biopohjaisten resurssien käyttöä ohjaava malli, jossa raaka-aineiden käyttökohteet asetetaan tärkeysjärjestykseen ja resursseja hyödynnetään tehokkaasti edistämällä kertaautuvaa käyttöä. Resurssien käytölle tavoitellaan mahdollisimman korkeaa arvonalisää ennen materiaalien hyödyntämistä energiakäytössä. Käytännössä raaka-aineet siis pyritään ensisijaisesti käyttämään korkean jalostusasteen tuotteisiin, jotka saavat useita käyttökiertoja uusiokäytössä. Elinkaaren lopussa tuotteet pyritään kierrättämään uusiomateriaaliksi ja vasta viimesijaisena käyttökohteena on hyödyntäminen energiantuotannossa. (Sjöstedt, 2018; Raitanen, ym., 2017.)

1 Rakentamisen kiertotalous

1.1 Kiertotalous osana kestävän kehityksen kehikkoa

Lineaarinen talousjärjestelmä perustuu oletukselle ehtymättömistä luonnonvaroista, mikä on johtanut ekologiseen kriisiin: ilmastomuutokseen, luonnon monimuotoisuuden kapenemiseen ja luonnonvarojen hupenemiseen (Huttunen, 2021). Kiertotalous tarjoaa vaihtoehdon ja osoittautuu lopulta ainoaksi vaihtoehdoksi rajallisten resurssien planeetalla.

Lineaarisen kulutuksen sijaan kiertotaloudessa raaka-aineet palautuvat kiertoon palveluiden ja tuotannon eri vaiheisiin. Kiertotaloutta havainnollistetaan usein laajalle levinneen, kiertotaloutta tunnetuksi tehneen Ellen MacArthur -säätion (2013) luoman perhosmallin kautta (kuva 1). Mallissa raaka-aineet jaetaan biologisiin kiertoihin palautuviin, pääasiassa uusiutuviin, ja teknisiin kiertoihin palautuviin, pääasiassa uusiutumattomiin, materiaaleihin. Uusiutumattomia raaka-aineita hyödynnetään jakamalla ja pidentämällä käyttöikää (engl. *share & maintain/prolong*), uudelleenkäyttämällä (engl. *reuse/redistribute*), uudelleenvalmistamalla (engl. *refurbish/remanufacture*) ja kierrättämällä (engl. *recycle*).



Kuva 1. Ellen MacArthur -säätion (2013) perhosdiagrammi kuvaa uusiutuvien ja rajallisten materiaalien kiertoa kiertotalouden mukaisessa resurssien käytössä.

Vaikka kiertotalous on noussut käsitteenä 2010-luvulla pinnalle, sen juuret ovat jo aiemmin tunnettuutta saavuttaneissa, maapallon kantokykyä peilaavissa ja kulutuskriittisissä ajatusmal- leissa, kuten kehdestä kehtoon -ajattelu (engl. *cradle to cradle*) (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Kiertotalouden juuret voidaan jäljittää 1960-luvulla virinneeseen huoleen luonnonvaro- jen liikakulutuksesta, mutta talousmalli ja siihen liittyvä käsitteistö ovat syntyneet myöhemmin. Suomen kieleen sana kiertotalous tosin tuli jo 1970-luvun alussa Rooman klubissa vaikutta- neen tulevaisuudentutkija Pentti Malaskan lanseeraamana ennen kuin käsite circular economy tuli käyttöön englannin kielessä (Savolainen, 2021).

Kiertotaloutta koskeva tutkimus ja kirjallisuus ovat lisääntyneet ja lisääntyvät edelleen merkittävästi (Reike, ym., 2018). Ellen MacArthur -säätiön perhoskaavion perusasiat pitävät edelleen paikkansa, mutta siinä kuvattujen materiaalikiertojen systeemin sisälle on syntynyt lisää käsitteitä. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on pyritty tämentämään käytössä olevia, osin ristiriitaisia ja epämääräisiä käsitteitä. Epämääräisyyden on arveltu johtuvan siitä, että kiertotalous on syntynyt, kuten talousmallin voi toki olettaakin syntyvän, yhteiskunnan eri alojen toiminnan seurauksena. Kiertotalouskeskustelun juuret eivät ole akateemisessa maailmassa. Sen nähdään kasvaneen esimerkiksi käytäntöjen, konsultoinnin ja vaikuttamisen kautta. Kiertotaloudella onkin etunaan viestinnällinen selkeys; toisin kuin moni muu kestävyysnäkökulma, sillä on puolellaan taloudellisen termistön vakuuttavuus liiketoimintamalleineen.

Kiertotalous on sisällöltään sitä edeltäneiden ajatusmallien perillinen, ei niinkään mullistava uutuus (Reike, ym., 2018). Sen voi nähdä sijoittuvan osaksi ekologisen modernisaation diskurssia, jonka edeltäjiä ovat mm. teollinen ekologia (engl. *Industrial Ecology*, IE) ja puhtaammat tuotantomenetelmät (engl. *Cleaner Production*, CP). Kun kiertotaloutta tarkastelee tästä näkökulmasta, syntyy houkutus niputtaa kiertotalous osin uudelleen paketoituksi osaksi ekologisen modernisaation jatkumoa. Kiertotalous erottuu edeltäjistään siinä, että sen keskiössä ovat liiketoimintamallit ja niihin kytkeytyvät arvoketjut ja materiaalivirrat (mt.). Siinä missä aiemmat mallit keskittyivät tyypillisesti materiaalivirtoihin maantieteellisesti lähellä sijaitsevien toimijoiden kesken, esimerkiksi teollisuusalueilla, kiertotalouden keskiössä on laajempi kuluttamisen ketju. Se myös tulee lähemmäs arkista elämää palveluiden ja jakamisen käsitteillä.

Panu Savolainen (2021) huomauttaa esseessään, että vaikka kiertotalous käsitteenä on uusi, sen sisältämä ajatus resurssien niukkuudesta ja materiaalien palautumisesta kierto on ikivanha. Tämä on aikanaan ollut ”resurssien ja kulttuurin sanelema itsestäänselvyys ja ainoa ajateltavissa oleva malli”, eikä rakennusjätettä ole syntynyt, kun purettavien rakennusten osat on siirretty käyttöön jossain muualla (mts. 153). Moderni lineaaritalous on etäännyttänyt resurssien käytön tavat todella kauas tästä itsestäänselvyydestä.

Kirjallisuudessa on erilaisia näkemyksiä siitä, tarjoaako kiertotalous uutta sisältöä kestävyysdiskurssiin. Olennaiseksi arvioidaan sen ytimessä oleva potentiaali muuttaa tuotannon perusrakenteita. Onkin arvioitu, että kiertotaloutta käsittelevässä tutkimuksessa on nähtävissä kaksi koulukuntaa. Näistä konservatiivisempi on liitetty hyvin tiukasti ekologisen modernismin jatku-moon, jolloin kiertotaloutta pidetään suurelta osin vanhan ajatuksen uudelleenmarkkinointina. Muutoshakuisissa diskurssissa kiertojen voidaan nähdä muuttavan tuotannon ja kuluttamisen ydintä. Tästä näkökulmasta kiertotaloudella on mahdollisuus lunastaa paikkansa uutena käsitteenä maapallon kantokykyä koskevassa keskustelussa ja tutkimuksessa. (Reike, ym., 2018.)

Kestävän kehityksen agendaan perinteisesti liittyvä sosiaalinen ulottuvuus on joissain yhteyksissä otettu mukaan kiertotalouden määritelmään, mutta aina se ei ole mukana. Talous ja ympäristö ovat luontevasti kiertotalouden ytimessä, mutta sosiaalisen oikeudenmukaisuuden ja kestävä elämäntavan näkökulmat näyttävät vaihtelevan. Se, että ytimessä ovat nimenomaan talous ja sen tutut käsitteet, voi olla yksi syy kiertotalouden suosioon politiikassa ja käytäntöönpanossa. Sosiaalinen ulottuvuus on tai ei ole mukana riippuen näkökulmasta ja asiayhteydestä.

Talous on yksi merkittävimmistä, ellei kaikista merkittävistä, puheenaihe rakennushankkeiden arjessa. Arkkitehtisuunnittelussa ja rakentamisessa sosiaalinen – sekä laadullinen ja kokemuksellinen – ulottuvuus on kuitenkin väistämättä mukana, se on erottamaton osa arkkitehtuurin päämääriä. Aiempaan verrattuna kiertotalous voi kuitenkin tuoda argumentointiin uutta selkeyttä: se mahdollistaa materiaalivirtojen ja rakennuksiin sitoutuvan energian tarkastelemisen osana kokonaisuutta.

"Kiertotalous voi tarkoittaa vuosituhansien säilyvyyttä tai nopeaa katoavaisuutta jälkiä jättämättä."

– Panu Savolainen (2021, s. 155)

1.2 Kiertotalous rakennusallalla

1.2.1 Miksi rakentamisen kiertotaloutta tarvitaan?

Nature-lehdessä julkaistun tutkimuksen (Elhacham, ym., 2020) mukaan vuonna 2020 (± 6 vuotta) ihmisen muokkaaman materiaalin määrä ylitti elollisen biomassan määrän maapallolla. 1900-luvun alussa ihmisen muokkaaman materiaalin määrä oli 3 % biomassan määrästä, mutta kuluneen vuosisadan aikana ihmisen tuottaman materiaalin määrä on kaksinkertaistunut suunnilleen joka 20. vuosi. Jos kehitys jatkuu samalla nopeudella, vuonna 2040 ihmisen muokkaamaa materiaalia, jätteet mukaan lukien, on maailmassa kolme kertaa niin paljon kuin biomassaa. (Mt.)

Tutkimuksessa biomassaa tarkastellaan kuivapainon mukaan (ilman vettä) ja ihmisen muokkaamat materiaalit tutkijat ovat jakaneet kuuteen kategoriaan: betoni, jakeet (kuten sora), tiilet, asfaltti, metallit ja muut (lasi, muovi, teollisuudessa ja paperintuotannossa käytetty puu). Suurin osa ihmisen tuottamasta massasta on betonia ja erilaisia jakeita. Tutkimuksessa selvisi myös, että rakennusten ja infrastruktuurin massa on suurempi kuin puiden ja pensaiden massa, ja että muovien massa (mukaan lukien muovijäte) on kaksi kertaa niin suuri kuin meressä ja maalla elävien eläinten massa. Tutkijat esittävät myös vertailuja biomassan märkäpainon mukaan sekä ottaen huomioon ihmisen tuottamat jätteet (puretut tai käytöstä poistetut kiinteät jätteet). (Elhacham, ym., 2020.)

Kuten Elhachamin ym. (2020) tutkimus osoittaa, rakentamiseen käytetyt materiaalit muodostavat ylivoimaisesti suurimman osan ihmisen muokkaamasta materiaasta, joten rakennusallalla tehdyillä valinnoilla ja muutoksilla on suuri merkitys. Tämän lisäksi rakennus- ja purkujäte muodostaa suurimman jätevirran Euroopan Unionissa (EEA, 2020). Vuodelle 2020 asetettiin tavoite, että 70 % rakennus- ja purkujätteestä palautetaan käyttöön, ja tavoite saavutettiin monissa maissa jo vuonna 2016. Hyvät tulokset ovat kuitenkin pääasiassa sen ansiota, että kerättyä jätettä käytetään maantäytteenä. Tällöin materiaalit päätyvät käyttöhierarkiassa alkuperäistä käyttötarkoitusta alemmas (engl. *downcycling*), eikä materiaalien todellista uudelleenkäyttöpotentiaalia hyödynnetä. (Mt.)

Ihmisen muokkaaman massan kumuloituminen on perustunut lineaaritalouteen, minkä vuoksi kiertotalous näyttäytyy tehokkaana ratkaisuna tämän kumuloitumisen pysäyttämiseen. Kiertotaloudessa ”käytetyt resurssit ja jätteet, päästöt ja energiavuodot minimoidaan hidastamalla, sulkemalla ja kaventamalla materiaali- ja energiakiertoja. Tämä voidaan saavuttaa kestäväällä suunnittelulla, huollolla, korjaamalla, uudelleenkäyttämällä, uudelleenvalmistamalla, kunnostamalla ja kierrättämällä” (Geissdoerfer, ym., 2017, s. 579). Sitran määritelmässä kiertotalouden tavoitteena on kytkeä talouskasvu irti rajallisten luonnonvarojen käytöstä ja säilyttää materiaaleihin sitoutunut arvo mahdollisimman pitkään (Sjöstedt, 2018). Näin luonnon rajallisia resursseja hyödynnetään viisaammin. Kiertotalous ei myöskään tunnista jätettä, vaan kaikki materiaali nähdään potentiaalisena raakamateriaalina jollekin uudelle (Braungart & McDonough, 2008). Purkamisen yhteydessä syntyvä jäte voidaan kiertotaloudessa nähdä jopa suunnitteluvirheenä (Häkkinen & Kuittinen, 2020, s. 142).

Siirtyminen kiertotalouteen sisältää muutoksia arvoketjun kaikissa osissa: tarvitaan uusia tapoja muuttaa jäte käyttökelpoiseksi raaka-aineeksi, tarvitaan tuotesuunnittelun innovaatioita,

uusia markkinoita ja uusia kulutuskäyttäytymisen malleja (Ghaffar, ym., 2020). Kiertotalouden mukaisessa rakentamisessa käytetään uusiomateriaaleja ja jo aiemmin käytettyjä tuotteita – hyödynnetään ihmisen muokkaamaa materiaa tuottamatta sitä lisää – ja vältetään hukan syntymistä rakennuksen elinkaaren kaikissa vaiheissa.

Suunnitteleamalla rakennus purettavaksi ja valitsemalla oikeanlainen materiaalipaletti tuetaan parhaiten arvokkaiden raaka-aineiden pysymistä kierrossa. Käytön aikana materiaalien ja rakennusosien pitkäikäisyys pyritään varmistamaan oikea-aikaisella ylläpidolla ja huollolla. Rakennuksesta korjausten yhteydessä tai elinkaaren päätteeksi purettavat osat tulisi jätehierarkian mukaisesti ensisijaisesti ohjata käytettäväksi uudelleen samassa käyttötarkoituksessa kuin alkuperäisessä kohteessa. Toissijaisesti materiaalit tulisi erotella toisistaan ja lajitella materiaalien mukaisesti kierrätykseen uusiomateriaaleiksi. Vasta viimeisenä vaihtoehtona materiaalit ohjataan maantäyttöön tai energiakäyttöön.

Jätehierarkiaa sivuaa kaskadiperiaate, joka on syntynyt ohjaamaan erityisesti biopohjaisten resurssien käyttöä, mutta on levinnyt myös muiden resurssien käyttöön. Siinä raaka-aineiden käyttökohteet asetetaan tärkeysjärjestykseen ja resursseja hyödynnetään tehokkaasti edistämällä kertautuvaa käyttöä. Resurssien käytölle tavoitellaan mahdollisimman korkeaa arvonlisää ennen materiaalien hyödyntämistä energiakäytössä. Käytännössä raaka-aineet siis pyritään ensisijaisesti käyttämään korkean jalostusasteen tuotteisiin, jotka saavat useita käyttökierroksia uusiokäytössä. Elinkaaren lopussa tuotteet pyritään kierrättämään uusiomateriaaleiksi ja vasta viimesijaisena käyttökohteena on hyödyntäminen energiantuotannossa. (Sjöstedt, 2018; Raitanen, ym., 2017.) Seuraavalla sivulla kaaviossa 1 on esitetty rakennusalan materiaalikierron mukaelmana Ellen MacArthur -säätiön tunnetusta perhoskaaviosta.

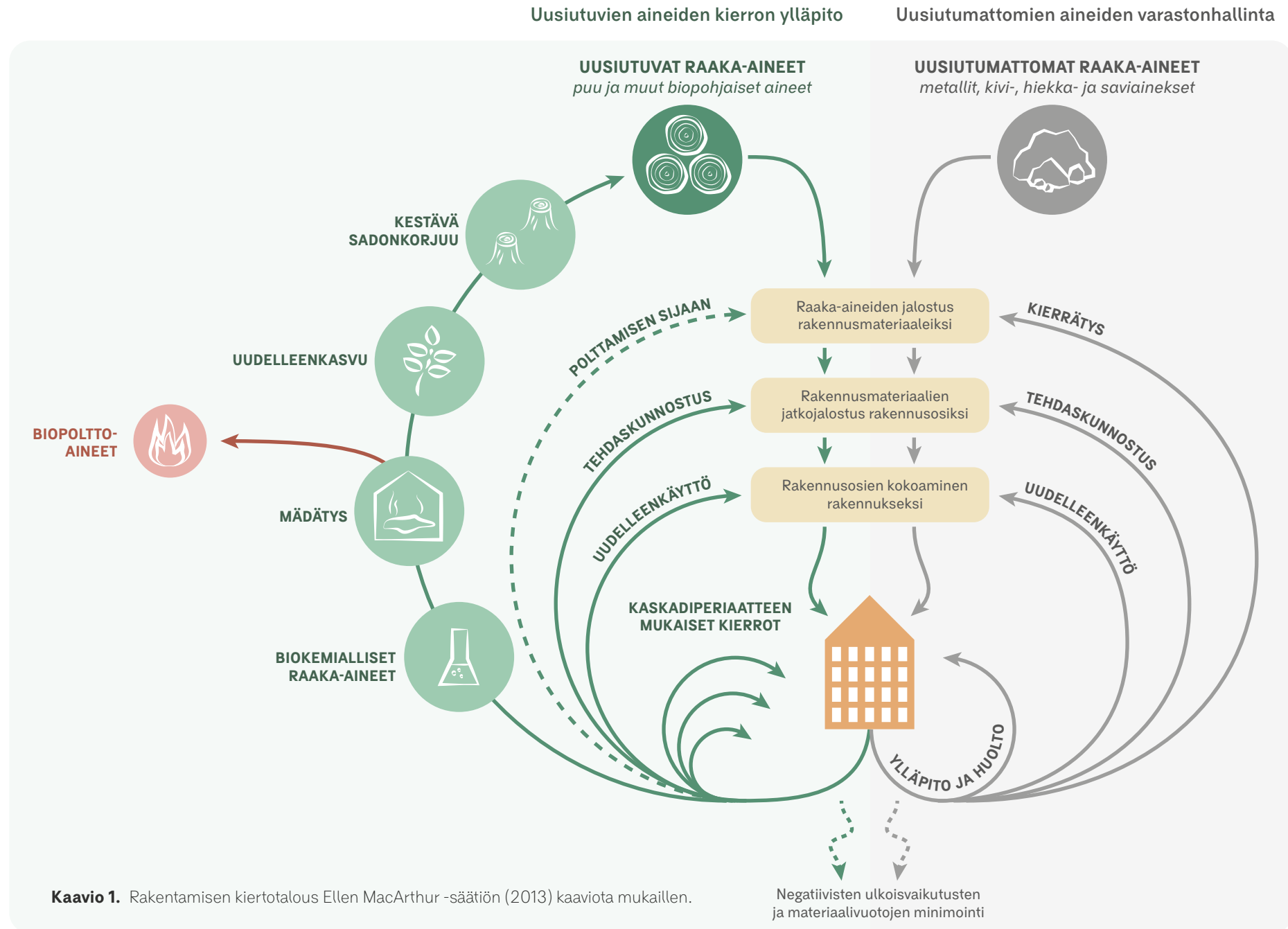
1.2.2 Kiertotalouden haasteet rakennusalalla

Rakentamisen kiertotalouden kasvulle on tunnistettu kulttuuriin, taulouteen, säännöksiin ja lainsäädäntöön liittyviä sekä rakennusalan ominaispiirteistä johtuvia esteitä (Hart, ym., 2019). Merkittävä kulttuurinen este on kiinnostuksen puute arvoketjussa: rakennuttajat, materiaali- ja tuotetoimittajat sekä urakoitsijat toimivat lineaaritaloudessa. Taloudellisesta näkökulmasta kyse on esimerkiksi materiaalien kierrättämisen aiheuttamista kustannuksista tai neitseellisten raaka-aineiden edullisesta hintatasosta sekä toimivien liiketoimintamallien vähyydestä. Lainsäädännön näkökulmasta yhtenäisen, kiertotalouteen kannustavan sääntelykehikon puuttuminen on merkittävä este (mt.). Esimerkiksi jätelainsäädännön kehittäminen voi edesauttaa kiertotalouden käyttöönottoa (Hakaste, 2021). Myös tuotehyväksyntää koskevassa sääntelyssä voitaisiin paremmin ottaa kiertotalouden erityispiirteet huomioon.

Rakennusalan erityispiirteet liittyvät muun muassa rakennuksen pitkään elinkaareen. Lisäksi kierrätettävien materiaalien laatuluokittelu ja kelpoisuushyväksynnät sekä uudisrakentamisen tiedonhallinnan keinot ovat alkutekijöissään (Hart, ym., 2019; Häkkinen, 2021; Jääskeläinen, 2021). Kansainvälisesti rakennusosien uudelleenkäytön haasteiksi rakennusalalla on lisäksi tunnistettu muun muassa hinnoittelun huono kilpailukyky, tiedon puute pelastettavista materiaaleista sekä niiden koostumuksesta, luottamuksen puute uudelleenkäytettävien materiaalien laadusta, varastoinfrastruktuurin puuttuminen sekä tuhoavan purkamisen (engl. *demolition*) yleisyys osiin purkamisen (engl. *disassembly*, *deconstruction*) sijaan (Cutieru, 2020b; EEA, 2020).

Kiertotalouden mahdollistajat ovat pitkälti esteiden peilikuvia: tarvitaan muun muassa johtajuutta, esimerkkejä ja lainsäädännön tukea (Hart, ym., 2019). Kuten Harri Hakaste (2021) tiivistää, ratkaisu piilee kysynnän ja tarjonnan kohtaamisessa. Sitä voidaan tukea sekä lainsäädännön että digitaalisten palveluiden avulla. Näistä esimerkki on ympäristöministeriön perustama verkkopohjainen vaihdanta-alusta Materiaalitori, jossa yritykset ja organisaatiot voivat ilmoittaa vapautuvista materiaaleista, materiaalitarpeista sekä tarjottavista palveluista. (Mt.)

Rakentamisen kiertotalous



2 Rakentamisen kiertotalouden suunnittelu

2.1 Kiertotalouden hierarkiat

Käytäntöönpanon prosesseja kutsutaan kiertotalouden R-imperatiiveiksi tai R-hierarkioiksi. Ne ovat jo Ellen MacArthur -säätiön aiemmin esitellyssä perhoskaaviossa esiintyviä tapahtumia, kuten uudelleenkäyttö (engl. *reuse*), kunnostus (engl. *refurbish*) tai kierrätys (engl. *recycle*). Rakentamisen kontekstissa R-imperatiivit ovat rakennusosien elinkaaren eri vaiheissa tapahtuvia operaatioita.

R-imperatiivien avulla pyritään kiertotalouden mukaisiin prosesseihin: suljettuihin materiaali-kiertoihin, materiaalien läpimenon hidastamiseen ja jätteen syntymisen ehkäisemiseen. Hierarkisuus perustuu ajatukselle, että materiaalin arvon säilyttämisen kannalta pitäisi pyrkiä parhaiten arvon säilyttävään tai sitä jopa kasvattavaan operaatioon sen sijaan, että siirrytään suoraan hierarkian alimpiin prosesseihin, kuten materiaalien kierrätykseen tai energiakäyttöön. On huomattava, ettei materiaalin arvossa ole kyse suoraan rahallisesta arvosta, vaan käyttöpotentiaalista. Esimerkiksi Reike ym. (2018) nostavat esiin, että kiertotalouden operationalisoinnissa materiaaleilla nähdään itseisarvoa.

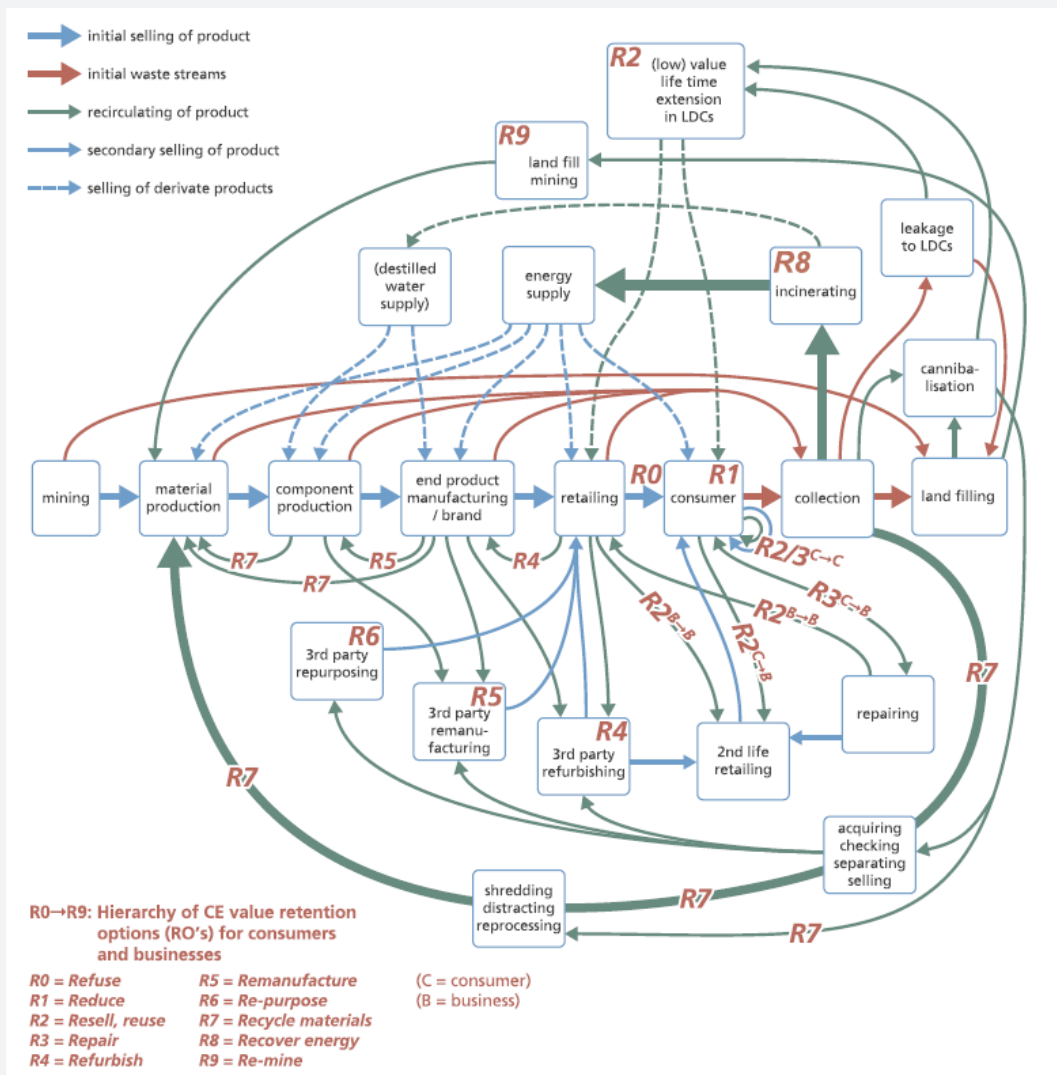
R-imperatiivien hierarkioita on muodostettu erilaisiin käyttötarkoituksiin. Mahdollisesti ensimmäinen on ollut kierrätyksen 3R:ää – *reduce, reuse, recycle* – joiden avulla on pyritty ohjaamaan kuluttajien käyttäytymistä: vähentämään jätteen syntymistä, kannustamaan uudelleenkäyttöön ja edistämään jätteen lajittelua. Ympäristöministeriön Muovitiekartassa (Ympäristöministeriö, 2019) ohje kuuluu: vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Kierrätyksen kolmea alkuperäistä R-imperatiivia on laajennettu tarkentamalla huomio materiaalin kierron eri vaiheisiin. Reike ja kollegat (2018) ovat kirjallisuuskatsauksen perusteella koonneet kymmenen R:n listan: *refuse, reduce, re-sell / re-use, repair, re-furbish, re-manufacture, re-purpose, re-cycle, recover (energy), re-mine*.

Reiken ym. (2018) 10R:n kokoelma on synteesi alan kirjallisuudesta, ja he kutsuvat imperatiiveja arvon säilyttämisen vaihtoehtoiksi (engl. *Value Retention Options*). He ehdottavat R:ien asettuvan kolmeen hierarkiaan kierron ajallisen pituuden mukaisesti:

- lyhyt kierto: R0 - *Refuse*, R1 - *Reduce* ja R2 - *Re-sell/Re-use*
- keskipitkä kierto: R3 - *Repair*, R4 - *Refurbish*, R5 - *Re-Manufacture*
- pitkä kierto: R6 - *Re-purpose (Rethink)*, R7 - *Recycle*, R8 - *Recover (Energy)*, R9 - *Re-Mine*

Yhteenvetona Reike ym. (2018) muodostavat Ellen MacArthur -säätiön kaavioita huomattavasti kompleksisemmän ja lukuisia nyansoituja operaatioita sisältävän systeemikaavion (kuva 2).

10R:n synteesi on luonteeltaan yleispätevä ja toimii parhaiten tavanomaisen tuotteen näkökulmasta. Asuinkerrostalo on tavanomaista kuluttajajhyödykettä suurimittakaavaisempi, erilaisia materiaaleja sekä prosessin osasia yhdistävä, pitkän elinkaaren omaava tuote. R-imperatiivit ovat kuitenkin sovellettavissa rakennusalan kontekstiin, mistä esitetään ehdotus tämän selvityksen luvussa 3.

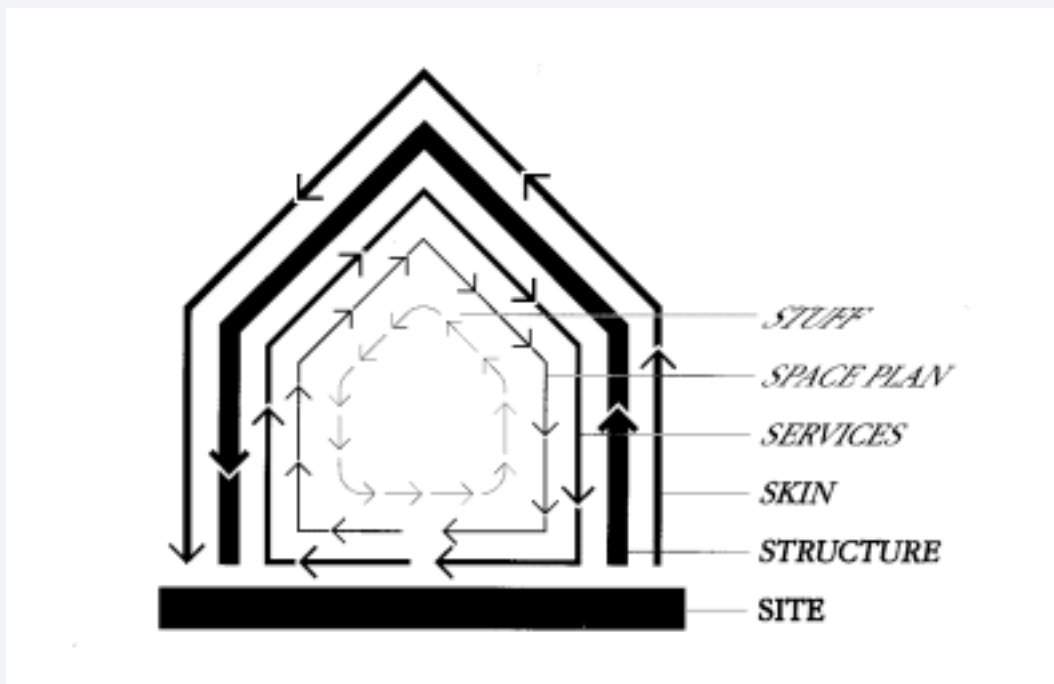


Kuva 2. Kiertotalouden arvon säilyttämisen vaihtoehdot Reiken ym. (2018, s. 258) mukaan.

2.2 Rakennuksen osakokonaisuudet kiertotalouden suunnittelussa

Rakennuksia on jaoteltu erilaisiin osakokonaisuuksiin osien odotetun käyttöiän perusteella tavoitteena ohjata esimerkiksi suunnitteluratkaisujen ja materiaalivalintojen tekemisessä. Brand (1994) jaotteli rakennuksen kuuteen osaan (kuva 3) – *site, structure, skin, services, space plan, stuff* – ja Guldager Jensen ja Sommer (2019) Brandia mukaillen samoin kuuteen osaan: *foundation, structure, façade, systems, partitions, things*. Tontti ja perustukset ovat yleensä rakennuksen pitkäikäisin osa, johon ei tarvitse käytön aikana tehdä muutoksia. Samoin kantava rakenne on usein pysyvä osa, johon vain harvoin tehdään muutoksia. Ulkovaippa puolestaan on jatkuvalla säätötiluksella ja siksi vaatii säännöllistä huoltoa ja korjaamista. Samoin talotekniikka vaatii käytön aikana korjaamista ja uusimista tekniikan vanhentumisesta tai käyttötarkoituksen muutoksista johtuen. Tilajako joustaa käyttötarkoitusten muuttuessa ja siihen tehdään muutoksia paljon tai vähän riippuen alkuperäisten tilojen monikäyttöisyydestä. Irtokalusteilla on kaikista lyhin käyttöikä.

Tarpio (2021) on tehnyt tähän perusjaotteluun kaksi tarkennusta: hän on jakanut talotekniikan yleiseen ja sisäiseen, ja tilajaottelun osastojakoon ja huonejakoon. Näiden tarkennusten taustalla on pyrkimys helpottaa korjausten ja muutosten tekemistä jo suunnitteluvaiheessa. Talotekniikan osalta tämä voi tarkoittaa taloteknisten järjestelmien eriyttämistä kerroksittain ja



Kuva 3. Stewart Brandin (1994) rakennuksen osakokonaisuudet.

yksiköittäin (esim. asunnot, liiketilat) ja talotekniikan pystyreittien sijoittamista tilajakovaihtoehtot huomioiden. Osastojaolla Tarpio tarkoittaa ”tilojen jakamista toiminnallisesti itsenäisiksi tilakokonaisuuksiksi” ja huonejaolla ”tilojen jaottelua näiden tilakokonaisuuksien sisällä”. Kun tämä jaottelu huomioidaan esimerkiksi asutosuunnittelussa, voidaan edesauttaa muutoksia asuntojen koossa (osastojako) ja asuntojen sisällä (huonejako). (Mts. 68–70.)

2.3 Kiertotalouden strateginen suunnittelu

Kiertotalouden toteutumiseksi rakennusallalla tarvitaan muutosta tavoissa, joilla rakennuksia suunnitellaan ja rakennetaan. Muutos edellyttää vallalla olevien toimintatapojen kyseenalaistamista ja uusien synnyttämistä, tai vanhoista jo hylätyistä toimintatavoista oppimista. Panu Savolaisen (2021) mukaan kiertotaloudessa on kyse pitkistä ajallisista ulottuvuuksista niin menneeseen kuin tulevaisuuteen. Rakennusalan kiertotalouskeskustelussa on Savolaisen mukaan vallalla kolme ajallisesta perspektiivistä kumpuavaa ilmiötä: perinteisestä rakentamisesta oppiminen, ratkaisujen löytäminen nyt purettavan rakennuskannan osille ja materiaaleille sekä uusien rakennusten suunnitteleminen uudelleenkäytön mahdollistaen. Savolainen painottaa, että aikaperspektiivi on olennainen, jotta lyhyen aikavälin ongelmiin ei vastattaisi pitkällä aikavälillä ja kiertotalouden toteutumisen kannalta ongelmallisilla materiaaleilla tai teknologioilla. Hänen mukaansa huomio tulisi ennen kaikkea kiinnittää siihen, miten tällä hetkellä rakennetaan – millaiset edellytykset nyt suunniteltavat ja rakennettavat rakennukset tarjoavat tuleville sukupolville toteuttaa kiertotaloutta. (Mt.)

Viime vuosina on paljon tutkittu ja jaoteltu käytännön rakennussuunnittelun ja rakentamisen strategioita tämän päivän rakentamisen muuttamiseksi kiertotalouden mukaiseksi. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen pohjalta suunnittelu- ja rakentamisstrategioiden luokittelun ovat koonneet esimerkiksi Eberhardt ym. (2020). Kirjallisuuden pohjalta luokitellut 16 strategiaa ovat:

- Kokoaminen / osiin purkaminen (*Assembly / disassembly*)
- Materiaalien valitseminen / korvaaminen (*Material selection / substitution*)

- Muunneltavuus / joustavuus (*Adaptability / flexibility*)
- Modulaarisuus (*Modularity*)
- Esivalmistus (*Prefabrication*)
- Uusiomateriaalit (*Secondary materials*)
- Kulutuskestävyys (*Durability*)
- Standardisointi (*Standardisation*)
- Rakennusosien ja materiaalien optimointi (*Component and material optimisation*)
- Rakennusten / rakennusosien / materiaalien uudelleenkäyttö (*Reusing existing building / components / materials*)
- Muotojen ja mittojen optimointi (*Optimised shapes / dimensions*)
- Helppopääsyisyys (*Accessibility*)
- Materiaalikerrosten riippumattomuus (*Layer independence*)
- Materiaalivarasto (*Material storage*)
- Lyhyt käyttö (*Short use*)
- Symbioosi / jakaminen (*Symbiosis / sharing*)

Näistä eniten mainintoja kirjallisuudessa esiintyi purettavuuden strategioihin liittyen, toiseksi eniten materiaalien valitsemiseen ja kolmanneksi eniten muuntojoustavuuteen liittyen (mt.).

Tässä selvityksessä suunnittelustrategia määritellään Karin Krokforsia (2017) mukaillen kokonaisvaltaisena, kiertotalouden periaatteiden mukaisena lähestymistapana suunnitteluun. Strateginen lähestymistapa eroaa tavanomaisesta suunnittelusta siinä, että se pyrkii tunnistamaan tulevaisuuden epävarmuustekijöitä. Vaikka tavoiteltu lopputulos ei ole tarkasti tiedossa tai varma, strateginen lähestyminen pyrkii edesauttamaan tavoitteeseen pääsyä. Tämä tapahtuu lähtötekijöiden huolellisen huomioinnin ja sovellettavien periaatteiden kautta. (Mt.)

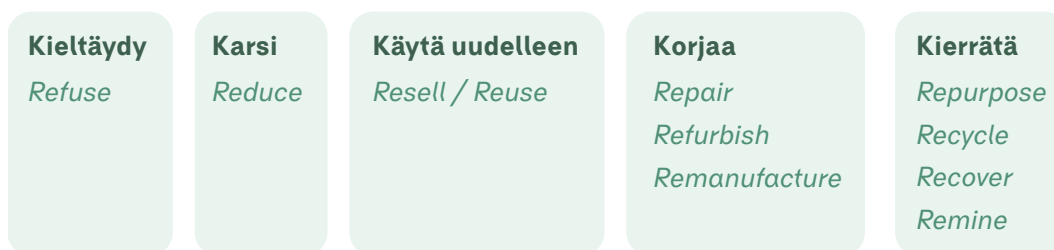
Kiertotalouden kontekstissa strateginen suunnittelu näkyy varautumisena tulevaisuuden muutostekijöihin ja materiaalikiertojen mahdollistamiseen. Esimerkiksi nykyisen rakennuskannan purkujätteen käyttö rakennusmateriaalina on jopa toissijaista (Savolainen, 2021). Purkuprosessien kehittymiseen tähtäävistä projekteista huolimatta on myös huomionarvoista, että esimerkiksi suomalaisten elementtikerrostalojen rakennustekniikka on sellaista, että suurta osaa nyt purettavien rakennuksien materiaaleista on vaikea tuoda uudelleenkäytön piiriin (Lahdensivu, ym., 2015).

3 Kiertotalouden suunnittelustrategiat rakennusalalla

3.1 Synteesi ja sen rakentuminen

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta tässä selvityksessä esitetään synteesi kiertotalouden mukaisesta suunnittelusta rakennusalalla. Synteesi rakentuu alun perin jätehierarkiasta peräisin olevien viiden R-imperatiivin ympärille. 5R:n kokonaisuutta on päädytty käyttämään, koska nämä viisi imperatiivia – suomeksi kieltäydy, karsi, käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä – ovat luontevasti sovellettavissa rakennussuunnitteluun ja rakennuksen elinkaaren eri vaiheisiin. Viisi imperatiivia tarjoaa selkeän jaottelun kiertotaloutta edistävälle suunnittelustrategioille rakennusalalla. Muiden aiemmin luvussa 2 esiteltyjen imperatiivien katsotaan tässä selvityksessä sisältyvän näihin viiteen pääimperatiiviin (kaavio 2).

Kiertotalouden imperatiivit

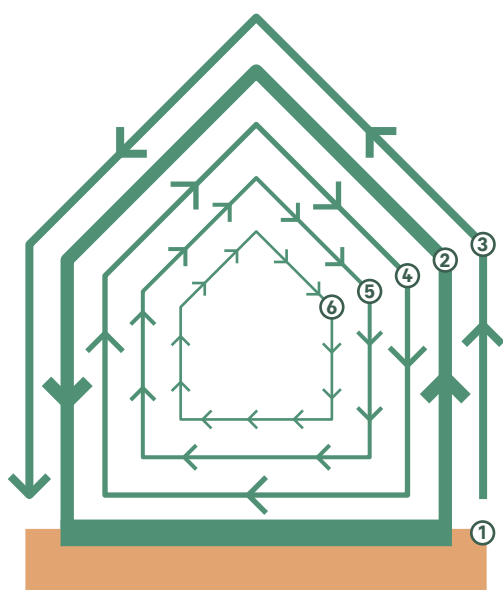


Kaavio 2. Kiertotalouden imperatiivien jaottelu viiteen pääimperatiiviin sisältäen Reiken ym. (2018) arvon säilyttämisen vaihtoehdot.

Lisäksi synteesissä noudatellaan Brandin (1994) alkuperäistä jaottelua rakennuksen kuuteen osakokonaisuuteen pienin muutoksin: tontti (maanvarainen rakentamaton ja rakennettu piha), rakenne (perustukset ja kantava runko), ulkovaippa (vesikatto, julkisivut, kansipiha ja kasvikatto), tekniikka (lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö), kevyet rakenteet (ei-kantavat rakenteet ja kiintokalusteet) sekä materiaaliveirrat (tavarat ja kasvillisuus, sisältäen tietyissä tapauksissa myös kasvualustan) (kaavio 3, seuraavalla sivulla). Ensimmäisten viiden – tontti, rakenne, ulkovaippa, tekniikka ja kevyet rakenteet – katsotaan koskevan itse rakennusta lähiympäristöineen läpi sen elinkaaren rakentamispäätöksestä, tontin valinnasta ja materiaalien tuotannosta rakentamiseen, ylläpitoon ja korjauksiin sekä elinkaaren loppuun asti. Jälkimmäinen – materiaaliveirrat – koskee puolestaan elämää ja siihen liittyviä materiaaliveirtoja talossa ja sen lähiympäristössä käytön aikana.

Rakennettu viherympäristö on mukana tässä tarkastelussa jakautuen eri osakokonaisuuksiin. Tonttiin sisältyy maanvarainen piha, jossa voi olla sekä rakentamattomia että rakennettuja osia. Rakentamattomaan pihaan päästään kieltäytymällä rakentamisesta ja säilyttämällä ympäristö luonnontilassa. Rakennettu viherympäristö käsittää maanvaraisen rakennetun piha-alueen lisäksi myös kansi- ja kattopihat. Kansi- ja kattopihat ovat osa rakennusta ja niiden katsotaan tässä sisältyvän ulkovaippaan. Pihoilla on lisäksi kevyitä rakenteita, kuten kalusteita ja terasseja, sekä kasvillisuutta, joiden voidaan katsoa kuuluvan ainakin osittain käytönaikaisiin materiaaliveirtoihin. Kasvillisuuteen liittyvät materiaaliveirrat koskevat paitsi kasvillisuutta itseään (mm. leikkaustarve, viljeltävä kasvillisuus, istutusten uusiminen), niin myös kasvualustaa (mm. lannoitus ja kompostointi, katteet, kastelu, kasvualustojen uusiminen tai täydentäminen kansipihojen peruskorjauksissa tai laatikkoviljelmillä).

Rakennetun ympäristön osakokonaisuudet



- 1. Tontti**
Maanvarainen rakentamaton ja rakennettu piha
- 2. Rakenne**
Perustukset ja kantava runko
- 3. Ulkovaippa**
Vesikatto, julkisivut, kansipiha ja kasvikatto
- 4. Tekniikka**
Lämpö, vesi, iv, sähkö
- 5. Kevyet rakenneosat**
Ei-kantavat rakenteet ja kiintokalusteet
- 6. Materiaalivirrat**
Tavarat ja kasvillisuus

Kaavio 3. Rakennetun ympäristön osakokonaisuudet Stewart Brandin (1994) kaaviota mukaillen.

Laajemman kirjallisuuskatsauksen sekä Eberhardtin ja kollegojen (2020) luokittelun pohjalta tässä selvityksessä keskiöön on nostettu kolme suunnittelustrategiaa, jotka monipuolisesti edistävät kiertotalouden toteutumista rakentamisessa. Nämä ovat uudisrakentamisen välttäminen, rakennusosien ja materiaalien optimointi sekä elinkaaren pidentäminen, jota edistävät kolme alastrategiaa: muuntojoustavuus, ylläpidettävyyys ja purettavuus sekä materiaalivalinnat. Aiemmin luvussa 2 esitelty strategioiden kirjo sisältyy valittuihin strategioihin (kaavio 4). Elinkaaren

Kiertotalouden suunnittelustrategiat

Uudisrakentamisen välttäminen

Rakennusosien optimointi

Esivalmistus

Muotojen ja mittojen optimointi

Elinkaaren pidentäminen

Muuntojoustavuus

Modulaarisuus

Materiaalivalinnat

Uusiomateriaalit

Kulutuskkestävyys

Materiaalivarasto

Ylläpidettävyyys ja purettavuus

Kokoaminen / osiin purkaminen

Standardointi

Helppöpääsyisyys

Rakennusten / rakennusosien / materiaalien uudelleenkäyttö

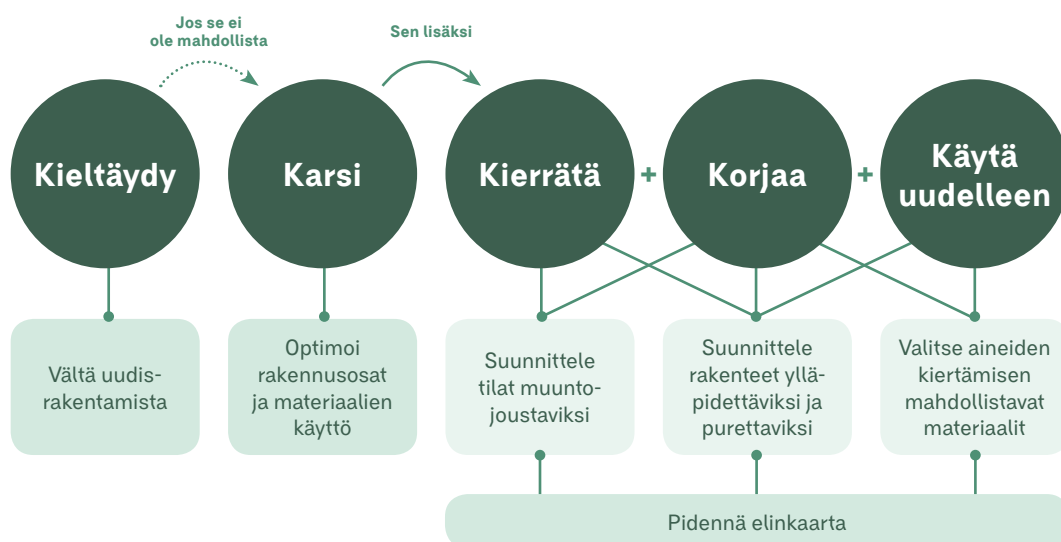
Materiaalikerrosten riippumattomuus

Kaavio 4. Valitut suunnittelustrategiat sisältäen Eberhardtin ym. (2020) luokittelemat strategiat.

pidettäminen koostuu kolmesta alastrategiasta, koska oikeat materiaalivalinnat tukevat ylläpidettävyyttä ja purettavuutta, ja ylläpidettavuus puolestaan muuntojoustavuutta, mikä pidentää rakennuksen tai rakennetun viherympäristön elinkaarta.

Synteesissä suunnittelustrategiat ovat hierarkian tasojen tulkintoja ja toteutustapoja rakennus- alalla. R-imperatiivit on tässä selvityksessä tiivistetty kolmelle tasolle: 1) kieltäydy (*refuse*), 2) karsi (*reduce*), ja 3) käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä (*reuse, repurpose & repair, recycle*). Hierarkian mukaan ensisijaisesti vältetään uudisrakentamista ja muokataan tai korjataan olemassa olevaa. Toiseksi vähennetään materiaalienkäyttöä optimoimalla rakennusosien ja materiaalien käyttöä pyrkien resurssiviisauteen. Kolmanneksi mahdollistetaan muuntojoustavuus suunnittelemalla rakenteet ylläpidettäviksi ja purettaviksi sekä valitsemalla oikeanlaiset materiaalit uudelleenkäytön ja kierrättämisen mahdollistamiseksi. Kolmannelle tasolle on yhdistetty kolme imperatiivia, koska niitä rakennus- alalla toteuttavat suunnittelustrategiat eivät vastaa vain yhteen, vaan useampaan imperatiiviin ja samalla tukevat toisiaan. Rakennus- alan – sisältäen sekä rakennukset että rakennetut viherympäristöt – kiertotaloushierarkia on esitetty kaaviossa 5.

Rakennus- alan kiertotaloushierarkia



Kaavio 5. Kiertotalouden imperatiivien hierarkia ja niitä toteuttavat suunnittelustrategiat rakennus- alalla.

Hierarkkisen lähestymistavan tavoitteena on ohjata suunnittelua kohti kiertotalouden kannalta parasta lopputulosta. Jos ei pystytä kokonaan välttämään uudisrakentamista, tulee siirtyä hierarkian seuraavalle tasolle ja pyrkiä noudattamaan sen periaatteita. On kuitenkin tärkeää huomata, että ylläpidettavuus ja purettavuus tukevat muuntojoustavuutta, ja oikeat materiaalivalinnat ylläpidettävyyttä ja purettavuutta. Hierarkia ei siis tässä tarkoita, että yhden tason toteuttaminen vapauttaisi huomioimasta muita tasoja. Valitut strategiat ovat toteutettavissa erikseen, mutta kokonaisvaltaisempaan lopputulokseen päästään, kun yhdistellään eri strategioita ja niihin liittyviä suunnitteluratkaisuja.

Synteesi on esitetty seuraavalla sivulla kaaviossa 6, jossa strategiat ja rakennetun ympäristön osakokonaisuudet on ristiintaulukoitu esittämään strategioiden mukaisia suunnitteluratkaisuja rakennuksen ja pihan eri osissa.

Kaavio 6. Seuraavalla sivulla: Kiertotalouden suunnittelustrategiat jaoteltuina kiertotalouden imperatiivien ja rakennetun ympäristön osakokonaisuuksien mukaan.

Kiertotalouden suunnittelustrategiat rakennusallalla

	Kieltäydy	Karsi	Käytä uudelleen • Korjaa • Kierrätä		
Kiertotalouden mukaiset suunnitteluratkaisut rakentamisessa					
	Uudisrakentamisen välttäminen	Rakennusosien optimointi	Elinkaaren pidentäminen		
	Yleiset periaatteet uudisrakentamista vain, kun tilatarvetta ei voida täyttää käyttämällä tai korjaamalla olemassa olevaa tilaa	Yleiset periaatteet - muotojen ja mittojen optimointi (muotokerroin) - rakennusosien, -elementtien tai -moduulien esivalmistus - materiaalihukan vähentäminen	Muuntojoustavuus Yleiset periaatteet - muunneltavuus - monikäyttöisyys	Ylläpidettävyyys ja purettavuus Yleiset periaatteet - standardoidut liitokset - helppo pääsy järjestelmiin ja liitoksiin - rakennekerrosten keskinäinen riippumattomuus - modulaarisuus - yksiaineisuus	Materiaalivalinnat Yleiset periaatteet - biologisiin ja teknisiin kiertoihin palautuvat materiaalit - haitattomat materiaalit - paikalliset materiaalit - kulutusta kestävät materiaalit - uusiomateriaalit - vanhat rakennusosat, tarvittaessa kunnostettuina - rajoite neitseellisten materiaalien käytölle
Tontti <i>Maanvarainen rakentamaton ja rakennettu piha</i>	- maa- ja kallioperän sekä olevan kasvillisuuden ja vesiekosysteemien säilyttäminen - vanhojen rakenteiden hyödyntäminen	pihan suunnittelu materiaaleja ja rakenteita säästäen ja optimoiden	rakennetun piha-alueen monikäyttöisyys	hankalasti ylläpidettävien ja purettavien rakenteiden ja rakennekerrosten välttäminen maanalaisissa ja päällisissä rakenteissa	- pihan rakennusmateriaalien ja rakenteiden kierrätettävyys - kierrätysmaiden ja olevan kasvillisuuden käyttö viherrakentamisessa
Rakenne <i>Perustukset ja kantava runko</i>	- ei rakentamista huonoihin perustusolosuhteisiin - vanhojen perustusten hyödyntäminen - vanhan kantavan rungon säilyttäminen ja kunnostaminen - vanhan rakennuksen korottaminen	- tonttitehokkuus (käytetään valittu rakennusala riittävän tehokkaasti) - rakennetaan hyvin perustusolosuhteisiin (vältetään paalutusta ja stabilointia) - materiaalin kokonaistarpeen minimointi suhteessa valittuun rakennejärjestelmään	- rakennejärjestelmä ja osastojako - huonekorkeus - jännevälit - mahdollisen pysäköintitilan monikäyttöisyys	- purettavat perustukset (esim. luonnonkiviperustus) - ulos maasta vedettävät perustukset - rakenneosien liitokset - rakennusosien uudelleenkäyttö (rakenne-elementit, tilaelementit)	- rakennetaan hyvin perustusolosuhteisiin (vältetään paalutusta ja stabilointia) - vähähiilinen materiaali (suurin volyymi) - rakennusosien uudelleenkäyttö (rakenne-elementit, tilaelementit)
Ulkovaippa <i>Vesikatto, julkisivut, kansipiha ja kasvikatto</i>	vanhan julkisivun kunnostaminen uuden rakentamisen sijaan	- aukotuksen määrä ja sijainti julkisivussa suhteessa ilmansuuntiin (luonnonvalo, näkymät, ylikuumeneminen, ikkunoiden tekniset ominaisuudet) - vedenohjausjärjestelmät tukemaan sadevesien talteenottoa	- aukotuksen koko ja sijoitus julkisivussa suhteessa huonealaan - mahdollisuus avata / sulkea aukotusta käyttö-tarkoituksen muuttuessa	- irrotettavat julkisivumateriaalit / -komponentit - ikkunoiden ja ovien huollettavuus (esim. listaikkunat) - ikkunoiden ja ovien kiinnitys ja tiivistys - kansipiholla käyttöä huomioiminen piharakenteissa	- säärasitukseen sopivat materiaalit - purkumateriaalien uudelleenkäyttö julkisivuissa - kasvikattojen kasvillisuus rakennuksen alle jäävältä alueelta
Tekniikka <i>Lämpö, vesi, iv, sähkö</i>	- passiivinen aurinkoenergia - painovoimainen ilmanvaihto - tekniikan päivittäminen uusimisen sijaan	- rakenteellinen aurinkosuojaus jäähdytyksen sijaan - uusiutuvat energianlähteet - energiatehokkuus	- mitoitus erilaisiin toimintoihin - tilavaraukset mahdollisiin muutoksiin - liittymävaraukset	- pintavedot - kotelointien purettavuus - tekniestien järjestelmien keskinäinen riippumattomuus	kierrätettäviksi sopivat järjestelmät
Kevyet rakenneosat <i>Ei-kantavat rakenteet ja kiintokalusteet</i>	olemassa olevien tilojen muokkaaminen uuteen käyttötarkoitukseen	- talopesula huoneisto-kohtaisten pyykinpesukonevarausten sijaan - talosauna huoneistosaunojen sijaan - taloyhtiön / korttelin yhteiset vierashuone(et) ja työhuone(et) - pihan varustelutaso lähiviheralueet huomioiden	- huonejako - neutraalimitoitus - suuret tilat, jotka mahdollistavat monta eri toimintoa samanaikaisesti - modulaariset keittiöt	- väliseinien liitokset - lattiamateriaalin jatkumisen seinien alla - esteettinen ylläpidettävyyys (esim. mahdollisuus maalata uudelleen) - modulaariset ja uudelleenkäytettävät rakennusosat	kiintokalusteiden uudelleenkäyttö
Kierto- ja jakamistaloutta käytön aikana tukevat suunnitteluratkaisut					
	Kuluttamisesta kieltäytyminen	Jakaminen omistamisen sijaan	Tilojen monikäyttöisyys	Käyttöä pidentäminen	Hukan vähentäminen
Materiaalivirrat <i>Tavarat ja kasvillisuus</i>	<i>Asukkaan vastuulla, mutta voidaan tukea tarjoamalla vaihtoehtoja omistamiselle</i>	- hyvin varusteltu yhteiskeittiö - yhteiskäyttöpyörät - yhteiskäyttöautot "kirjasto", josta asukkaat voivat lainata tavaroita ilman omistamisen tarvetta - yhteisöviljely ja satoa tuottavat kasvit pihalla	- monta eri toimintoa tukeva kalustus - monikäyttöiset, eri käyttötarkoituksia palvelevat huonekalut - rakenteisiin integroidut / helposti siirrettävät / kokoon taittavat huonekalut - tilan jakamisen mahdollistaminen siirtoseinillä	- kierrätyshuone, jossa asukkaiden tavarat voivat vaihtaa omistajaa - pajatila, jossa asukkaat voivat korjata, kunnostaa ja tuunata tavaroitaan	- toimivat ja monipuoliset jätteiden lajittelumahdollisuudet korttelissa - kattavat lajitteluohteet asukkaille - korttelin oma komposti ja sen hyödyntäminen mm. laatikkoviljelyssä - sadevesien talteenottojärjestelmä kasvillisuudelle

3.2 Suunnitteluratkaisut rakentamisessa

Suunnittelulla vaikutetaan kiertotalouden toteutumiseen erityisesti tontin, rakenteen, ulkovaipan, tekniikan ja kevyiden rakenneosien osalta. Tässä aluvuossa esitellään neljä suunnittelustrategiaa – uudisrakentamisen välttäminen, rakennusosien optimointi ja elinkaaren pidentäminen – sekä niiden mukaisia suunnitteluratkaisuja, joiden avulla toteutetaan kiertotalouden imperatiiveja.

3.2.1 Kieltäydy: Uudisrakentamisen välttäminen

Ensimmäisellä hierarkian tasolla on kieltäytymisen imperatiivi, johon rakennusalla vastataan välttämällä uuden rakentamista, ellei se ole aivan välttämätöntä. Tontin eli pihan ja viherympäristön kannalta tavoitteena on kieltäytyä muokkaamasta tai poistamasta olevaa kasvillisuutta, maaperää ja vesiekosysteemejä eli säilyttää ne ja hyödyntää ne osana suunnitelmaa. Kaavoitus luo tämän onnistumiselle edellytykset mahdollistamalla liittymisen olevaan ympäristöön sen erityispiirteet huomioiden. Tiiviisti rakennetuilla alueilla tämä on kuitenkin usein mahdotonta tavoiteltaessa korkeaa maankäytön tehokkuutta. Kokonaisuuden osien arvottaminen ohjaa näitäkin valintoja.

Opaskirjassa suunnittelijoille Tarja Häkkinen ja Matti Kuittinen (Häkkinen & Kuittinen, 2020, s. 179) esittävät vähähiilisen rakentamisen hierarkian, jossa uudisrakentamista edeltää kolme hierarkian tasoa: ”hyödynnä vajaakäyttöisiä ja vuorokäyttöön sopivia tiloja, kunnosta olemassa oleva tila, peruskorjaa vanha rakennus”. Näiden toimenpiteiden noudattamisen voidaan katsoa tukevan myös kiertotalouden toteutumista.

Kieltäytymisen imperatiivia toteutettaessa ensisijaisena pyrkimyksenä rakennusten osalta on löytää olemassa olevasta rakennuskannasta tila tai rakennus, joka voidaan mahdollisimman vähin resurssein muuttaa palvelemaan täytettävää tarvetta. Kieltäytymällä uuden rakentamisesta säästetään valtava määrä raaka-aineita ja energiaa ja toisaalta vältetään synnyttämästä päästöjä. Merkittävään säästöön täydelliseen purkamiseen ja uudisrakentamiseen verrattuna päästään myös, jos voidaan säästämällä edes osa rakennuksesta muuntaa olemassa oleva tila tai rakennus vastaamaan paremmin ajan vaatimuksia. Rakennus voidaan esimerkiksi rakentaa vanhoille perustuksille, kantava runko voidaan säilyttää tai julkisivu kunnostaa uuden rakentamisen sijaan.

Jos uudisrakentaminen kuitenkin katsotaan välttämättömäksi, kieltäytymisen imperatiivi ohjaa valitsemaan rakennuspaikan hyviin perustolosuhteisiin, jolloin vältetään raskaiden perustustapojen, kuten paalutuksen ja stabiloinnin, käytöltä. Talotekniikan osalta kieltäytymisen imperatiivi voisi toteutua valitsemalla painovoimaisen ilmanvaihdon tai hyödyntämällä passiivista aurinkoenergiaa, jolloin välttyttäisiin ainakin osin käyttämästä nopeasti vanhentuvaa ja heikosti kiertoon palautuvaa elektroniikkaa.

3.2.2 Karsi: Rakennusosien ja materiaalien optimointi

Toinen hierarkian taso on karsimisen imperatiivi, johon rakennusalalla vastataan rakennusosien ja materiaalien optimoinnilla. Rakennuksen muodolla ja pihan muotoilulla voidaan merkittävästi vähentää tarvittavan rakennusmateriaalin kokonaismäärää. Esivalmistamalla rakennusosia, -elementtejä ja -moduuleja voidaan käyttää materiaalit tehokkaasti hukkaa vähentäen ja jopa välttämällä.

Optimointi on parhaan vaihtoehdon etsimistä. Rakennusalalla optimointiin voi liittyä kielteisiä konnotaatioita karsimisesta esimerkiksi asumisen laadun tai ympäristöystävällisyyden kustannuksella, koska optimointi rakennusalalla liittyy usein pyrkimykseen taloudellisesti parhaaseen lopputulokseen. Tällöin hinta tai investoinnin kannattavuus ohjaa valintoja muiden arvojen tai tavoitteiden sijaan. Optimointia tulisikin tarkastella taloudellista lähestymistapaa laajemmin;

määritelmällisesti optimoinnilla pyritään löytämään paras ratkaisu asetettuun tavoitteeseen, eikä tavoitteiden kirjoa ole ennalta määrätty.

Optimointiin liittyy kiinteästi pyrkimys tehokkuuteen, mahdollisimman paljon saavuttaminen mahdollisimman vähällä. Resurssitehokkuus on toimintamalli, jossa pyritään ehkäisemään luonnonvarojen loppuminen käyttämällä raaka-aineita optimaalisesti hukkaa ja ympäristöva-hinkoja välttämällä sekä vähennetään ympäristökuormitusta tuotteiden elinkaaren kaikissa vai-heissa (Sjöstedt, 2018). Resurssitehokkuus saattaa kuitenkin johtaa osaoptimointiin, minkä vuoksi tavoiteltavammaksi toimintamalliksi on asetettu resurssiviisaus. Resurssiviisaassa toi-minnassa pyritään kokonaisuuden kannalta parhaaseen lopputulokseen koko yhteiskunnan tasolla: resursseja, kuten luonnonvaroja, raaka-aineita, energiaa, tuotteita ja palveluja, tiloja ja aikaa, käytetään kestäväällä ja hyvinvointia edistävällä tavalla (mt.).

Resurssiviisauden kokonaisvaltaista tavoitetta unohtamatta rakennusosien ja materiaalien op-timoinnissa voidaan pyrkiä materiaalitehokkuuteen materiaalien kokonaiskäytön minimoinnin nimissä. Tätä voidaan tavoitella esimerkiksi suunnittelemalla rakennukselle optimaalinen muo-tokerroin, joka vaikuttaa sekä materiaalitehokkuuteen että energiatehokkuuteen. Muotokerroin kuvaa rakennuksen ”pinta-alan, tilavuuden ja ulkovaipan keskinäisiä tehokkuuslukuja” (Häkki-nen & Kuittinen, 2020, s. 109). Rakennuksen ulkovaipan pinta-ala vaikuttaa lämpöhäviön mää-rän kautta energiatehokkuuteen ja käytetyn materiaalin määrän kautta materiaalitehokkuuteen (mt.). Muotokerroin voidaan tavoitteesta riippuen laskea Lylykankaan ym. (2015) mukaan eri tavoin:

- A/A: rakennuksen vaipan pinta-alan suhde lämmitettyyn huonealaan
- A/V: ulkovaipan pinta-alan suhde lämmitettyyn sisätilavuuteen
- Painotettu muotokerroin: ulkovaipan eri osien lämmönläpäisykertoimilla painotettu pinta-ala suhteessa rakennuksen ohjelma-alaan.

Talotekniikan osalta optimointiin kuuluu esimerkiksi uusiutuvien energianlähteiden käyttö, energiatehokkaat ratkaisut sekä rakenteellinen aurinkosuojaus jäähdytyksen sijaan. Teknisillä ratkaisuilla voidaan myös vähentää käytönaikaisen energian- ja vedenkulutusta. Huoneisto-kohtainen vedenkulutuksen mittaus on ollut lakisääteistä uusissa asuinkerrostaloissa vuodesta 2011, mutta kulutukseen perustuva laskutus ei ole pakollista (Heiskanen, 2021). Kuitenkin Motivan (2020) mukaan kotitalouksissa, joissa on käytössä kulutukseen perustuva vesilasku-tus, käytettiin vuoden 2019 mittaustietojen perusteella noin 8 % vähemmän vettä henkilöä kohden vuorokaudessa kuin talouksissa, joissa laskutus ei perustunut kulutukseen. Käyttöön perustuvalla laskutuksella voidaan siis kannustaa asukkaita säästämään vettä. Tätä edistäisivät myös vettä säästävät hanat. Lisäksi lämmitysenergian käyttöä voitaisiin vähentää helpolla muu-toksella: merkitsemällä lämmityspatterin termostaattiin suositeltu asetus numeroasteikon sijaan (Heiskanen, 2021).

Karsimisen imperatiivi ja resurssien optimointi linkittyvät asuntosuunnittelussa myös asuntojen tilankäytön ja yhteistilojen suunnitteluun. Vuonna 2020 Suomen asutokunnista 45 prosenttia oli yhden hengen kotitalouksia (Tilastokeskus, 2020b) ja asuinpinta-ala koko maassa keski-määrin 41,3 m² ja Helsingissä 34,4 m² henkilöä kohti (Tilastokeskus, 2020a). Luonnonvarojen kulutus henkilöä kohti on kasvanut, kun yhden hengen asutokuntien osuus kaikista kotitalo-uksista on kasvanut viime vuosikymmeninä tasaisesti samalla, kun asumisväljyys on lisääntynyt tasaista tahtia (Heiskanen, 2021). Anne Tervo (2021) toteaa väitöskirjassaan, että yksinasuvien asumistarpeet harvoin täyttyvät yhden huoneen asunnoissa, ja kyseenalaistaa siten tällä hetkellä vallalla olevan yksinön mallin, jossa kaikki toiminnot on sijoitettu yhteen huoneeseen. Yhden hengen talouksien lisääntymiseen liittyvää asumisväljyyden kasvua ja luonnonvarojen kulutusta voitaisiin suitsia nojautumalla jakamistalouteen ja samalla vastata joiltakin osin yksioissa asu-

vien asumistarpeisiin. Kehittämällä toimivia jakamispalveluja ja yhteiskäyttötiloja, kuten yleisiä saunoja, monipuolisia harrastustiloja, kaupunkilaisten olohuoneita ja etätyötiloja, voitaisiin parantaa asukkaiden asumismukavuutta, mutta myös vähentää tarvetta kasvattaa yksityisessä käytössä olevaa tilaa.

Resursseja voidaan säästää rakentamalla rakennukseen tai kortteliin yhteiset saunatilat huoneistokohtaisten saunojen sijaan. Huoneistokohtaisten saunojen rakentaminen on jo vähentynyt huomattavasti 1990-luvun suuren suosion vuosista (Mäntynen, 2015). Siinä missä aiemmin lähes kaikkiin asuntoihin rakennettiin oma sauna, tällä hetkellä pienimpienkin asuntojen kylpyhuoneissa on varaus pyykinpesukoneelle. Elektroniikan määrää voitaisiin vähentää huomattavasti korvaamalla pyykinpesukonevaraukset talon tai korttelin yhteisellä pesulalla. Yhteistiloissa voisi lisäksi olla varattavissa tai vuokrattavissa esimerkiksi etätyöskentelyyn soveltuvaa tilaa ja vierashuone, jolloin näille mahdollisesti satunnaisemmalla käytöllä yksityisomistuksessa oleville tiloille saataisiin korkeampi käyttöaste.

3.2.3 Käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä: Elinkaaren pidentäminen

Kolmas hierarkian taso kokoa yhteen kolme R-imperatiivia: uudelleenkäytön, korjaamisen ja kierrätyksen. Näihin imperatiiveihin vastaa rakennusallalla pyrkimys elinkaaren pidentämiseen, jota edistävät kolme toisiinsa linkittyvää suunnittelustrategiaa, muuntojoustavuus, ylläpidettävyyys ja purettavuus sekä materiaalivalinnat. Kaikki kolme osaltaan edistävät vähintään kahden edellä mainitun imperatiivin toteutumista. Yhdessä suunniteltuina ja toteutettuina ne mahdollistavat rakennusten ja rakennettujen viherympäristöjen laajan tai jopa täydellisen uudelleenkäytön, korjattavuuden ja materiaalien pysymisen kiertossa.

Muuntojoustavuus

Toiminnallisen kestävyuden näkökulmasta keskeisimpiä suunnittelustrategioita on muuntojoustavuus. Jyrki Tarpion (2021) mukaan joustava rakennus kykenee mukautumaan muuttuviin käyttötarkoituksiin, ja joustavuuden edellytyksiä ovat monikäyttöisyys ja muunneltavuus. Monikäyttöinen tila on mahdollista mukauttaa monenlaisiin toimintoihin lyhyen ajanjakson sisällä ilman merkittäviä muutoksia rakenteisiin tai taloteknisiin järjestelmiin. Muunneltava tila puolestaan kykenee vastaamaan olennaisiin muutoksiin käyttäjien tarpeissa rakenteellisten tai taloteknisten muutosten kautta. (Mt.)

Toisin kuin Tarpio, joka pitää monikäyttöisyyttä ja muunneltavuutta joustavuuden jokseenkin tasavertaisina edellytyksinä, Karin Krokfors (2017) on asettanut monikäyttöisyyden ja muunneltavuuden hierarkiaan: monikäyttöisyys on tavoite, johon muunneltavuuden avulla pyritään. Hänen mukaansa monikäyttöisyys ja muunneltavuus ovat ikään kuin joustavuuden ”yin ja yang”: ne ovat samaan aikaan vastakkaisia ja toisiaan täydentäviä (mts. 278). Tässä selvityksessä monikäyttöisyyttä ja muunneltavuutta pidetään muuntojoustavuuden osasina, joiden toteutumiseen pyritään eri keinoin. Osa-alueita ei aseteta hierarkiaan, mutta kiertotalouden näkökulmasta muunneltavuudella on suurempi vaikutus materiaalien kiertoon. Koska monikäyttöisyyteen pyritään muokkaamatta rakenteita tai taloteknisiä järjestelmiä, monikäyttöisyys ei vaikuta rakennusosien ja -materiaalien kiertoon, eikä siten ole kiertotalouden kannalta suoraan merkityksellistä (Tarpio, 2021).

Resurssien niukkuuteen perustuvassa kiertotalousajattelussa saattaa näyttäytyä resurssien tuhlaamisena, jos monikäyttöisyydellä perustellaan väljempää mitoitus- verrattuna tiettyä käyttötarkoitusta varten suunniteltuun tilaan. Hyvin suunniteltu monikäyttöisyys kuitenkin lisää tilan käyttöastetta ja vähentää siten sen ympäristövaikutuksia (Häkkinen & Kuittinen, 2020). Samalla se voi pidentää tilan toiminnallista käyttöikää, mikä pitää investoidut materiaalit pidem-

pään käytössä ja vähentää tarvetta purkaa ja rakentaa uutta. Monikäyttöisyyttä käsitellään lisää alaluvussa 3.3.2, jossa aiheena ovat rakennuksen käytönaikaiset materiaaliveirrat.

Onkin huomionarvoista, että rakennuksen toiminnallinen käyttöikä voi lyhentyä merkittävästi, jos nyt rakennettu rakennus suunnitellaan tiukasti tiettyyn käyttötarkoitukseen tai vastaamaan parhaillaan vallalla oleviin preferensseihin, eikä suunnittelussa ole mahdollistettu muunneltavuutta. Jos rakennusta ei suunnitella monikäyttöiseksi, se tulisi vähintään suunnitella muunneltavaksi, jotta nyt ennakoimattomiin käyttötarkoituksiin on mahdollista vastata tulevaisuudessa rakentamatta kokonaan uutta.

Tarpio (2021) jaottelee muunneltavuuden kolmeen alaluokkaan: sisäiseen muunneltavuuteen, ulkoiseen muunneltavuuteen ja siirrettävyyteen. Sisäinen muunneltavuus tapahtuu ”rakennuksen sisällä ulkoasuun kajoamatta” ja ulkoinen muunneltavuus edellyttää ”rakennuksen ulkoasuun kajoamista”; molemmissa tapauksissa on kyse osittaisesta purkamisesta (mts. 65). Siirrettävyys on puolestaan Tarpion vaihtoehtoinen termi purettavuuden suunnittelulle: täysin muunneltava tai purettava rakennus on purkamisen jälkeen mahdollista siirtää ja uudelleen käyttää toisaalla samassa tai uudessa käyttötarkoituksessa, samoin tai eri tavoin järjesteltynä (mt.).

Kiertotalouden näkökulmasta Tarpio (2021) asettaa joustavuuden luokat – monikäyttöisyys, sisäinen muunneltavuus, ulkoinen muunneltavuus ja siirrettävyys – hierarkiaan kustannusten ja muutostöiden määrään perustuen. Monikäyttöisyys on vaihtoehtoista edullisin, koska muutoksia saadaan aikaan vaihtamalla ainoastaan kalustusta. Monikäyttöisyyden jälkeen kyseeseen tulevat sisäinen ja ulkoinen muunneltavuus, joiden työmäärä ja ratkaisujen hinta vaihtelevat suuresti. Sisäinen muunneltavuus vaatii todennäköisesti yksinkertaisempia ratkaisuja kuin ulkoinen muuntelu. Sisäinen muuntelu voidaan edelleen jakaa muutoksiin osastojakaumassa ja muutoksiin osastojen sisällä, mitkä edellyttävät erilaisia ratkaisuja. Vastaavasti ulkoinen muuntelu jakautuu rakennuksen laajentamiseen ja supistamiseen, joihin vastataan erilaisin keinoin. Siirrettävyys on vaihtoehtoista työläin ja siten viimesijainen vaihtoehto. Ennen rakennuksen purkamista kokonaan tulisi etsiä ratkaisuja hierarkian alemmilta tasoilta. (Mt.)

Muuntojoustavuutta on teoretisoitu paljon, mutta myös käytännönläheisempiä ratkaisuja sen toteuttamiseen on tarjottu. Väitöskirjassaan Jyrki Tarpio (2015) esittelee seitsemän logiikkaa asuntojen tilasuunnitteluun muuntojoustavuuden tukemiseksi: avotilalogiikka, halli ja huoneet-logiikka, monireittilogiikka, kytköhuonelogiikka, muuntoaluelogiikka, moduulistrukturilogiikka, ja ytimestä kasvamisen logiikka. Käytännön ratkaisuja muunneltavuuden mahdollistamiseksi suunnittelussa tarjoaa myös muun muassa Slaughter (2001): tärkeimpien rakennusjärjestelmien erottaminen fyysisesti toisistaan, järjestelmien vyöhykkeistäminen, järjestelmien sisäisen ja välisen vuorovaikutuksen vähentäminen, vaihdettavien komponenttien käyttäminen, vaiheittaisen purkamisen mahdollistaminen, tärkeimpien järjestelmien osien esivalmistaminen, ja joidenkin järjestelmien kapasiteetin ylivoimainen rajoittaminen. Ratkaisut myötäilevät vahvasti purettavuuden suunnittelun periaatteita, ja purettavuuden suunnittelu monella tapaa parantaakin rakennuksen muunneltavuutta.

Jyrki Tarpio (2021) pohtii, onko nykyisillä rakennustekniikoilla mahdollista tai kannattavaa pyrkiä täydelliseen purettavuuteen ja uudelleenkäyttöön kaikissa rakennustyypeissä. Aiemmin rakennuksen joustavuudesta puhuttaessa oletuksena on ollut, että rakennuksen osat jakautuvat kiinteisiin pysyviin osiin, yleensä rakennuksen kantavaan runkoon, sekä purettaviin ja korjattaviin osiin, jotka mahdollistavat muunneltavuuden. Esimerkiksi avoimen rakentamisen (engl. *open building*) periaatteilla joustavuutta tavoiteltiin asuinrakentamisessa jakamalla rakennus kiinteään tukiosaan (*support*) ja muunto-osaan (*infill*). Tukiosa on pysyvä osa, johon asukkaat pääsevät vaikuttamaan yhteisesti, ja muunto-osaan liittyvistä ratkaisuista asukkaat päättävät

yksilöllisesti ja se on muokattavissa myöhemminkin. (Mt.) Kiertotaloudessa ja erityisesti muuntojoustavuutta tukevassa purettavuuden suunnittelussa ideaalina on kuitenkin ylläpidettävyys ja korjattavuus, koko rakennuksen purettavuus osiin, osien uudelleenkäyttö ja materiaalien kierrätettävyys.

Muuntojoustavuuden periaatteet ovat sovellettavissa myös rakennetuissa viherympäristöissä, joskin ratkaisut ovat osin erilaisia. Monikäyttöisyys rakennetuissa viherympäristöissä mahdollistetaan usein kiinteillä ratkaisuilla: monikäyttöisyys voi syntyä betonialtaan toimimisesta koripallo- tai leikkikenttänä kuivaan aikaan ja hulevesien viivytysaltaana sadepäivinä, tai laajemmin puistoalueiden toimimisesta kuivaan aikaa oleskelualueina ja sadekaudella tulvaniittyinä. Toisaalta monikäyttöisyyttä saadaan aikaan hyvin suunnitelluilla oleskelu-, leikki- ja kuntoiluvälineillä. Myös muunneltavuus voidaan ottaa huomioon viherrakenteissa erityisesti kansipihojen ja kasvikattojen rakenteita suunniteltaessa. Niissä oleellista on huomioida myös näiden rakenteiden käyttöikä ja sen vaikutus valittaviin ratkaisuihin.

Ylläpidettävyys ja purettavuus

Purettavuuden suunnittelu (engl. *Design for Disassembly / Deconstruction*, DfD) on suunnittelustrategia, joka helpottaa muutos- ja korjaustöitä ja rakennuksen osittaisen purkamisen käytön aikana – ts. ylläpidettävyden – tai täydellisen purkamisen rakennuksen elinkaaren lopussa osia vaurioittamatta. Purettavuuden suunnittelu on osa varsinaista rakennussuunnittelua, koska se vaikuttaa muun muassa järjestelmien sijoitteluun, liitosten suunnitteluun ja materiaalivalintoihin. Erillisessä purkusuunnitelmassa annetaan ohjeet elementtien irrottamiseen sekä niiden uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen.

Purettavaksi suunnitellun rakennuksen materiaalit, rakennusosat ja tekniset järjestelmät on mahdollista lajitella uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen, mikä vähentää jätteen määrää. Samalla säilytetään materiaaleihin ja rakennusosiin sitoutunut hiili ja niiden valmistamiseen käytetty energia sekä vähennetään hiilipäästöjä (Akinade, ym., 2017). Helpon purettavuuden periaatteet on määritelty ISO 20887 -standardissa (ISO, 2019):

- komponenttien ja järjestelmien helppo saavutettavuus (*accessibility*)
- osien riippumattomuus (*independence*), yksinkertaisuus (*simplicity*) ja standardinmukaisuus (*standardization*)
- tarpeettomien pintakäsittelyiden ja pinnoittamisten välttäminen
- purkamisen turvallisuus

Jos rakennus on lisäksi suunniteltu modulaariseksi, sen osat tulevat todennäköisemmin uudelleenkäytetyiksi kuin yksilöllisiin ratkaisuihin perustuvat rakennusosat (Hillebrandt, ym., 2019, s. 13).

Nykyaikaiset rakentamistavat (engl. *Modern Methods of Construction*, MMC), joihin lukeutuvat muun muassa modulaarisuus, rakennusosien ja -elementtien tehdastuotanto paikalla rakentamisen sijaan sekä avoimet rakennusjärjestelmät, jotka mahdollistavat rakennuksen muuttamisen ja muokkaamisen sen elinkaaren aikana, vähentävät jätteen määrää rakennuspaikalla ja edesauttavat rakennuksen purettavuutta (Akinade, ym., 2017) oikein suunniteltuina. Akinaden ym. (2017, s. 5) tekemän kirjallisuuskatsauksen pohjalta purettavuutta helpottavia tekijöitä ovat:

- kulutusta kestävä materiaalit,
- pintakäsittelyjen välttäminen,
- pulttien ja muttereiden käyttäminen liitoksissa liiman sijaan,
- haitallisten materiaalien välttäminen,
- komposiittimateriaalien välttäminen,

- rakennusosien, -materiaalien ja liitosten määrän minimointi,
- materiaalien ja rakennusosien käsittelyn helppous,
- rakennusosien, -elementtien tai -moduulien esivalmistuksen suunnittelu,
- modulaarinen rakentaminen,
- avoimen rakentamisen periaatteet,
- rakennusjärjestelmien erottaminen toisistaan,
- standardoidun rakennegridin käyttäminen,
- perustukset, jotka ovat vedettävissä ulos maasta,
- oikeat työkalut,
- rakentajien riittävä kouluttaminen.

Haastattelujen ja kyselyn pohjalta tehdyssä faktorianalyysissä paljastui viisi aihealuetta, jotka vaikuttavat onnistuneeseen purkamiseen: tiukka lainsäädäntö, suunnitteluprosessin ja osaamisen parantaminen, materiaalien irrottamisen suunnittelu, materiaalien uudelleenkäytön suunnittelu sekä muuntojoustavuuden suunnittelu. Tiukka lainsäädäntö osoittautui tutkimuksessa merkittävimmäksi tekijäksi, mikä vastaa muiden tutkimusten tuloksia hallinnon merkityksestä kestäväen kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. (Akinade, ym., 2017.)

Käänteinen rakennussuunnittelu (engl. *Reversible Building Design*, RBD) perustuu purettavuuden suunnitteluun ja tarjoaa kokonaisvaltaisen suunnittelustrategian, joka painottaa muuntojoustavuutta. Käänteisesti suunnitellussa rakennuksessa muutokset ovat mahdollisia kolmessa ulottuvuudessa: tilankäytössä, rakenteellisesti ja yksittäisten materiaalien ja rakennusosien tasolla. Käänteisyydellä tarkoitetaan, että rakennusta on mahdollista muuttaa aiheuttamatta vahinkoa purettaville tai säilytettävälle järjestelmille, rakennusosille tai materiaaleille. Näin mahdollistetaan kiertotalouden mukainen materiaalien ja rakennusosien uudelleenkäyttö ja kierrätys. (Durmisevic, 2019.)

Purettavuuden suosion kasvun haasteina ovat kierrätysmateriaalien sääntelyn puute, epävarmuus saatavilla olevien materiaalien määrästä ja laadusta, sekä osiin purkamisen prosessin hinta ja hitaus verrattuna tuhoavaan purkamiseen (Cutieru, 2020a). EPA:n (2009) selvityksen mukaan osiin purkamisen kustannukset voivat kuitenkin olla kilpailukykyisiä, jos jatkokäyttöön soveltuvaa purkumateriaalia on riittävästi ja sen markkina-arvo kattaa tuhoavaa purkamista korkeammat työkustannukset.

Tällä hetkellä purettavia rakennuksia ei ole suunniteltu osiin purettaviksi, minkä vuoksi rakennusosat rikkoutuvat purun yhteydessä, eikä eri materiaaleja aina saada eroteltua toisistaan. Nyt purettavat rakennukset tarjoavatkin lähinnä mahdollisuuksia innovoida purkumateriaalista jauhetuista jakeista uusiomateriaaleja ja niiden jatkojalosteita. Tällä hetkellä ja tulevaisuudessa suunniteltavissa rakennuksissa purettavuus tulee ottaa suunnittelun lähtökohdaksi, jotta materiaalit voidaan pitää kierrossa mahdollisimman pitkään. Rakennusosien tulee olla irrotettavissa ehjinä, jotta ne saadaan käyttöön jossakin muualla, ja eri materiaalien tulee olla eriteltävissä toisistaan uudelleenkäytön ja kierrätyksen mahdollistamiseksi.

Purettavuuden suunnittelu paitsi parantaa rakennusosien uudelleenkäyttöä ja materiaalien kiertoa, myös tukee rakennuksen muunneltavuutta. Ylläpidettävyys ja purettavuus voidaan nähdä kokonaisvaltaisena rakennusosien ja -materiaalien päivittämisen ja arvon säilyttämisen strategiana ja sitä voidaan kuljettaa rinnakkain joustavuuteen tähtäävien strategioiden kanssa. Näin molempien näkökulmien mukanaan tuomia hyötyjä ja haasteita voidaan arvioida ja kehittää rakennussuunnittelun aikana.

Materiaalivalinnat

Oikeiden materiaalien valitseminen on yksi tärkeimmistä edellytyksistä sekä ylläpidettävyyden ja purettavuuden että materiaalien kiertämisen mahdollistamiseksi. Suunnitteluvaiheessa tehdyt materiaalivalinnat vaikuttavat rakennusosien irrotettavuuteen sekä mahdollisuuteen lajitella eri materiaalit, ja pahimmassa tapauksessa jo ennen rakentamista tehdään materiaalien kierrättäminen ja rakennusosien uudelleenkäyttö tulevaisuudessa mahdolltomiksi. Tämän voi aiheuttaa esimerkiksi komposiittimateriaalien käyttö, ihmiselle ja ympäristölle haitallisten aineiden käyttö, materiaalien yhdistäminen siten, ettei niitä voida myöhemmin erottaa toisistaan tai liitosten suunnittelemisen siten, ettei rakennusosia saada ehjinä irti.

Materiaalien kiertäminen edellyttää, että materiaalit ovat haitattomia, jolloin ne voidaan turvallisesti käyttää uudelleen, sekä laadukkaita, jotta ne kestävät uudelleenkäytön. Myös kiertotalouden periaatteiden kannustamia uusiomateriaaleja kehitettäessä ja käytettäessä tulee ottaa huomioon materiaalien haitattomuus ja laatu, jotta ne eivät käytön aikana aiheuta terveyshaittoja, eivätkä elinkaarensa lopussa muutu vaaralliseksi jätteeksi tai ympäristöhaitaksi. Vaarallisiksi jätteiksi luokitellaan Suomessa jätelain mukaan terveydelle tai ympäristölle vaaraa tai haittaa aiheuttavat jätteet, ja tällaiset materiaalit tulisi kierrättämisen sijaan poistaa kierrosta (Wahlström, 2021). Niin rakennuksen kuin pihankin rakennusmateriaaleja valittaessa ja rakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon niiden kierrätettävyyden.

Pihan osalta on mahdollista pitää materiaalit kierrossa paikallisesti. Tontilta kaivetut maamassat voidaan käyttää tontilla pihan rakentamiseen sen sijaan, että ne kuljetetaan pois ja tuodaan uutta tilalle. Lisäksi rakennuksen paikalta poistettava kasvillisuus voidaan tietysti edellytyksin siirtää käytettäväksi pihalla tai kasvikoilla. Tätä tutkitaan Helsingin yliopiston Viides ulottuvuus-tutkimusryhmässä, jonka kohteena ovat viherkatot ja viherseinät. Kurkimoision asemakaavan muutoksen suunnitelmassa Helsingin Vuosaaren ehdotetaan, että osa laajoilla viherkatoilla käytettävästä kasvillisuudesta olisi paikan alkuperäistä kasvillisuutta (Bäckgren, 2021). Pihan pintojen ja rakenteiden materiaalivalintoja kiertotalouden näkökulmasta on tutkittu muun muassa Ekologisen maisemasuunnittelun oppaassa (FCG, 2020).

Vajaa kymmenen vuotta sitten tehdyssä asukastutkimuksessa (Hyvönen, ym., 2012) vastaajat suhtautuivat myönteisesti uusio- ja kierrätysmateriaalien käyttöön asuinrakentamisessa. Omaan asuintaloon oliin valmiita hyväksymään tuttuja ja miellyttävinä pidettyjä materiaaleja, kuten kierrätyslasiä ja ristiinlaminointua puuta, mutta vieraampiin materiaaleihin suhtauduttiin kielteisemmin. Suurin huoli liittyi mahdollisiin terveysvaikutuksiin, mutta myös materiaalien toimivuus, kestävyys ja ulkonäkö herättivät epäilyjä. Uusio- ja kierrätysmateriaalien käyttöä puolsi kyselyn vastauksissa muun muassa kierrätyksen ja sen arvostuksen lisääntyminen, edullisemmat asumiskustannukset sekä kotimaiset materiaalit. Mieluiten kyselyn vastaajat näkisivät uusio- ja kierrätysmateriaaleja käytettävän sellaisissa käyttökohteissa, jotka eivät ole suoraan kosketuksissa asukkaiden kanssa, kuten julkisivuissa, eristeenä tai rakennuksen rungossa. (Mt.)

Kiertotalouden haasteena ovat materiaalit ja rakennusosat sellaisissa rakennuksissa, jotka on rakennettu aikana, jolloin jokin nykyään kielletty vaarallinen aine on ollut vielä käytössä. Ehkä laajimmin viime vuosina esillä ollut esimerkki tällaisesta aineesta on asbesti, jota käytettiin laajasti 1920-luvulta 1990-luvun alkuun. Vaarallisten aineiden luettelo päivittyy jatkuvasti, kun tieto lisääntyy, joten on mahdollista, että jotkin nyt käytössä olevat rakennustuotteet eivät ole kierrätettävissä tulevaisuudessa. (Wahlström, 2021.) Rakentamisen, purkamisen, uudelleenkäytön ja kierrättämisen turvallisuutta lisättäisiin huomattavasti vaatimalla rakennustuotteiden valmistajia listaamaan kaikki tuotteissaan käyttämät ainesosat, ei ainoastaan lainsäädännön vaatimia vaarallisia aineita.

Rakennusosien uudelleenkäyttöä ja turvallista kierrättämistä voidaan edistää myös materiaaalipasseilla. Materiaalipassi on dokumentti, johon on listattu kaikki tuotteessa, rakenteessa tai rakennuksessa käytetyt materiaalit, niiden ominaisuudet ja määrät. Materiaalipassit palvelisivat kiertotaloutta, kun korjausten ja purkamisen yhteydessä tiedettäisiin etukäteen, mistä rakennus koostuu. Näin rakennukset muuttuisivat tulevaisuuden materiaaalipankeiksi ja neitseellisten raaka-aineiden käyttöä voitaisiin välttää.

Häkkinen ja Kuittinen (2020, s. 137) ehdottavat materiaalipassin sisällöksi seuraavia tietoja:

- tuotteen kuvaus ja tuotteen tekniset ominaisuudet
- vertailukäyttöikä ja käyttöiän arvioinnin menetelmä
- kestävän käytön edellytykset
- käyttökohteet
- käyttöolosuhteet (esim. lämpö- ja kosteusolosuhteet, ulko- ja sisäolosuhteet)
- rakenne ja liittymät, myös mahdolliset rajoitukset liittyvien materiaalien suhteen
- kuljetukset ja varastointi työmaalla
- asennus ja käyttöönotto
- huolto (hoitoa, jonka tarkoituksena on estää vikojen ilmaantuminen ja pitää kohde käyttö- ja toimintakunnossa)
- kunnossapito (ylläpitoa, jonka tarkoituksena on pysyttää kohteen ominaisuudet uusimalla tai korjaamalla vialliset ja kuluneet osat)
- purkaminen, ohjeet sisältäen purkamisen vaatimukset, kuten pääsyn ja tilantarpeet
- kierrätys, uudelleenkäyttö

"Ilmastokriisi edellyttää myös valmiutta kyseenalaista[a] jatkuvaan mukavuuden kasvuun perustuvat standardit."

– Eva Heiskanen (2021, s. 105)

3.3 Jakamis- ja kiertotaloutta käytön aikana tukevat suunnitteluratkaisut

Suunnittelulla voidaan myötävaikuttaa kierto- ja jakamistalouden toteutumiseen rakennuksen ja pihan käytön aikana. Kaikkein suunnittelulla ei voida vaikuttaa, vaan iso vastuu on asukkailla itsellään, ja joihinkin asioihin voidaan vaikuttaa ainoastaan tai ainakin tehokkaammin kaavoituksessa ja laajemmin kaupungin infrastruktuuria suunniteltaessa. Tässä alaluvussa tarkastellaan, miten neljän kiertotalouden mukaisen tavoitteen – jakaminen omistamisen sijaan, tilojen monikäyttöisyys, käyttöiän pidentäminen sekä hukan vähentäminen – ja kiertotalouden imperatiivin toteutumista voidaan edistää suunnittelun keinoin. Kieltäytymisen imperatiivin – uuden tavaran ostamisen välttäminen – katsotaan jäävän asukkaan vastuulle, vaikka sitä voidaan tukea tarjoamalla vaihtoehtoja omistamiselle. Tässä alaluvussa esitetään keinoja karsimisen, uudelleenkäytön, korjaamisen ja kierrättämisen edistämiseksi suunnittelun keinoin.

3.3.1 Karsi: Jakaminen omistamisen sijaan

Karsimisen imperatiivin, hierarkian toisen tason, toteutumista voidaan suunnittelulla edistää mahdollistamalla jakaminen omistamisen sijaan. Lineaaritalouteen kiinteästi liittyvälle ostamiselle ja omistamiselle vaihtoehdon tarjoaa jakamistalouden mukainen leasing ja vuokraus, jotka kasvattavat tavaroiden ja tilojen käyttöastetta ja pienentävät niiden ympäristövaikutuksia sekä käyttäjiensä hiilijalanjälkeä (Nissinen ym., 2017). Palveluiden ohella jakaminen voi perustua myös lainaamiselle tai yhteisomistajuudelle.

Asuintalossa tai -korttelissa jakamistaloutta voidaan toteuttaa yhteiskäyttöautojen tai -polkupyörien kautta. Yhteistiloihin voidaan myös esimerkiksi sijoittaa asukasyhteisön tai jonkin ulkoisen tahon hallinnoima ”kirjasto”, josta asukkaat voivat lainata tai vuokrata esimerkiksi harrastusvälineitä tai työkaluja ilman omistamisen tarvetta. Hyvin varusteltu yhteiskeittiö voi puolestaan vähentää tarvetta omistaa suurta astiastoa tai harvemmin käytettäviä keittiökoneita – ja samalla mahdollistaa suurempien juhlien järjestämisen kuin yksityisasunnossa. Monikäyttöinen ja asukkaita aktiivisuuteen kannustava piha-alue tarjoaa mahdollisuuksia kokeilla vaikkapa ruuan kasvatusta ilman siihen vaadittavien resurssien omistamista.

3.3.2 Käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä

Kolmannen hierarkiatason kolme R-imperatiivia – uudelleenkäyttö, korjaaminen ja kierrätys – koskettavat käytön aikana erityisesti tavaroita ja ovat siten enimmäkseen käyttäjien vastuulla, mutta suunnittelulla voidaan luoda otolliset puitteet näiden imperatiivien toteutumiselle. Imperatiiveihin vastataan edistämällä tilojen monikäyttöisyyttä sekä suunnittelemalla tilat tavaroiden käyttöänsä pidentämistä ja hukan vähentämistä silmällä pitäen.

Tilojen monikäyttöisyys

Tilojen monikäyttöisyyttä on sivuttu aiemmin luvussa 3.2.3 ja sen mahdollistaminen tilankäytön näkökulmasta liittyykin olennaisesti rakenteellisiin ratkaisuihin. Riittävän suuressa ja riittävän korkeassa tilassa on mahdollista järjestää joko erilaisia toimintoja samanaikaisesti tai erilaisia toimintoja eri aikoihin. Monikäyttöisyyttä voidaan kuitenkin tukea myös kalustuksen avulla. Tilan käyttötarkoituksen helppoa ja nopeaa muuttamista palvelevat esimerkiksi monikäyttöiset huonekalut, jotka palvelevat eri käyttötarkoituksia, sekä tilan rakenteisiin integroidut, helposti siirreltävät tai kokoon taittavat huonekalut (Tarpio, 2015). Tilan jakaminen eri toimintoihin voidaan myös mahdollistaa siirtoseinien avulla.

Käyttöänsä pidentäminen

Valitsemalla laadukkaita tuotteita ja käyttämällä niitä mahdollisimman pitkään kuluttajat voivat pienentää henkilökohtaista hiilijalanjälkeään sekä muita kulutukseensa liittyviä ympäristövaikutuksia (Nissinen, ym., 2017). Tavaroiden pidempää käyttöikää voidaan asunotosuunnittelussa tukea varaamalla asuinrakennuksista yhteiskäyttöön monenlaisiin toimintoihin soveltuvaa paja-tilaa, jossa asukkaat voivat huoltaa ja korjata tavaroitaan. Tavaroiden uudelleenkäyttöä voidaan lisäksi edistää järjestämällä asukkaiden käyttöön tila, kierrätyshuone, johon asukkaat voivat viedä itselleen tarpeettomia, mutta muuten käyttökelpoisia tavaroitaan uusien käyttäjien löydettäväksi.

Hukan vähentäminen

Asuinympäristöjen suunnittelulla voidaan tukea, hankaloittaa tai jopa estää asukkaiden kestävää käyttäytymistä. Esimerkiksi jätteiden lajittelua voidaan tukea lajitteluastioiden värikkyydellä, joka herättää huomiota, sekä astioiden koolla tai määrällä, joiden avulla viestitään, missä suhteessa eri jakeita keskimäärin tulisi syntyä, kun ne on lajiteltu oikein (Heiskanen, 2021). Lajittelusta tulee tehdä asukkaille mahdollisimman helppoa varaamalla esimerkiksi keittiöön riittävä tila kotitalousjätteiden lajittelulle ja sijoittamalla lajittelupiste luontevan kulkureitin varrelle taloyhtiössä.

Jos pihalla tai katolla on mahdollisuus laatikkoviljelyyn, taloyhtiön omalla kompostilla saadaan ravinteet kiertoon paikallisesti. Kompostinainesta voidaan hyödyntää tontilla myös muilla tavoin, esimerkiksi istutusten lannoituksessa. Suunnittelemalla rakennuksen vedenohjausjärjestelmät siten, että sadevesiä voidaan ottaa talteen kasteluvedeksi tontin kasvillisuuden tai laatikkoviljelmien hoitoon, voidaan keventää lähiympäristön hulevesirasitusta sekä vähentää vedenkulutusta.

Lähteet

Akinade, O. O. ym., 2017. Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management*, Issue 60, ss. 3–13.

Architects' Council of Europe, 2019. *Statement of the Architects' Council of Europe: Designing for a Circular Economy*. Helsinki, World Circular Economy Forum.

Brand, S., 1994. *How Buildings Learn. What Happens After They're Built*. New York: Viking Penguin.

Braungart, M. & McDonough, W., 2008. *Cradle to cradle. Remaking the Way We Do Things*. Lontoo: Jonathan Cape.

Bäckgren, N., 2021. Vuosaareen halutaan rakentaa kerrostaloasuntoja, joiden kattoterassit olisivat Helsingissä ainoita laatuaan. *Helsingin Sanomat*, 16.2. Saatavilla: <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000007805886.html> [Haettu 8.9.2021].

Cutieru, A., 2020a. A Guide to Design for Disassembly. *ArchDaily*, 10.7. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/943366/a-guide-to-design-for-disassembly> [Haettu 16.8.2021].

Cutieru, A., 2020b. Towards a Common Practice of Material Recycling. *ArchDaily*, 24.7. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/944297/towards-a-common-practice-of-material-recycling> [Haettu 16.8.2021].

Durmisevic, E., 2019. *Circular Economy in Construction - Design Strategies for Reversible Buildings*. BAMB - Buildings as Material Banks project.

Eberhardt, L. C. M., Birkved, M. & Birgisdottir, H., 2020. Building design and construction strategies for a circular economy. *Architectural Engineering and Design Management*.

EEA, 2020. *Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy*. European Environment Agency. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges> [Haettu 16.8.2021].

Elhacham, E. ym., 2020. Global human-made mass exceed all living biomass. *Nature*, 588, ss. 442–444.

Ellen MacArthur Foundation, 2013. *Towards the Circular Economy*. Saatavilla: <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o> [Haettu 16.9.2021].

Ellen MacArthur Foundation, 2017. *Schools of Thought*. Saatavilla: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/schools-of-thought> [Haettu 1.6.2021].

EPA, 2009. *OSWER Innovation Project Success Story: Deconstruction*. United States Environmental Protection Agency. Saatavilla: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/innovation_project_success_story_deconstruct.pdf [Haettu 16.8.2021].

FCG, 2020. *Ekologisen maisemasuunnittelun opas*. Saatavilla: https://www.fcg.fi/sites/default/files/2021-03/FCG-opas_web.pdf [Haettu 9.9.2021].

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. & Hultink, E. J., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, ss. 757–768.

Ghaffar, S. H., Burman, M. & Braimah, N., 2020. Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 244(118710).

Guldager Jensen, K. & Sommer, J., 2019. *Building a Circular Future*. 3. painos toim.

Hakaste, H., 2021. Purkumateriaalien kiertotalouden elementit. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 110–122.

Hart, J. ym., 2019. *Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment*. 26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference.

Heiskanen, E., 2021. Millaisilla asumisen ja rakennetun ympäristön ratkaisulla tuetaan ekologisesti kestävä elämäntapaa? Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 99–107.

Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A. & Seggewies, J.-K., 2019. *Manual of Recycling. Buildings as sources of materials*. München: Detail Business Information.

Huttunen, E., 2021. Kiertotalous vie kohti kestävä rakennettua ympäristöä. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 8–20.

Hyvönen, K., Pylvänäinen, E. & Väliniemi-Laurson, J., 2012. ”Hyvännäköistä ja erikoista”. *Asukkaiden näkökulma uusio- ja kierrätysmateriaalien käyttöön asuinkerrostalojen rakentamisessa*. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus.

Häkkinen, T., 2021. Tiedonhallinnan uudet tarpeet rakentamisen kiertotaloudessa. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 73–84.

Häkkinen, T. & **Kuittinen**, M., 2020. *Kohti vähähiilistä rakentamista. Opas arviointiin ja suunnitteluun*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

ISO, 2019. *Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance*, ISO 20887.

Jääskeläinen, L., 2021. Rakennuksen elinkaari ja rakentamisen sääntely. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 21–29.

Krokfors, K., 2017. *Time for Space. Typologically Flexible and Resilient Buildings and the emergence of the Creative Dweller*. Väitöskirja. Helsinki: Aalto-yliopisto Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu.

Lahdensivu, J. ym., 2015. *Betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuudet*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.

Lylykangas, K. ym., 2015. *Rakenteellinen energiatehokkuus. Opas*. Saatavilla: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/opaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf [Haettu 16.8.2021].

Michellini, G. ym., 2017. *From linear to circular economy: PSS conducting the transition*. The 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems.

Motiva, 2020. *Vedenkulutus taloyhtiössä*. Saatavilla: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-_ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiössä [Haettu 10.8.2021].

Mäntynen, E., 2015. Kerrostalosaunan suosio romahtanut – ”meneillään on saunarenessanssi”. *Yle*, 5.7. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-8125308> [Haettu 16.8.2021].

Nissinen, A. ym., 2017. *Tavoitteista toiminnaksi – kestävän kulutuksen ja tuotannon visio ja tärkeimmät toimenpiteet*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 31 | 2017.

Pirinen, A. & Tervo, A., 2020. What can we share? A design game for developing the shared spaces in housing. *Design Studies*, 69.

Raitanen, E. ym., 2017. *Biomassan kaskadiperiaate ja muut politiikkatoimet. Synergiat ja ristiriidat*. Suomen ympäristökeskus.

Reike, D., Vermeulen, W. J. & Sijors, W., 2018. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation & Recycling*, 135, ss. 246–264.

Savolainen, P., 2021. Kiertotalous on ikivanha juttu – perinteisen rakentamisen näkökulma. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 152–157.

Sjöstedt, T., 2018. *Mitä nämä käsitteet tarkoittavat?* Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/> [Haettu 25.5.2021].

Slaughter, E. S., 2001. Design strategies to increase building flexibility. *Building Research & Information*, ss. 208–217.

Tarpio, J., 2015. *Joustavan asunnon tilalliset logiikat*. Väitöskirja. Tampere: Tampereen yliopisto.

Tarpio, J., 2021. Hierarkkiset joustavuustasot ja rakennusten kiertotalous. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 62–72.

Tervo, A., 2021. *Domestic Space for Solo Living – Changing patterns in the Helsinki Metropolitan Area, Finland*. Väitöskirja. Helsinki: Aalto-yliopisto.

Tilastokeskus, 2020a. *115a -- Asuntokunnat, asuntoväestö ja lapsiasuntokunnat asumisväljyyden mukaan, 1990–2020*. Saatavilla: https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__asas/statfin_asas_pxt_115a.px/ [Haettu 10.8.2021].

Tilastokeskus, 2020b. *116a -- Asuntokunnat koon ja talotyyppin mukaan, 1985–2020*. Saatavilla: https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__asas/statfin_asas_pxt_116a.px/ [Haettu 10.8.2021].

Versnellingshuis Nederland circulair!, 2020. *How is a circular economy different from a linear economy?* Saatavilla: <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-is-a-circular-economy-different-from-a-linear-economy/> [Haettu 11.8.2021].

Wahlström, M., 2021. Materiaalien puhtaus ja vaaralliset aineet. Teoksessa: E. Huttunen, toim. *Kiertotalous rakennetussa ympäristössä*. Helsinki: Rakennustieto, ss. 134–142.