

LAJITTELEVAN PURETTAVUUDEN SUUNNITTELU

Rakennusten, rakenneosien ja -materiaalien kestävä hyötykäyttö
kiertotalouden keinoin

Ruskokivi Riku-Pekka

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Riku-Pekka Ruskokivi	Vuosi	2020
Ohjaaja	Mikko Vatanen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Lajittelevan purettavuuden suunnittelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	57		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lajittelevan purettavuuden suunnittelun haasteita, mahdollisuuksia, hyötyjä ja sen käyttöönoton ohjauskeinoja. Työ toteutettiin kirjallisuuskatselmuksena käyttäen sekä suomalaista että kansainvälistä tutkimusmateriaalia. Lajittelevan purettavuuden suunnittelu ei ole toteutunut vielä käytännössä, joten konkreettisia tuloksia oli haastava esittää.

Lajittelevan purettavuuden suunnittelu (Design for Deconstruction, josta käytetään tässä työssä lyhennettä DfD) on elinkaariajattelua ja materiaalitehokkuutta edistävää suunnittelua, jossa huomioidaan rakennuksen tai sen osien ja materiaalien uudelleenkäytettävyys rakennuksen elinkaaren lopussa. Kirjallisuuskatselmuksesta selvisi, että lajittelevan purettavuuden suunnittelu on ympäristöystävällisin, muttei aina edullisin tapa suunnitella rakennus. DfD-periaatteet tekevät rakentamisesta kestävämpää ja ne mahdollistavat kiertotalouden tavoin uudenlaisten työpaikkojen ja markkinoiden syntyminen.

DfD-periaatteiden käyttöönoton ohjauskeinoiksi osoittautui lainsäädäntö, koulutus, tiedottaminen ja modernit suunnittelutavat.

Lajittelevan purettavuuden suunnittelun haasteina nousi esille vakiintuneiden suunnittelukäytäntöjen ja yleisen mielipiteen muuttaminen, purkuhankkeiden aikataulu, kustannukset ja uudelleenkäytettävien materiaalien tarjonnan puute.

Tulevaisuudessa pilottihankkeet toisivat konkreettisia tuloksia DfD:n hyödyistä. Tietomallituksen käyttöönotolla voisi saada selville DfD-periaatteiden kannattavuuden ja mahdollisen lisäarvon tuomisen rakennushankkeelle jo hankesuunnitteluvaiheessa. Aihe on nouseva rakennusalalla ja lisätutkimuksille ja suomenkieliselle materiaalille on tarvetta.

Avainsanat

purkaminen, suunnittelu, kiertotalous, materiaalitehokkuus, elinkaari

Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Riku-Pekka Ruskokivi	Year	2020
Supervisor	Mikko Vatanen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Design for Deconstruction		
Number of pages	57		

The aim of this thesis was to study the opportunities, challenges, and benefits of Design for Deconstruction. The focus was also on policies that would help the implementation of Design for Deconstruction (DfD).

A descriptive literature review was carried out on the subject using both Finnish and international study materials. Most Finnish materials were focused on material efficiency and circular economy since there was lack of national studies on the subject.

The principles of DfD turned out to be part of material efficiency and life cycle thinking. DfD was the most eco-friendly way to design buildings despite of not being always the most inexpensive method. The challenges of implementation of DfD were the use of design methods, opinions of materials, the schedule of deconstruction, and the limited supply of reusable materials. Future pilot projects, modern designing tools such as Building Information Model (BIM) in the use of DfD tools and further study locally are needed.

Key words

deconstruction, design, circle economy, material efficiency, life cycle

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SUUNNITTELU.....	8
2.1	Suunnittelu yleisesti	8
2.2	Tarve- ja hankeselvitys	8
2.3	Hankesuunnittelu	9
2.4	Elinkaarisuunnittelu.....	10
3	PURKAMINEN YLEISESTI.....	12
3.1	Rakennus- ja purkujäte lukuina.....	12
3.2	Purkamisen syyt	13
3.3	Purkamisen muodot.....	13
3.4	Purkuhankkeen kulku pääpiirteittäin	14
3.5	Purkujätteen lajittelu	17
3.6	Purkamislupa	18
4	LAJITTELEVAN PURETTAVUUDEN SUUNNITTELU	19
4.1	Lajittelevan purettavuuden suunnittelun periaatteet.....	19
4.2	Kiertotalouden periaatteet.....	20
4.3	Elinkaariarviointi.....	21
4.4	Elinkaariarvioinnin sertifiointijärjestelmät	23
4.5	Kestävä suunnittelu	25
4.5.1	Kestävän suunnittelun periaatteet	25
4.5.2	Jätehierarkia ja ensisijaisuusjärjestys.....	26
4.5.3	6R-konsepti	27
4.6	Kestävän suunnittelun laadulliset kysymykset	31
4.7	Rakennuksen kerrokset	34
4.7.1	Kerrosten periaate	34
4.7.2	Kerrokset.....	35
4.7.3	Muunneltavuus.....	36
4.7.4	Liitokset	37
4.8	Rakennusten tietomallinnus eli BIM.....	38
4.8.1	Sujuvampi yhteistyö	39
4.8.2	Lajittelevan purun visualisointi.....	40
4.8.3	Uudelleenhyödynnettävien materiaalien määrittäminen	40

4.8.4	Purkusuunnitelman kehitys	40
4.8.5	Toimintakyvyn analysointi ja purkamisen vaihtoehtojen simulointi	41
4.8.6	Elinkaaren paranneltu hallinta	42
4.8.7	Olemassa olevien BIM-ohjelmien yhteensopivuus	42
4.9	Haasteet ja hyödyt	43
4.9.1	Ympäristö	43
4.9.2	Materiaalien laatu ja määrät	44
4.9.3	Kierrätyskeskukset ja varastointi	45
4.9.4	Kustannukset	45
4.9.5	Vanhat tavat	47
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	48
5.1	Ensisijaisuusjärjestys ja lainsäädännön ohjaus	48
5.2	Uudet suunnittelutavat	49
5.3	Puutavaran uudelleenkäyttö	50
5.4	Tulevaisuus.....	51
6	POHDINTA	52
7	LÄHTEET	54

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

DfD Design for Deconstruction (lajittelevan purettavuuden suunnittelu)

1 JOHDANTO

Jotta emme kuluttaisi kaikkia maailman resursseja loppuun ja täten edesauta suoraan itseemme vaikuttavaa luonnon monimuotoisuuden kaventumista, tulisi meidän siirtyä kiertotalouteen, jossa uusiutumattomien luonnonvarojen louhinnan sijasta pyrittäisiin materiaalien uudelleenkäyttöön ja suljettuun kiertoon, josta lopputilanteeseen päätyisi vain pieni osa nykyisestä määrästä. Purettavuuden suunnittelu on äärimmäisen tärkeässä roolissa rakennusalan siirtyessä kohti kiertotaloutta, sillä purettavuuden suunnittelu vaikuttaa rakennusmateriaalien ja -osien elinkaaren pidentämisen lisäksi myös jätevirtojen hallintaan ja ennaltaehkäisyyn.

Rakennus- ja purkujäte muodostavat jopa 30 % kaikesta EU:ssa syntyvästä jätteestä. Rakennusalan eniten käyttämät materiaalit betoni ja teräs tuottavat yhdessä noin 15 % maailman vuotuisista hiilidioksidipäästöistä. Rakennusala on yksi niistä teollisuuden aloista, jotka vaikuttavat toiminnallaan uusiutumattomien resurssien supistumiseen ja ilmastonmuutoksen edistämiseen. Oikeanlaisella suunnittelulla voidaan vaikuttaa rakennusten rakentamisesta, ylläpidosta ja purkamisesta syntyvään ympäristön kuormitukseen. Suunnittelulla voidaan esimerkiksi vähentää rakennus- ja purkujätteen syntyä, lisätä rakennusmateriaalien ja -komponenttien uudelleenhyödyntämistä, vähentää energian hukkakäyttöä ja edesauttaa sitoutuneen hiilen säilyttämistä pidempään kierrossa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa kirjallisuuskatselmuksen kautta niitä asioita ja keinoja, jotka edesauttavat rakennusten purettavuuden suunnittelun toteutumista ja käyttöönottoa rakennusalalla. Kirjallisuuskatselmuksessa tuodaan ilmi aiheesta tehdyissä tutkimuksissa usein esiin nousseita teemoja, kuten purettavuuden suunnittelun tuomat ympäristölliset ja taloudelliset edut, mahdolliset haitat sekä purettavuuden suunnittelun mahdollistamisen keinoja ja haasteita. Työssä esitellään myös tämänhetkisiä tapoja suunnitella ja purkaa rakennuksia sekä esittää niille uusia lähestymistapoja.

Tarkoituksena on myös perehtyä syvemmin itseäni kiinnostavaan aiheeseen ja tuottaa suomenkielistä materiaalia tärkeästä rakennusten suunnittelun kehitysuunnasta.

2 SUUNNITTELU

2.1 Suunnittelu yleisesti

Onnistunut rakennushanke on useiden eri suunnittelutehtävien tulos: hanke-, rakenne-, rakennus-, LVIS-, työmaa-, aikataulu-, tehtävä- ja turvallisuussuunnittelun lisäksi on monia muita suunniteltavia asioita ennen rakentamista, rakentamisen aikana sekä rakentamisen jälkeen. Omanlaista suunnittelua tarvitaan myös korjaus- ja purkutöiden toteutukseen. Suunnittelijoiden määrät ja tehtävät vaihtelevat rakennusprojektien mukaan: esimerkiksi omakotitalon pääsuunnittelija voi olla toteuttamassa suurinta osaa suunnitelmista, kun taas kerrostalohankkeessa voi olla kymmeniä eri osa-alueille erikoistuneita suunnittelijoita. Mitä enemmän suunnittelijoita, sitä tärkeämpää on sujuva yhteistyö heidän välillään.

Rakennuksen eri osa-alueiden suunnittelu vaatii yhteistyötä ja suunnitelmien yhteensovittamista: esimerkiksi arkkitehti voi suunnitella rakennuksen visuaalisen ilmeen ja tilojen toimivuuden, mutta joskus nämä visiot voivat olla rakennusteknisesti haastavia tai jopa mahdottomia toteuttaa. Täten rakennesuunnittelu vaikuttaa suoraan rakennussuunnitteluun. Vastaavanlaisesti LVIS-töiden tulee olla teknisesti oikein suunniteltuja, mutta ne tulee yhteensovittaa rakennuksen arkkitehtoniseen visioon. Suunnittelutehtävissä on siis paljon riippuvuussuhteita ja teknistä suunnittelua luovuuden lisäksi.

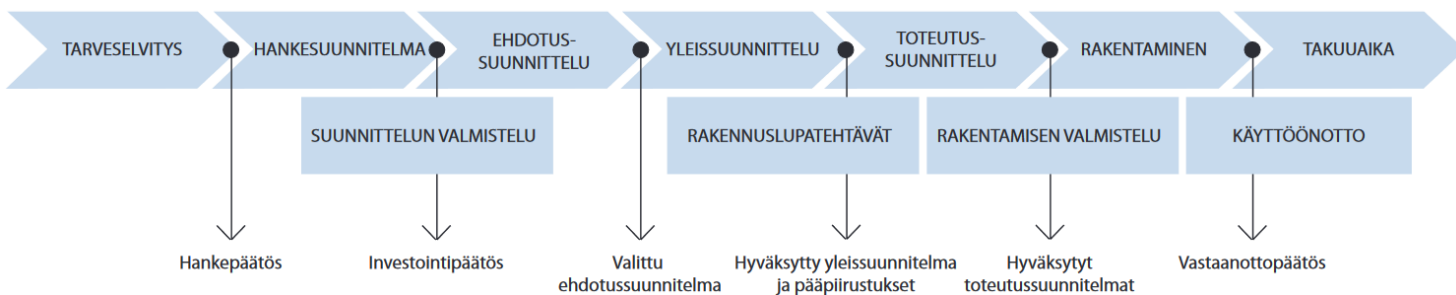
Yleisesti voidaan sanoa, että suunnittelua ohjaavat paikallinen lainsäädäntö, rakennusmääräykset, kaavoitukset, rakennustekniset rajoitteet sekä tilaajan toiveet ja vaatimukset.

2.2 Tarve- ja hankeselvitys

Tärkeimmät rakennushankkeen suunnitteluun vaikuttavat tekijät tulevat esille jo tarve- ja hankeselvitysvaiheissa. Ne ovat rakennushankkeen ensimmäisiä vaiheita, kuten alla oleva rakennushankkeen vaiheita esittävä kuvio 1 näyttää. Tarveselvityksessä perustellaan uuden rakennuksen rakentamisen tai vanhojen tilojen muuttamisen tarpeellisuutta, hahmotellaan tarvittavia tiloja ja niille asetettavia

vaatimuksia, otetaan selvää tilojen erilaisista käyttömahdollisuuksista ja arvioidaan vaihtoehtoisten ratkaisujen kustannuksia. Talotekniikkaan liittyvät vaatimukset, ratkaisut ja hankintapäätökset vaikuttavat merkittävästi rakennushankkeen investointi- ja ylläpitokustannuksiin ja siksi niiden huomioiminen jo tarveselvityksessä tarkentaa hankkeen kustannustavoitteita. (RT 10-11290 2017, 3.)

Hankeselvityksen pohjana on tilojen käyttäjien ja omistajien tavoitteet. Nämä tavoitteet voidaan kuvata esimerkiksi jo tarveselvityksessä tai erillisissä dokumenteissa. Hankeselvitys on kaksiosainen: toisessa otetaan selvää rakennuspaikan rakennuskelpoisuudesta ja toisessa kerätään tietoja ja suunnittelutavoitteita hankeohjelman pohjaksi. (RT 10-11290 2017, 4.)



Kuvio 1. Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224 2016, 1)

2.3 Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelu on rakennusprojektien kulmakiviä. Hankesuunnittelu asettaa projektille tavoitteet koskien hankkeen laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ylläpitoa ja ajoitusta (RT 18-11220 2016, 2). Hankesuunnittelun lopputuloksena muodostuu hankesuunnitelma, joka koostuu hanke- ja projektiohjelmasta (RT 10-11105 2013, 2).

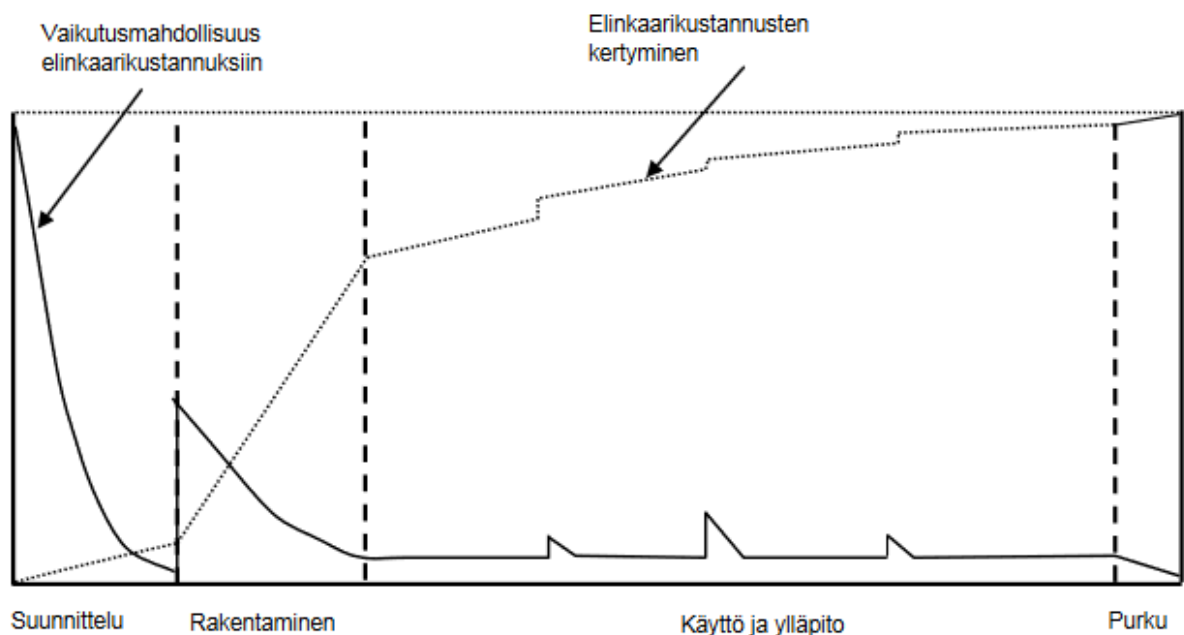
Hankesuunnitteluvaiheessa asetetaan elinkaari- ja energiatavoitteet. Talotekniikan ja energiantuotannon kustannukset rakennuksen elinkaaren aikana ovat merkittäviä kuluja, joiden huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa on äärimmäisen tärkeää. Energiatehokkuuden, elinkaariominaisuuksien ja muiden erityistavoitteiden huomioiminen hankesuunnitteluvaiheessa tarkentaa projektin budjettia ja vaikuttaa täten hankkeen ylläpitokustannusten lisäksi investointikustannuksiin. 100 vuoden tarkastelujaksolla katsottuna rakennuksen käyttövaihe tuottaa yli 80

% rakennuksen kasvihuonepäästöistä, joten myös tästä syystä hankesuunnitteluvaiheessa on syytä keskittyä elinkaari- ja energiatarvoitteisiin. (RT 10-11291 2017, 4; Pasanen, Bruce & Sipari 2012, 7.)

2.4 Elinkaarisuunnittelu

”Täydellisemmällään elinkaari ulotetaan kattamaan kaikki tuotteen tai palvelun edellyttämät toiminnot raaka-aineiden hankinnasta tuotteiden hylkäämiseen asti” (Antikainen 2010, 17).

Puhuttaessa rakennuksen elinkaaresta, saatetaan sillä kevyimmillään tarkoittaa rakennuksen rakentamisvaihetta, käyttöä ja purkua. Laajimmillaan elinkaari kattaa kuitenkin kaikkien rakennuksessa käytettävien rakenneosien, komponenttien ja materiaalien valmistukseen vaadittavat prosessit (sisältäen mm. louhinnan, kuljetukset ja jalostuksen), rakentamisen, käytön ja ylläpidon, purkamisen sekä purusta syntyvien purkujätteen uudelleenhyödyntämisen tai loppuhävityksen.



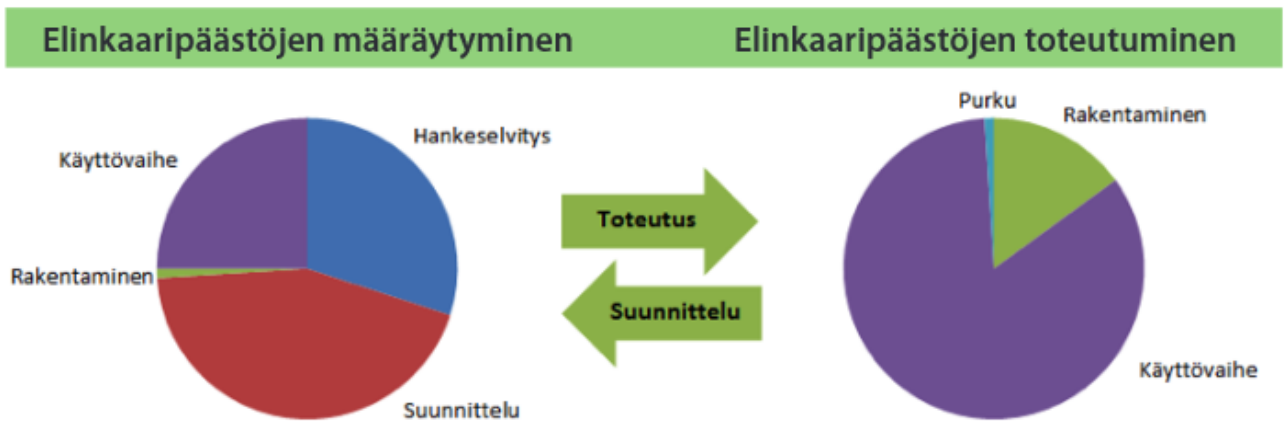
Kuvio 2. Mahdollisuudet vaikuttaa elinkaarikustannuksiin rakennushankkeen eri vaiheissa (Kosonen ym. 1999, 11)

Elinkaariarvio (Life Cycle Assessment = LCA) on yleisesti käytetty ja hyväksytty tapa arvioida jonkun tuotteen tai palvelun elinkaaren ympäristövaikutuksia. Elinkaariarviossa otetaan huomioon tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana aiheutuvat ympäristövaikutukset, sisältäen myös kaikkien käytettyjen materiaalien

valmistuksen ja kuljetusten aiheuttamat ympäristökuormat. Elinkaariarvion käyttäminen mahdollistaa eri tuotteiden vertailun kestävän toiminnan näkökulmasta. (Crowther 2001, 3.)

Kuviosta 2 nähdään, kuinka suunnittelunaikaisilla päätöksillä voidaan vaikuttaa rakennushankkeen kustannuksiin läpi sen elinkaaren. Päätelmä on varsin selvä: mitä enemmän suunnitteluvaiheessa keskitytään koko elinkaareen aina rakentamisesta purkamiseen, sitä enemmän vaikutetaan syntyviin elinkaarikustannuksiin.

Kuviosta 3 nähdään puolestaan, kuinka hankeselvitys- ja suunnitteluvaihe vaikuttaa elinkaari päästöjen määräytymiseen ja toteutumiseen. Lähestyipä rakennushanketta taloudellisesta tai ilmastopäästöjen näkökulmasta, voidaan todeta suunnitteluvaiheen olevan avainasemassa sekä kustannusten että päästöjen vähentämisessä koko rakennuksen elinkaaren aikana.



Kuvio 3. Ympäristövaikutusten ja elinkaarikustannusten määräytyminen ja toteutuminen (Pasanen, Bruce & Sipari 2012, 6)

3 PURKAMINEN YLEISESTI

3.1 Rakennus- ja purkujäte lukuina

Rakennusjätteeksi luetellaan kaikki jätemateriaali, joka syntyy rakentamisen, korjaamisen ja purkamisen yhteydessä. Rakennusjätettä ovat esimerkiksi maa- ja kiviainekset sekä puu-, metalli-, lasi- ja paperijäte. (Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 11.)

Tilastokeskuksen viimeisimmät Suomen rakennusjätteitä koskevat tilastot ovat vuodelta 2017. Tuolloin Suomessa syntyi 14,7 miljoona tonnia rakennusjätettä, joka oli 12,6 % kokonaisjätemäärästä (yhteensä 117,1 miljoonaa tonnia). Suurin osa rakennusjätteestä oli maamassoja ja muuta rakennusjätettä syntyi 1,6 miljoonaa tonnia. (Suomen virallinen tilasto: Jätetilasto 2017.)

Vaikka rakennusjätteen prosenttiosuus ei vaikuta suurelta, tulee huomioida, että 76 % Suomen jätteistä tulee kaivostoiminnasta ja louhinnasta. Rakennussektori tuottaa täten toiseksi eniten jätettä Suomessa. (Suomen virallinen tilasto: Jätetilasto 2017.)

Suomen talonrakentamisen jätteet muodostuvat seuraavasti:

- korjausrakentaminen: 57 %
- kokonaisten rakennusten purkaminen: 27 %
- uudisrakentaminen: 16 % (Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 11).

Jos hyödyntämistä energiana ei huomioida, Suomessa rakennus- ja purkujätteen kierrätysaste on arviolta 26 %. EU:n jäsenmaiden keskimääräinen kierrätysaste on 47 %. Kierrätysasteiden vertailu ei ole ongelmattonta, sillä kansalliset mittaus- ja tilastointitavat eivät ole yhtenäiset eivätkä täten täysin luotettavia. (Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 11–12.) Vuonna 2008 säädetyssä EU:n jäsenmaita koskevassa jätedirektiivissä on asetettu tavoitteeksi saada 70 painoprosenttia syntyvästä rakennus- ja purkujätteestä uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY).

EU-tasolla tarkasteltuna rakennus- ja purkujätteen osuus kaikesta jäsenmaiden jätteestä on 25–30 % (Euroopan komissio 2019).

3.2 Purkamisen syyt

Tyypillisin syy koko rakennuksen purkamiselle on sen elinkaaren päätyminen eli tilanne, jossa rakennuksen rakenteelliset ja/tai tekniset ratkaisut tulevat tiensä päähän (Crowther 2001, 2) ja niiden korjaus- tai ylläpitokustannukset olisivat kohtuuttoman suuret suhteessa niiden käyttäjille saatavaan hyötyyn. Alueen tai kiinteistön muutos- ja kehittämissuunnitelmat voivat niin ikään kannustaa esimerkiksi tyhjiksi jääneiden rakennusten tai yksittäisen rakennuksen purkamiseen (Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019, 13). Korjaus- tai muutostarpeiden takia voidaan purkaa myös vain osa vanhoista rakenteista (Lehtonen 2019, 14).

Purkaminen on siis viimeinen vaihtoehto, kun muita keinoja rakennuksen tai alueen parantamiselle ei ole. Suomen siirtyessä kohti kiertotaloutta, tulisi purkupäätöksen nojautua elinkaariarviointiin, jossa otettaisiin huomioon kustannukset, sosiaali- ja ympäristövaikutukset sekä kulttuurihistorialliset seikat. (Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019, 13.)

3.3 Purkamisen muodot

Purkaminen ei ole enää koko rakennuksen hävittämistä purkupallolla tai kauha-kuormaajalla ja purkujätteen sijoittamista kaatopaikalle. Purkukohteita ja -tapoja on erilaisia ja esimerkiksi jätelain- ja ympäristölainsäädännön kehittyessä kestävämpään suuntaan, on loogista, että on syntynyt tarkentavia termejä kuvaamaan tapauskohtaisesti purkuprosessin luonnetta.

Aina koko rakennusta ei tarvitse purkaa. Jos vain osa rakennuksesta puretaan, kuten sen siipi, voidaan puhua *osapurusta*. Korjausrakennustöissä on usein välttämätöntä purkaa osa hyväkuntoisistakin rakenteista ja materiaaleista, jotta saneerattavaan rakenteeseen päästään käsiksi. Tällöin puhutaan *saneerauspurusta*. (Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019, 12.)

Kokonaispurku tarkoittaa koko rakennuksen purkamista. Kokonaispurku voidaan toteuttaa osittain sekä käsi- että massiivipurkuna. *Käsipurussa* purkutyö toteutetaan käsityönä ilman raskaampia konetyökaluja, mutta käsityökaluja voidaan käyttää. *Massiivi- eli raskaspurku* keskittyy lähinnä suurten ja kantavien rakenteiden purkuun, jossa raskaamman purkukaluston, kuten purkukouralla varustetun kauhakuormaajan, käyttäminen on välttämätöntä. Kokonaispurku voi esimerkiksi alkaa *sisäpurulla*, jossa purku suoritetaan sisätilojen kautta käsipurulla tai pienkonekalustoa apuna käyttäen, jatkuu käsipurulla ja lopuksi raskaimmat ja suurimmat rakenteet puretaan massiivipurulla. Kokonaispurku voidaan tehdä järjestelmällisesti ja siten, että purusta syntyvät materiaalit ja jätteet lajitellaan purkupaikalla, jolloin voidaan puhua *lajittelevasta purusta*. (Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019, 12.)

Teollisuuslaitokset poikkeavat monella tavalla perinteisistä rakennuksista ja täten myös niiden purkutyöt voivat vaatia erityishuomioita, kuten kohteessa mahdollisesti esiintyvien haitallisten aineiden käsittelyyn liittyvää varautumista sekä laitoksessa käytettävien koneiden ja laitteiden purkamista. *Teollisuuspurku* pitääkin sisällään mahdollisia *kone- ja laitepurkuja*. Teollisuuspurku voi olla myös kokonais- tai osapurkua. (Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019, 12.)

Asbesti- ja haitta-ainepurku toteutetaan yleensä ennen muita purkutöitä erillisenä purkutyönä. Haitta-aineiden purkamisessa haitta-aineita sisältävät materiaalit poistetaan muista rakenteista ja toimitetaan asianmukaiseen käsittelyyn tai loppusijoitukseen. Töiden yhteydessä tulee torjua työntekijöiden ja lähiympäristön altistuminen haitta-aineille. (Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019, 12.)

3.4 Purkuhankkeen kulku pääpiirteittäin

Seuraavassa kappaleessa esitetään purkuhankkeen kulku pääpiirteittäin. Esimerkiksi Ratu 1221-S -kortista sekä Ympäristöministeriön laatiman Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjiille -julkaisusta löytyy kattavasti ja yksityiskohtaisesti päivitettyjä toimintaohjeita purkutöiden eri vaiheista.



Kuvio 4. Purkuprosessin päävaiheet (Lehtonen 2019, 14)

Purkuhanke alkaa päätöksellä purkaa rakennus tai sen osa, jonka jälkeen aloitetaan hankesuunnittelu. Hankesuunnitteluvaiheessa kerätään tietoa purkamisen laajuudesta, eri purkumuotojen vaihtoehdoista sekä mahdollisista rajoituksista purkamiselle, jotka voivat johtua rakennushistoriallisista seikoista tai rakennus-suojelun tarpeesta. Hankesuunnittelussa huomioidaan esimerkiksi turvallisuuden, ympäristöön ja jätehuoltoon liittyviä seikkoja sekä purusta syntyvien rakennusosien ja -materiaalien uudelleenkäyttöä, kierrätystä ja muita hyödyntämistapoja. Lisäksi tehdään purkukartoitus, jossa selvitetään rakennuksessa esiintyvät haitallisten aineiden ja niitä sisältävät materiaalit määrineen ja sijainteineen. Purkukartoitus sisältää myös toimintaohjeita ja suosituksia haitallisten aineiden purkumenetelmistä sekä niiden uudelleenhyödyntämisestä ja kierrätyksestä. (Lehtonen 2019, 16, 12.)

Varsinaista purkutyötä varten laaditaan päätoteuttajan toimesta purkusuunnitelma, joka sisältää purkutyön toimenpiteitä sekä tarkempia suunnitteluohjeita purkutyösuunnitelmaa varten. Purkutyösuunnitelma on purku-urakoitsijan tekemä dokumentti, josta ilmenee purkutyön toteutus rakennekohtaisesti. (Ratu 1221-S 2009, 3.)

Rakennuksen purkaminen vaatii lähes aina purkamisluvan, joka haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta (Lehtonen 2019, 17). Purkamisluvan hakuprosessi vaihtelee kunnittain. Esimerkiksi Oulun kaupungin rakennusvalvonnan mukaan purkamislupaa varten tarvitaan seuraavia asiakirjoja:

- lupahakemus
- pääpiirustukset
- rakennuspaikan omistus- tai hallintaoikeustodistukset

- naapurille ilmoittaminen
- tilastolomakkeet (RK9-lomake eli ilmoitus rakennuksen poistumasta)
- selvitys purkujätteestä
- purkutöiden vastaavan työnjohtajan hakemus.

Varsinaisen purkutyön toteutusta ohjaa hankesuunnitteluvaiheessa tehdyt suunnitelmat, kuten turvallisuusasiakirja, purkusuunnitelma, purkukartoitus, ajallinen suunnittelu, urakkaohjelma ja purkutyöselostus (Lehtonen 2019, 27). Purkutyöselostus pitää sisällään muun muassa purkutyön laajuutta, purkamistapaa, purkulaitteita- ja kalustoa, suojausta ja purkamisjärjestystä koskevat tiedot sekä purkupiirustukset (Palolahti, Koskenvesa, Lindberg & Sahlstedt 2014).

Purkamistapa ja -järjestys riippuu kohteesta ja määräytyy suunnitelmien pohjalta. Purkamistapa voi olla joku kappaleessa 3.3 esitetty purkamistapa tai näiden yhdistelmä.

Syntyvä purkujäte lajitellaan joko paikan päällä purkukohteessa materiaalikohtaisesti kontteihin tai jätteenkäsittelylaitoksella. Purkujätteen hyödyntämistä ja kierrättämistä ohjaa Suomen jätelain-, ympäristölain- ja asbestilainsäädännöt sekä Valtioneuvoston erilliset asetukset ympäristönsuojelusta ja jätteistä (Lehtonen 2019, 13). Jätelain tarkoituksena on edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja ehkäistä sekä roskaantumista että jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvia riskejä ympäristölle ja terveydelle (Jätelaki 646/2011 1 §).

Purkujätteistä, jotka viedään purkupaikalta toisaalle, tulee tehdä siirtoasiakirjat (Lehtonen 2019, 58). Jos purkuhankkeesta syntyy vaarallista jätettä tai toiminnasta syntyy yli 100 tonnia jätettä vuodessa, tulee toiminnanharjoittajan pitää kirjaa syntyvistä jätteistä (Jätelaki 646/2011 118 §). Kirjanpidosta tulee ilmetä syntyneen jätteet lajit, määrät, laadut, syntypaikat sekä minne jäte on toimitettu (Lehtonen 2019, 58).

Purkuhankkeen päätoteuttajalla on vastuu huolehtia purkutyömaan järjestyksestä ja valvoa hankkeen suunnitelmien toteutusta. Työntekijöiden velvollisuuksiin kuuluu ylläpitää työmaa siistinä ja turvallisena. (Lehtonen 2019, 56.)

Purkutyön valmistuttua tehdään loppu- tai jäteraportti, josta ilmenee purkumateriaalien ja -jätteiden lajit, jättekoodit, jätelajien toimituspaikat määrä- ja jätelajitietoineen sekä ehjänä irrotetut ja uudelleenkäytetyt rakennusosat, materiaalit ja laitteet. Syntyneen purkujätteen määriä tulisi verrata ennakoarvioihin jätteen määrästä. Mikäli ero on suuri, tulisi raportissa arvioida syitä suureen poikkeamaan. (Lehtonen 2019, 58.)

3.5 Purkujätteen lajittelu

Jätelain 8 §:n mukaan kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan noudatettava etusijajärjestyksestä eli vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Purkuhankkeissa jätteen syntymistä on kuitenkin lähes mahdotonta välttää ja tällöin jätteen haltijan tulee ensisijaisesti valmistella jäte uudelleenkäyttöä tai toissijaisesti kierrätystä varten. Kierrätyskään ei ole aina mahdollista, jolloin jäte tulisi hyödyntää muulla tavoin, esimerkiksi energiana. Viimeisenä vaihtoehtona jätteen käsittelylle on loppukäsittely. (Jätelaki 646/2011 § 8.)

Purkuhankkeissa jätteen haltijan on huolehdittava jätteen erilliskeräyksestä jätelain 8 §:ssä esitetyn etusijajärjestyksen mukaan. Jätelain 15 §:n mukaan eri laatuja ja lajia olevat jätteet on kerättävä ja pidettävä jätehuollossa toisistaan erillään, jotta ehkäistään terveydelle ja ympäristölle aiheutuvaa vaaraa tai haittaa. Valtioneuvoksen jäteasetuksen 16 §:ssä tarkennetaan rakennus- ja purkujätteen erilliskeräystä, jonka mukaan seuraavat jätelajit on erilliskerättävä:

- betoni-, tiili-, kivennäislaatta- ja keramiikkajätteet
- kipsipohjaiset jätteet
- kyllästämättömät puujätteet
- metallijätteet
- lasijätteet
- muovijätteet
- paperi- ja kartonkijätteet

- maa- ja kiviainesjätteet.

3.6 Purkamislupa

Purkamislupa tulee hakea purettaessa rakennusta, joka sijaitsee asemakaava-alueella tai alueella, jolla on rakennuskielto. Lupa tarvitaan myös, mikäli sitä vaaditaan yleiskaavassa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 127 §; 53 §; 128 §). Lupa voidaan olla myöntämättä, mikäli purkaminen aiheuttaisi rakennettuun ympäristöön sisältyvien perinne-, kauneus- tai muiden arvojen turmeltumisen tai kaavoituksen toteutuminen kärsisi purusta (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 § 139). Myönnetty purkamislupa on voimassa kolme vuotta, jonka aikana purkaminen tulee aloittaa. Mikäli purkamisen aloituksesta on kulunut yli viisi vuotta eikä purkutyötä ole suoritettu, lupa raukeaa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 § 143).

Purkamislupahakemusta varten täytyy määrittää purkutyön järjestäminen ja edellytykset sekä huolehtia syntyvän rakennusjätteen hallinnasta ja siitä, että käyttökelpoiset rakennusosat ohjataan hyödylliseen käyttöön (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 § 139).

Lupaa ei tarvita, mikäli vanhan rakennuksen tilalle nousevalle talolle on myönnetty rakennuslupa eikä silloin, jos purettavana kohteena on talousrakennus tai siihen verrattava vähäinen rakennus, joka ei ole historiallisesti tai rakennustaiteellisesti arvokas. Vaikka purkamislupaa ei tarvita, tulee kunnan rakennusvalvontaviranomaiselle tehdä kirjallinen purkamisilmoitus 30 päivää ennen purkutyön aloittamista. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 127 §.)

4 LAJITTELEVAN PURETTAVUUDEN SUUNNITTELU

4.1 Lajittelevan purettavuuden suunnittelun periaatteet

Rakennukset suunnitellaan lähtökohtaisesti pysyviksi rakennuksiksi, joilla on suunniteltu käyttöikä ja elinkaari. Rakennusten purkamiseen liittyviä toimia aletaan miettimään vasta elinkaaren lopun lähestyessä. Purettavien rakennusten rakennusosien, -komponenttien ja -materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrätys on kehittynyt huomasti, mutta sen täyttä potentiaalia ei olla vielä saavutettu, johtuen rakennussuunnittelun perinteisestä elinkaariajattelusta, jossa elinkaaren lopussa tapahtuvaa purkamista ei huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

Purettavuuden suunnittelu (Design for Deconstruction/Design for Disassembly = DfD) on suunnittelua, jossa huomioidaan elinkaaren lopussa tapahtuva purkaminen ja rakennus suunnitellaan siten, että se on mahdollista purkaa pala palalta ja purettu rakenteet voidaan palauttaa käyttöön tai kierrättää (Rios, Chong & Grau 2015, 1296). Rakennusosien, -komponenttien ja -materiaalien uudelleenkäyttö ja kestävä hyödyntäminen on suunnittelun keskiössä. Purettavuuden suunnittelu ei siis ole purkutyön suunnittelua, vaan strategia, joka tulee toteuttaa jo suunnitteluvaiheessa, koska suunnittelulla on seurauksia varsinaisessa purkuvaiheessa (Crowth 2001, 5). Crowth (2001, 5) kuvaakin lajittelevan purettavuuden suunnittelun olevan materiaalien kierrätettävyyden suunnittelua, jolla nostetaan rakennusosien ja -materiaalien asemaa kierrätyksen hierarkiassa. Crowth (2001, 2) muistuttaa eri materiaaleille ja aineille olevan erilaisia kierrätys- ja uudelleenhyödyntämistapoja ja siksi rakenneosat tulisi suunnitella siten, että niissä käytettyjen materiaalien uudelleenhyödyntäminen mietitään mahdollisimman pitkälle.

Rakennusalan toimijat kiinnittävät entistä enemmän huomiota kestävän rakentamisen periaatteiden ymmärtämiseen ja pyrkivät vähentämään rakentamisesta aiheutuvia pitkäaikaisia vaikutuksia ympäristölle. Suunnittelun aikana tulee olla käsitys siitä, miten suunnittelulla vaikutetaan ympäröivään ekosysteemiin rakentamisen aikana ja läpi rakennuksen elinkaaren. (Akinade ym. 2016, 3.)

Webster ja Costello (2005, 4) kertovat joidenkin rakennustyyppien ja -materiaalien olevan vaikeita, ellei jopa mahdottomia purkaa järjestelmällisesti tai niillä ei

ole uudelleenkäyttöarvoa, vaikka ne pystyttäisiin purkamaan pala palalta. He lisätaavat esimerkiksi monimutkaiset, mahdollisesti piilossa olevat tai yhdistetyt rakenteet ja järjestelmät, standardittomat tai erikoisvalmistetut osat, komposiittirakenteet, saman materiaalin eri laatuluokkien yhdistäminen ja haitalliset aineet tekijöiksi, jotka vaikuttavat rakennuksen lajittelevaan purkuun ja rakennusosien ja -materiaalien kestävään hyötykäyttöön.

Tällä hetkellä suunnittelulla pyritään helppoon ja tehokkaaseen rakentamiseen, mutta ennen pitkään suunnittelijan tulee miettiä myös elinkaaren lopussa tapahtuvaa purkamista. Tällöin tulee keskittyä siihen, kuinka rakennukset voidaan purkaa osiin rakennusosia ja -materiaaleja vahingoittamatta ja täten maksimoida niiden uudelleenkäyttöpotentiaali. (Talja 2014, 4.)

Rakennusosien ja -materiaalien uudelleenkäyttö pidentää näiden tuotteiden elinkaarta ja täten säilyttää niiden arvon pidempään, pitää niiden valmistuksessa syntyneen hiilidioksidin pidempään kierrossa. Lajittelevan purettavuuden suunnittelu nitoutuukin tiiviisti kiertotalouden periaatteisiin ja elinkaariajatteluun, ja siksi on hyvä käydä niiden perusteita läpi.

Koska lajittelevan purettavuuden suunnittelulle ei ole vielä vakiintunutta suomalaista vastinetta eikä siten lyhennettä, käytetään tässä työssä myöhemmin lyhennettä DfD (Design for Deconstruction) luettavuuden helpottamiseksi.

4.2 Kiertotalouden periaatteet

Elämme kulutusyhteiskunnassa, jonka ylläpitäminen kuluttaa luonnonvaroja kasvavalla tahdilla. Ihmiskunnan jatkuva kasvu kuluttaa maapallon resursseja, fossiilisia polttoaineita ja neitseellisiä raaka-aineita, joka johtaa luonnon monimuotoisuuden tuhoutumiseen ja ilmasto-ongelmiin. Jotta tältä vältytään, tulee siirtyä kiertotalouteen.

Kiertotaloudella tarkoitetaan talouden muotoa, jossa vanhan ajattelutavan mukaista materiaalivirtoihin perustuvaa ansaintamallia ei käytetä, vaan taloudellinen hyöty saataisiin muun muassa tuotteen arvon maksimoinnilla, eli säilyttämällä jonkin tuotteen tai sen osien arvo mahdollisimman pitkään alkuperäisellä tasolla.

Tähän arvon säilyttämiseen päästään pitkälle mietityllä suunnittelulla, jossa otetaan huomioon esimerkiksi tuotteen korjattavuus, uudelleenkäyttö ja hukan vähentäminen valmistusprosessissa. Kun rajallisia resursseja käytetään tehokkaasti ja järkevästi, saavutetaan myös ympäristöhyötyjä. Kiertotalouden periaatteisiin sisältyy uusiutuvien raaka-aineiden kasvava käyttö ja neitseellisten raaka-aineiden arvon säilyttäminen mahdollisimman pitkään. Kiertotalouden periaatteisiin kuuluu myös uusien taloudellisten mahdollisuuksien hyödyntäminen, kuten uudenlaiset työpaikat, palvelualustat sekä älylaitteiden ja digitaalisuuden tuoma lisäarvo. Jotta yksittäiset ihmiset pystyisivät olemaan aktiivisena osana kiertotaloutta, tulisi ihmisten muuttaa ajattelutapojaan ja kulutustottumuksiaan. Kiertotaloudessa talous voi kasvaa ilman luonnonvarojen kasvavaa kuluttamista. (Sitra 2016, 47, 22, 9, 47, 13.)

Ensimmäiset suurimmat ja näkyvimvät muutokset taistelussa ilmastonmuutosta vastaan ja resurssien säilymisen puolesta tapahtuvat päättävien elinten ja suurten yritysten kautta, mutta jatkossa myös yksittäisten ihmisten kulutusvalinnat ja -tavat vaikuttavat kiertotalouden toimivuuteen.

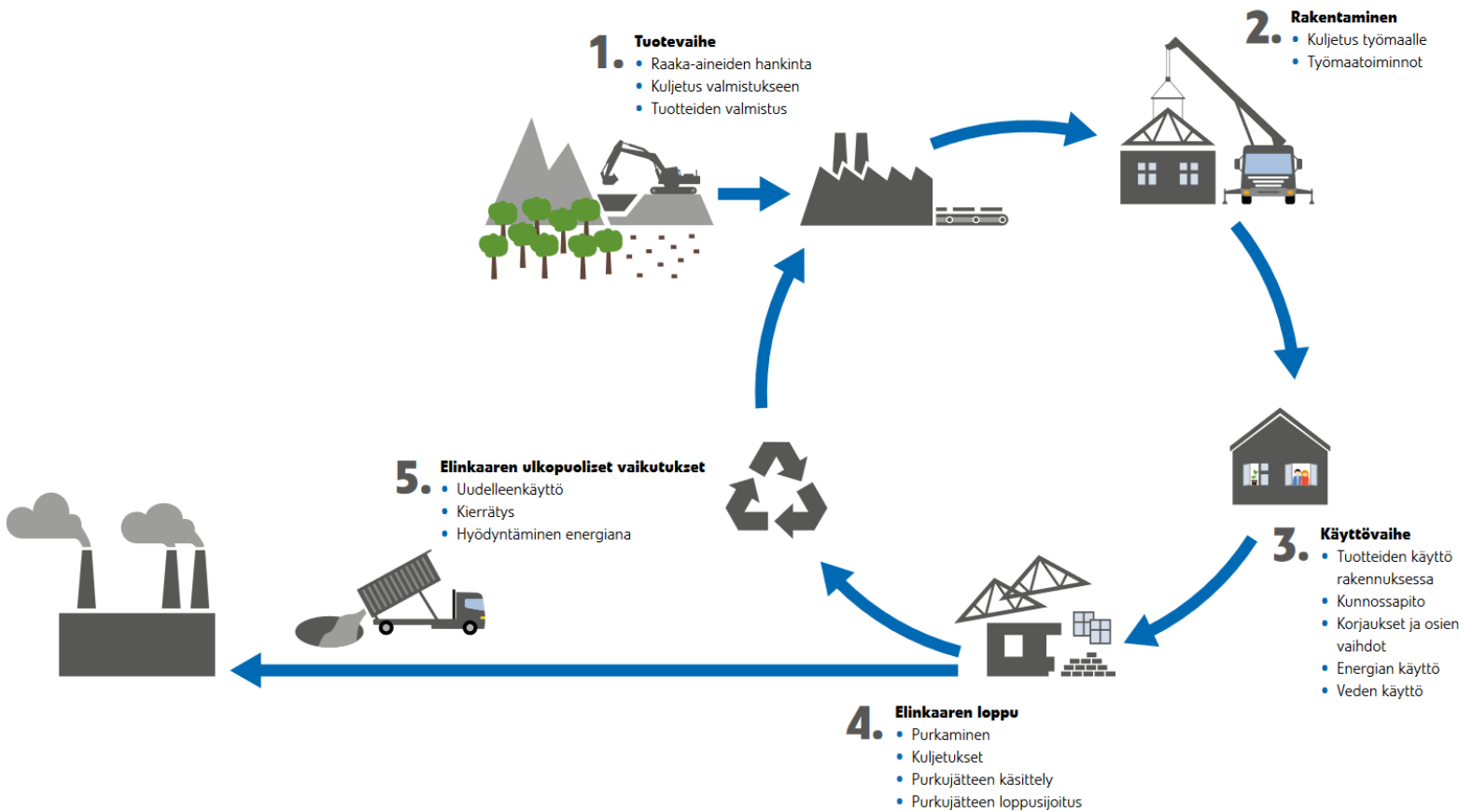
4.3 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi (Life Circle Assessment = LCA) on yleisesti käytetty ja hyväksytty keino arvioida jonkin tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren aikana. Arvioinnissa huomioidaan kaikki ne ympäristöä kuormittavat tekijät, jotka syntyvät käytettävien materiaalien ja komponenttien valmistuksesta ja kuljetuksesta. (Crowther 2001, 3.)

”Täydellinen elinkaari kattaa raaka-aineiden tai materiaalien hankinnan luonnosta, niiden prosessoinnin ja kuljetuksen tuotantolaitokselle, tuotteen valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen ja hylkäämisen” (Suomen ympäristökeskus 2017, 2).

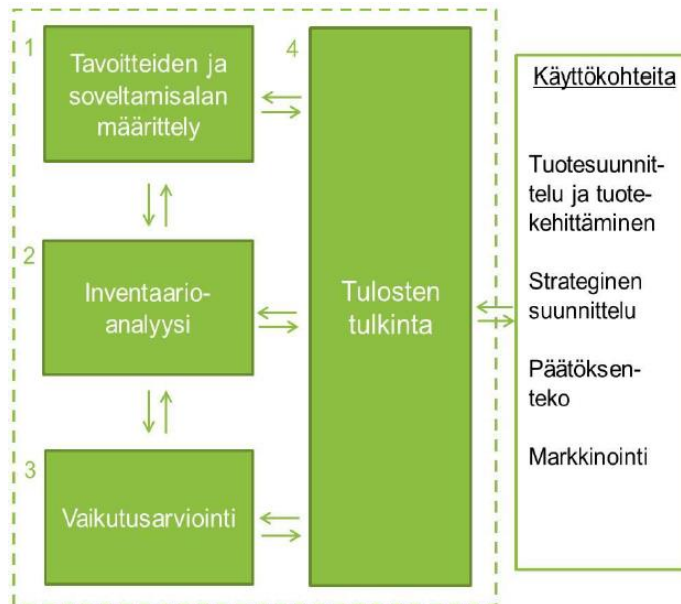
Täydellinen elinkaariarviointi olisi ihanteellista, mutta sen toteuttaminen on hyvin työlästä ja hidasta. Tämän takia elinkaariarviointia usein virtaviivaistetaan koskemaan esimerkiksi vain tiettyä osaa tuotteen valmistusprosessista tai tutkitaan esimerkiksi vain syntyneitä hiilidioksidipäästöjä. (Suomen ympäristökeskus 2017, 2.) Tingleyn ja Davisonin (2012, 388) mukaan rakennuksen koko elinkaarta ja

elinkaaren loppupään vaihtoehtoja voidaan tutkia energiatehokkuuden ($\text{kWh/m}^2/\text{a}$) ja hiilijalanjäljen ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$ [hiilidioksidiekvivalentti]) yksiköiden muodossa.



Kuvio 5. Rakennuksen elinkaaren tyypilliset vaiheet (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin 2019, 6)

ISO 14040 -sarjassa on kansainvälisesti standardoitu elinkaariarviointi, jossa esitellään elinkaariarvioinnin pääpiirteet, periaatteet ja tavoitteet. Standardi kattaa myös elinkaari-inventaarioselvitykset (Life Cycle Inventory = LCI) ja niiden vaikutusarvioinnit (Life Cycle Inventory Analysis = LCIA). (Suomen Standardisoimisliitto.) Inventaarioselvityksessä kerätään tavoitteen mukaisella tarkkuudella ja laajuudella tietoa yksikköprosessien materiaaleihin käytetystä energiasta ja syntyneestä hiilijalanjäljestä käyttäen yhteistä vertailuyksikköä. Vaikutusarvioinnissa tutkitaan esimerkiksi yksikköprosessien tai kaikkien syntyneiden päästöjen vaikutusta esimerkiksi terveydelle tai ympäristölle. (Suomen Ympäristökeskus 2017, 3–4.) ISO 14040 -standardia ei ole tarkoitettu sertifiointiin (Suomen Standardisoimisliitto), toisin kuin BREEAM tai LEED -työkaluja.



Kuvio 6. Elinkaariarvioinnin vaiheet ja käyttökohteita (ISO 14404:2006)

4.4 Elinkaariarvioinnin sertifiointijärjestelmät

Rakennusten tuottaessa kolmanneksen Suomen kasvihuonepäästöistä ja kuluttaessa noin 40 % käyttämästämme energiasta, on rakentamisesta aiheutuneiden ympäristövaikutusten arviointi, mittaaminen ja seuraaminen olennaista. Ympäristövaikutusten ja resurssitehokkuuden mittaamiseen ja vertailuun on tehty ympäristösertifiointijärjestelmiä. Sertifiointi toteutetaan aina kolmannen osapuolen toimesta. Sertifiointi mahdollistaa rakennusten keskinäisen vertailun ympäristövaikutusten näkökulmasta. (GBC Finland.)

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) on brittiläinen ympäristölaadun sertifioitu luokittelujärjestelmä, joka ohjaa rakennuksen suunnittelu-, rakennus- ja käyttövaiheita ympäristövaikutusten näkökulmasta. BREEAM kiinnittää huomiota esimerkiksi energian- ja vedenkulutukseen, materiaalivalintoihin, maankäyttöön johtamiseen ja päästöihin. Eri osa-alueille annetaan pisteytys, joka määrittää BREEAM-arvosanan, joka voi olla läpäisty, hyvä, erittäin hyvä tai erinomainen. Vaikka purettavuus ei kuulu pisteytykseen, lasketaan rakennusosien uudelleenkäyttö eduksi. BREEAM on yleisin luokitusjärjestelmä rakennusten ympäristövaikutuksille. (Talja 2014, 15.)

LEED on yhdysvaltalainen, maailmalla eniten käytetyin sertifiointijärjestelmä vihreään rakentamiseen. LEED-sertifiointilla on oma pisteytysjärjestelmä ja arvostukset (Certified, Silver, Gold ja Platinum), jotka määrittävät kolmas osapuoli rakennuksen tai rakennushankkeen ympäristövaikutusten pohjalta. Pisteytykseen kuuluu esimerkiksi energian-, veden- ja materiaalien kulutus koko rakennuksen elinkaaren aikana. Purkumateriaalien uudelleenkäytöstä voi saada lisäpisteitä. (Talja 2014, 15.)

BREEAM- ja LEED-järjestelmiin perustuen on kehitetty Green Star -arviointijärjestelmä, jonka keskiössä on materiaaleihin käytetyn energian minimointi. Uudelleenkäytön suunnittelu, materiaalien uudelleenkäyttö sekä rakennuksen rungon ja julkisivun uudelleenkäyttö tuovat lisäpisteitä arviointiin. (Talja 2014, 16.)

RTS-ympäristöluokitus on suomalainen sertifiointijärjestelmä, joka on tarkoitettu rakennushankkeiden tilaajille. RTS-ympäristöluokitus perustuu eurooppalaisiin standardeihin ja paikallisiin toimintamalleihin, joita ovat esimerkiksi Kuivaketju10, Viherkerroin-menetelmä ja Sisäilmastoluokitus. Suomen ilmasto, lainsäädäntö ja rakennuskanta on huomioitu RTS-ympäristöluokituksessa. Projektit arvioidaan asteikolla 1–5 tähteä. (GBC Finland.)

Toinen paikalliset olot huomioiva ympäristöluokitusjärjestelmä on Pohjoismaiden tunnetuin ympäristömerkki Joutsenmerkki. Joutsenmerkki kriteerit ovatkin kaikissa Pohjoismaissa samankaltaiset. Tarkoituksena on varmistaa rakennuksen turvallinen ja terveellinen käyttö sekä ympäristöystävällisyys läpi sen elinkaaren. Arvioinnin keskiössä on esimerkiksi energiatehokkuus, materiaalivalinnat, kierrätys ja kierrätettävyys. Suomessa Joutsenmerkin myöntää Ympäristömerkintä Suomi Oy, kun se on todennut rakennuksen läpäisevän kriteerit. Joutsenmerkki ylläpitää tietokantaa materiaaleista, jotka ovat hyväksytyjä Pohjoismaissa ja Joutsenmerkittyjen tuotteiden käyttö tuo arviointiin lisäpisteitä. (GBC Finland.)

Ympäri maailmaa on kehitetty erilaisia ympäristösertifiointijärjestelmiä, jotka ottavat huomioon paikalliset lähtökohdat. Rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnin lisäksi on kehitetty erillisiä rakennuksen käyttäjien hyvinvointiin keskittyviä järjestelmiä, jotka mittaavat esimerkiksi sisäilman laatua. (GBC Finland.)

4.5 Kestävä suunnittelu

4.5.1 Kestävän suunnittelun periaatteet

Erinäiset tutkimukset ovat viitanneet siihen, että suurin este lajittelevalle purkamiselle on suunnitteluprosessi (Rios ym. 2015, 1301). On selvitetty, että suunnittelijat ovat vastuussa lähes jokaisesta esteestä rakennuksen kierrätysprosesissa. Rakennus- ja purkuhankkeista vastaavat urakoitsijat voivat osaltaan vastata kierrätysasteen kasvattamisesta, mutta esimerkiksi suunnittelijoiden tekemät valinnat rakennusosista ja -materiaaleista vaikuttavat suoraan urakoitsijoiden kierrätys- ja uudelleenkäyttömahdollisuuksiin. Täten suunnittelijoilla on kantava rooli vaikuttaa siihen, että talteenotetut materiaalit uudelleenkäytetään. (Srour, Chong & Zhang 2010, 356–357.)

Myös korjaushankkeissa syntyvään purkujätteen määrään ja kierrätysasteeseen vaikuttavat päätökset tehdään suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaihe määrittää kuinka materiaalitehokkaasti työ toteutetaan. Materiaalitehokkainta on välttää turhaa purkamista, käyttää säästäviä purkumetodeja ja lajitella jätteet oikein. Materiaalitehokkuus pyrkii vähentämään materiaalihukkaa ja ehkäisemään jätteen syntyä, jolloin luonnonvarojen kulutus ja päästöjen määrä vähenee. (Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 17, 9–10.)

Crowthin (2001, 3) mukaan rakennuksen suunnittelussa on tuhansia strategioita, joilla voidaan vähentää rakennusten aiheuttamia kuormitusta ympäristölle. Crowth (2001, 3–4) listaa erinäisten tutkijoiden ja arkkitehtien näkemyksiä kestävänn suunnittelun pohjaksi: esimerkiksi resurssien minimointi ja resurssien uudelleenkäytön maksimointi, energian säästö, holismi, rakennuksen käyttäjien turvallisuuden ja terveyden huomioiminen sekä ympäristön saastuttamisen minimointi ilmenevät yhteisiksi tekijöiksi.

Kestävää ja resurssitehokasta suunnittelua edustaa modernit rakennustavat, kuten moduulirakentaminen, talopaketit, muunneltavat rakennukset (Akinade ym. 2016, 4) sekä määrämittaisten raaka-aineiden ja esivalmistettujen rakennusosien käyttö (Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 17). Esimerkiksi esivalettujen betonirakenteiden ja -osien käyttö vähentää rakennustyömaalla syntyvää jätettä keskimäärin 52 % (Jaillon, Poon & Chiang 2009, 316).

Suomen uudisrakennusten energiatehokkuus on parantunut esimerkiksi tiukentamalla rakennusosien sallittua lämmönläpäisykerrointa eli U-arvoa, jolloin rakennusten lämpöhäviöt ovat pienentyneet. Rakennusosien sallitun lämmönläpäisykertoimen tiukentaminen on ohjannut suunnittelijoita valitsemaan ja yhtäaikaista rakennustuotteiden valmistajia tekemään energiatehokkaampia ratkaisuja ja tuotteita. On selvää, että ympäristöystävällisempien tuotteiden kysyntä tuottaa tarjontaa. Yhtä lailla on loogista, että ympäristöystävällisempien tuotteiden kattava tarjonta kannustaa suunnittelijoita tekemään kestävämpiä ratkaisuja useampiin erilaisiin hankkeisiin ja kasvava kysyntä taas laskee tuotteiden hintoja. Rakennushankkeiden energiatehokkuutta ohjaavat Maankäyttö- ja rakennuslaki.

Tämä on aihe, joka nousee useissa purettavuuden suunnittelua koskevissa teksteissä: uudelleenkäyttöä ja kierrätettävyyttä tukevien rakennusosien, -komponenttien ja -materiaalien tarjonta sallii rakennussuunnittelijoiden tehdä valintoja, jotka mahdollistavat rakennukset suunniteltavaksi DfD-periaatteiden mukaan.

4.5.2 Jätehierarkia ja ensisijaisuusjärjestys

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY 4 artiklassa esitellään *jätehierarkia*, jota jäsenmaiden tulee soveltaa ensisijaisuusjärjestyksenä jätteen synnyn ehkäisyssä. Jätehierarkia on yksi keinoista, joilla pyritään saavuttamaan 70 % kierrätysaste EU:n jäsenmaissa vuoteen 2020 mennessä. Tämä ensisijaisuusjärjestys on kirjattu myös Suomen jätelakiin (2011/646, 8 §) ja se on:

- jätteen synnyn ehkäiseminen
- jätteen valmistelu uudelleenkäyttöön
- jätteen kierrätys
- jätteen muu hyödyntäminen (kuten energiana)
- jätteen loppukäsittely.

Jätehierarkia koskee myös rakennus- ja purkujätettä. Täten rakennusalan toimijoiden, mukaan lukien arkkitehdit ja suunnittelijat, tulisi noudattaa tätä ensisijaisuusjärjestystä ja pyrkiä suunnitteluvalinnoillaan ehkäisemään jätteen syntyä. Olisikin kiintoisaa selvittää, kuinka hyvin rakennusalan toimijat todella seuraavat

tätä ensisijaisuusjärjestystä kaikissa suunnittelu- ja toteutusvaiheissa ja aiheutuuko tämän järjestyksen noudattamatta jättämisestä seurauksia.

Valtioneuvoston asetus jätteistä (15 §) ohjaa rakennushankkeeseen ryhtyvää huolehtimaan hankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta siten, että toiminnasta syntyy mahdollisimman vähän rakennus- ja purkujätettä ja että toimitaan etusijajärjestyksen mukaisesti.

Jätelain noudattamista valvovia viranomaisia ovat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus sekä kunnan ympäristönsuojeluviranomainen (jätelaki 24 §).

Vaikka jätelain lisäksi myös maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaavat selkeästi rakennus- ja purkujätteen minimointiin sekä rakentamista ympäristöystävällisempään suuntaan, ei rakennuksia suunnitella koko elinkaarta ajatellen (Kojo & Lilja 2011, 46).

Sitran kiertotalouden tiekartassa (2016, 22) esitetään yhdeksi tavoitteeksi parantaa yhteistyötä teollisuuden ja lupaviranomaisten kanssa vuoteen 2025 mennessä, jotta uudenlaiset edistykselliset hankkeet voisivat menestyä. Tähän sisältyy myös jätelain tulkinnan helpottaminen. Kestävämpää suunnittelua tukevat Suomen ja EU-tasolla esimerkiksi rakentamismääräysten sekä rakennus- ja purkujätettä koskevien lakien ja asetusten kehittyminen kestävämpään suuntaan.

4.5.3 6R-konsepti

6R-konsepti on kehittyneempi versio 3R-konseptista, johon kiertotalouden periaatteet ovat pitkälti tukeutuneet (Reduce, Reuse, Recycle). 6R-konsepti, kuten 3R-konseptikin, on kehitetty ympäristöä säästäväksi työkaluksi muuttamaan teollista tuotantoa kestävämmäksi. 6R pyrkii suljettuun materiaalikiertoon, jossa tuotteen elinkaari voi alkaa alusta useampaan kertaan. Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti tarkoitus on pyrkiä vähentämään resurssien tuhlaamista tehokkaalla tuotesuunnittelulla ja käyttöönottamalla parannettuja resurssitehokkuuden menetelmiä. Materiaalivirtojen jatkuva kierto mahdollistetaan tuotteiden kiertoopalauksella, uudelleenkäytöllä, kierrätyksellä ja uudelleenvalmistuksella. (Jawahir & Bradley 2016, 104.)

Reduce eli vähentäminen. Tarkoitus on vähentää esituotannossa käytettyjä resursseja, energiankäyttöä, materiaaleja ja muita tuotannon resursseja kuin myös vähentää tuotteen käytöstä syntyviä jätteitä ja päästöjä. Vähentämisen tavoite voidaan mieltää ulottuvan kaikkiin muihin 6R-konseptin osiin. (Jawahir & Bradley 2016, 105–106.)

Recover eli kiertoopalauttaminen on toimintaa, johon sisältyy elinkaarensa lopun saavuttaneiden tuotteiden kerääminen, osiin purkaminen, järjestäminen ja puhdistaminen hyötykäyttöä varten. Kiertoopalauttaminen mahdollistaa seuraavaksi esitettyjen konseptin vaiheiden toteutumisen ja on täten avainasemassa 6R-konseptissa. (Jawahir & Bradley 2016, 105–106.)

Reuse eli uudelleenkäyttäminen, jolla viitataan koko tuotteen uudelleenkäyttöön tai tuotteen osien uudelleenkäyttöön ensimmäisen elinkaarensa jälkeen. Tällöin tuote tai sen osat mahdollistavat uuden elinkaaren eikä neitseellisiä materiaaleja tarvita tuotteen tai sen osien valmistukseen. (Jawahir & Bradley 2016, 105.)

Recycle eli kierrätys. Kierrätyksessä materiaalit, jotka voitaisiin luokitella jätteeksi, otetaan hyötykäyttöön muuttamalla ne uusiksi materiaaleiksi tai tuotteiksi (Jawahir & Bradley 2016, 105).

Redesign eli uudelleensuunnittelu, jossa suunnittelun avainasemassa on käytettyjen osien, resurssien ja materiaalien käyttäminen uudessa tuotteessa (Jawahir & Bradley 2016, 105).

Remanufacture eli uudelleenvalmistus on vaihe, johon sisältyy käytettyjen tuotteiden esivalmistelu kunnostusta varten. Tuotteet kunnostetaan vastaamaan niiden alkuperäistä tilaansa tai lähes uutta vastaavaa tuotetta, uudelleenkäyttämällä mahdollisimman monia osia vähentämättä tuotteen toimivuutta. (Jawahir & Bradley 2016, 105.)

Kestävällä teollisella tuotannolla on kolme olennaista yhteensovittavaa elementtiä: valmistettavat tuotteet, niiden valmistusmenetelmät ja erilaiset järjestelmät (kuten logistiikka, varastot, hallinto ja tuotantoketjut). Jawahir & Bradley (2016, 104) esittävät kestävän teollisen tuotannon mahdollistavan toimivuudellaan ylivoimaisten tuotteiden valmistuksen, mikäli tuotteiden ja toimitusketjun

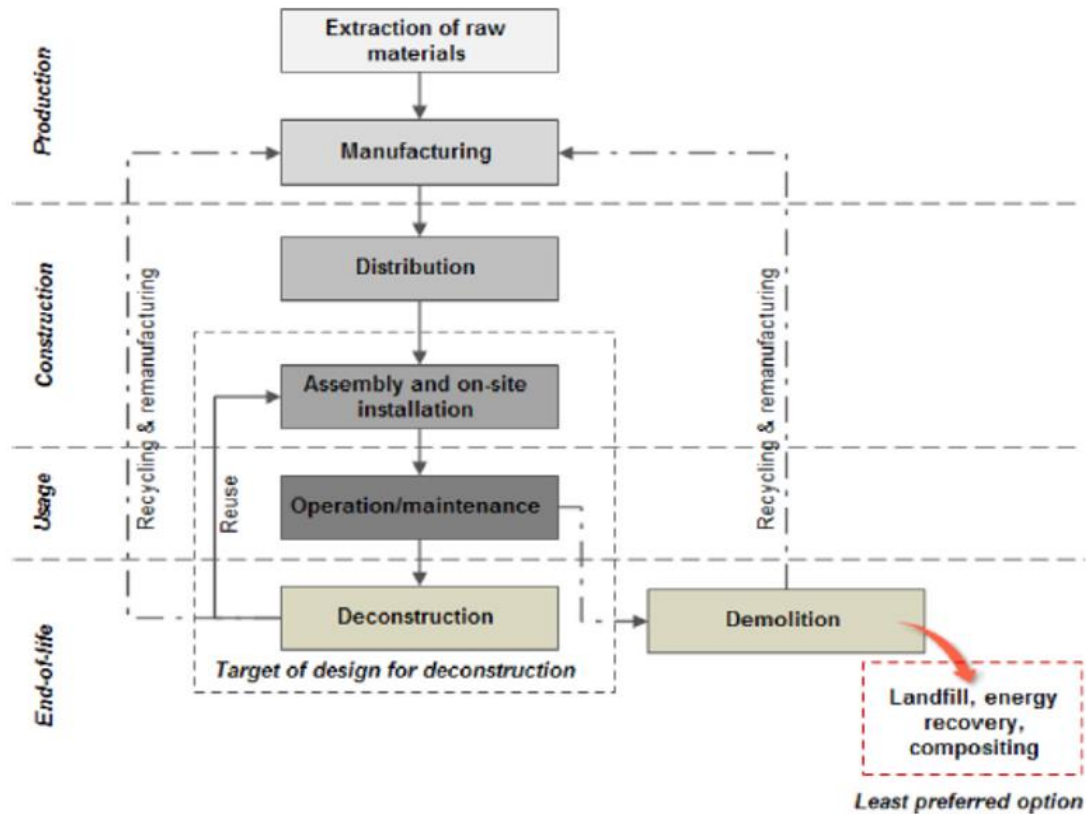
suunnittelua, tuotantoa, johtamista ja logistiikkaa pystytään ymmärtämään, kehittämään ja hallitsemaan holistisella ja yhtenäisellä tavalla. (Jawahi & Bradley 2016, 104.)

6R-konseptin käyttöönotossa on monia haasteita, kuten korkeat aloituskustannukset ja konseptin soveltaminen erilaisiin tuotannon muotoihin, mutta Jawahirin ja Bradleyn (2016, 106) mukaan 6R-periaatteiden omaksuminen osaksi kiertotaloutta voi luoda kansantaloudelle, yhteiskunnalle ja luonnolle kestäväää arvoa. Eittämättä tuote, joka on valmistettu uudelleenkäytettävistä ja kierrätettävistä materiaaleista ja on suunniteltu korjattavaksi uudenveroiseksi käyttäen kierrätys- tai uusiomateriaaleja tai uudelleenkäytettäviä osia, on kuluttajalle, valmistajalle ja ympäristölle kannattavin vaihtoehto. Tällainen tuote, jonka arvo säilyy mahdollisimman pitkään, on kuluttajalle mieluisa, sillä vaikka tuote muuttuisi itselleen tarpeettomaksi, sen jälleenmyyntiarvo säilyy korkeana. Valmistajalle taas on kannattavaa uudelleenvalmistaa tai korjata tuote, jos siitä saadaan uutta vastaava tuote ilman materiaalien lisähankintaa ja jonka arvo ei ole muuttunut. Kun materiaalit saadaan pysymään mahdollisimman pitkään kierrossa, louhinta vähenee ja ympäristön kuormitus pienenee.

6R-konseptin mukaisesti suunniteltujen rakennustuotteiden käyttö rakentamisessa nostaisi rakennuksen arvoa pidentämällä niin koko rakennuksen kuin myös sen rakennusosien elinkaarta. 6R-periaatteiden hyödyntäminen niin rakennustuote- kuin rakennussuunnittelussa edistäisi Suomen ilmastonmuutos- ja kiertotaloustavoitteita vähentämällä rakennus- ja purkujätteen määrää, pitäen rakennustuotteiden valmistuksessa syntyneen hiilidioksidin pidempään sidottuna ja pitämällä yllä rakennusten arvoa kauemmin.

Akinanden ym. (2017, 261) mukaan Jaillon & Poon (2014) ovat todenneet rakennuksen uudelleensijoituksen tai rakenneosien uudelleenkäytön vaativan vähemmän energiaa kuin kierrätys tai uudelleenvalmistus. Tämän takia olisi hyödyllisempää, mutta myös haastavampaa, pyrkiä rakenteiden uudelleenkäyttöön ilman jatkoprosessien tarvetta. Kuvio 7 näyttää rakentamisen suljetun kierron, jonka myötä luonnonresurssien käyttö sekä rakennus- ja purkujätteen määrä vähenisi. (Akinande ym. 2017, 261.) Kuviossa on 6R-konspetin mukaisia vaihteita, mutta Akinanden ym. (2017, 261) mielestä lajittelevan purkamisen suunnittelun tulisi

pyrkii käyttämään rakennusosia ja -materiaaleja ilman uudelleensuunnittelua ja uudelleenvalmistusta. Tällöin myös logistiikkaan ja varastointiin liittyvät ongelmat saadaan minimoitua.



Kuvio 7. Rakennuksen elinkaaren suljettu materiaalikierto (Akinande ym. 2017, 262)

Tällä hetkellä eri rakenteiden uudelleenkäyttöä hankaloittaa esimerkiksi entistä monimutkaisemmat liitostavat ja järjestelmät (EPA 2008, 11) ja esimerkiksi betonisten rakennuselementtien uudelleenkäyttö on mahdollista, jos liitoksissa käytetään pultti- tai hitsausliitoksia (Betoniteollisuus ry). Nämä ovat suunnitteluvaiheessa tehtyjä ratkaisuja, jotka vaikuttavat rakennuksen purettavuuteen ja uudelleenkäytettävyyteen. 6R-periaatteiden tuominen osaksi suunnittelua vaikuttaa rakennuksen purettavuuden helpottamisen ja rakennusosien ja -materiaalien uudelleenkäyttöpotentiaalin kasvattamisen lisäksi myös käyttövaiheen aikana tehtyihin korjauksiin ja remontteihin: jos rakennusosat suunnitellaan korjattaviksi joko sen osia korjaamalla tai uusimalla tai helposti korvattaviksi uusilla, helpottaa tämä saneeraus- ja korjaustöitä. Tähän eri rakennusosien korjaamiseen ja korvaamiseen liittyy vahvasti myöhemmin esitettävä *taso-* eli *layers-*suunnittelu, joka nousee usein lajittelevan purettavuuden suunnitteluun liittyvissä teksteissä.

4.6 Kestävän suunnittelun laadulliset kysymykset

Ihmiset suosivat enemmän uutta kuin korjattua tai uudelleenkäytettyä tuotetta, sillä uusi tuote mielletään kestävämmäksi ja laadukkaammaksi. Rios, Chong & Grau (2015, 1300) esittävätkin, että neitseellisten materiaalien käyttö koetaan esteettisyyden ja turvallisuuden näkökulmasta laadukkaammaksi kuin käytössä olleet materiaalit. Tämä on kiertotalouteen siirtymisen suuria hidasteita, sillä esimerkiksi tuotteiden laatuun liittyvien käsitysten muuttaminen vie aikaa eikä sitä voi tehdä pakottamalla. Sen sijaan, että ihmiset mieltävät käytetyn tuotteen tai sen osan huonommaksi, koska se on ollut aiemmin käytössä, ihmisten tulisi enemmän ajatella tuotteen tai sen osan olevan hyvä, jos se on jo kertaalleen täytännyt tehtävänsä ja pystyy siihen uudestaan. Oikeanlaisella laadunmittaamisella ja -varmistamisella pystytään parantamaan luottamusta käytössä olleiden tuotteiden uudelleenhyödyntämiseen. Riosin ym. (2015, 1300) mukaan kierrätettävien materiaalien lisääntyvä käyttö johtaa siihen, että niiden laadunarviointi rakennusteollisuuteen kelpaaviksi on paremmin todistettavissa.

Koska purettavuuden suunnittelu on vahvasti suunnittelua materiaalien uudelleenkäytölle (Crowth 2001, 5), on välttämätöntä miettiä uudelleenkäytettävien materiaalien laatua. Rios ym. (2015, 1300) esittävät uudelleenkäytettävien materiaalien laadun ja määrän olevan toistaiseksi epävarmaa ja yhtenäisten standardien ja sääntöjen puutteen olevan yksi syistä rakenteiden uudelleenkäytön vähyydelle. DfD-periaatteiden tullessa osaksi normaalia suunnittelukäytäntöä, tulee kierrätysmateriaalien kysyntä kasvamaan. Onnistuneet hankkeet tulevat kannustamaan seuraavia tekijöitä, joka sekin kasvattaa kierrätysmateriaalien käytön kysyntää ja samalla kasvattaa niiden laadunmittaamisen tarvetta. Onnistuneet hankkeet, joissa käytetään uudelleenkäytettäviä materiaaleja, ovat myös ratkaisevassa roolissa yleisen mielipiteen muuttamisessa. (Rios ym. 2015, 1300.)

Rakennusosien ja -materiaalien laatuun liittyviä tekijöitä on myös sekä rakennus- että purkuvaiheen työn laatu. Jos työntekijöitä ei perehdytetä työhön kunnolla, voivat materiaalit vahingoittua huolimattoman rakennus- tai purkutyön seurauksena tai rakenteet rakennetaan huomioimatta tulevaa purkuvaihetta. (Rios ym. 2015, 1300.)

Huonosta perehdytyksestä johtuvat virheet kertovat koko lajittelevan purettavuuden suunnittelun onnistumisen herkkyydestä. Kaikkien hankkeen eri vaiheissa toimivien tekijöiden tulisi tiedostaa yhteiset tavoitteet ja ymmärtää omien tehtäviensä vaikutus kokonaisuuteen. Hyvä ja laaja-alainen suunnittelu voidaan pilata huolimattomilla toteuttajavalinnoilla, jotka eivät välitä projektin tärkeydestä ja sen tavoitteista, jolloin rakennus voidaan saada valmiiksi ajallaan ja toimivaksi, mutta ei enää purkuvaiheessa noudata suunniteltua lopputulosta. Myös päinvastoin purkuvaiheessa työskentelevät voivat vesittää jalon päämäärän saada rakenneosat mahdollisimman hyvin uudelleenkäytettäviksi. Siksi perehdytys ja työntekijöiden sitoutuneisuus koko rakennusprojektiin on ensisijaisen tärkeää.

Sitran kiertotalouden tiekartan tavoitteisiin kuuluu kestävä suunnittelu. Elinkaarivaihto kuuluu niin uusien tuotteiden ja rakennusten kuin myös kiertoon palautettujen materiaalien tuotesuunnitteluun. Näiden kiertotaloustuotteiden laadun tulee vastata myös uusien tuotteiden laatua. (Sitran kiertotalouden tiekartta 2016–2025, 22.)

Talja (2014, 19) huomioi, että uudelleenkäytettävien rakennusosien ja -tuotteiden tulee täyttää ajanmukaiset vaatimukset. Materiaalien tekniset ominaisuudet muuttuvat käytön aikana, liittyivät ne sitten kantavuuteen ja lujuuteen, ääni-, lämpö- ja paloeristykseen tai kosteuteen. Esimerkiksi muovituotteet haurastuvat, betoni karbonatisoituu ja teräsrakenteissa tapahtuu muodonmuutosta ja väsymistä. Siksi tuotteiden käyttöhistorian tuntemisesta on hyötyä arvioitaessa tuotteen uudelleenkäytettävyyttä. (Talja 2014, 19.)

Vielä ei ole käytäntöä, jolla pystytään osoittamaan uudelleenkäytettävien tuotteiden kelpoisuus rakentamismääräysten mukaan, vaan uudelleenkäytettävien tuotteiden kelpoisuus tulee osoittaa varmennustodistuksella, jolla osoitetaan tuotteen täyttävän lainsäädännössämme asetetut vaatimukset, tai rakennuspaikka-kohtaisella varmentamisella. Rakennusvalvontaviranomainen voi edellyttää rakennuspaikkakohtaisen varmentamisen tehtäväksi, mikäli rakenneosalla tai -tuotteella ei ole vaadittavia merkintöjä (CE-merkintä, kansallinen hyväksyntämenettely tai eurooppalaista teknistä arviointia [ETA] eli varmennustodistus) ja valvontaviranomainen epäilee, ettei rakenneosa tai -tuote täytä teknillisiä vaatimuk-

sia. Tämä voidaan tehdä, vaikka kyseessä ei olisi uudelleenkäytettävä tuote. Rakennuspaikkakohtaisen varmentamisen kustantaa rakennushankkeeseen ryhtynyt taho. (Talja 2014, 20–21.)

Rakennus- ja purkujätteestä suurin osa on betonijätettä ja toiseksi eniten puupohjaista jätettä (Häkämies S., Lähdesmäki-Josefsson, Pitkämäki & Lehtonen 2019, 2). Vuonna 2014 rakennusalan synnyttämistä mineraalijätteistä noin 81 % hyödynnettiin uudestaan materiaalina, kun taas kaiken puun materiaalihyödyntämisen aste oli 3 % (Suomen virallinen tilasto: jätetilasto 2014).

Tällä hetkellä Suomen purkupuu päätyy polttoon eli se hyödynnetään energiana (Häkämies ym. 2019, 8). EU:n jätedirektiivin mukaan energiana hyödyntämistä ei lasketa kierrätykseksi tai materiaalien hyödyntämiseksi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY; 2018/851), joka vaikeuttaa Suomen tavoitetta päästä purkujätteen 70 % kierrätystavoitteeseen.

Rakentamisesta ja purkamisesta syntyvää puuta on paljon eri laatuista, mutta puujätteen jakautumista eri laatuihin ei seurata. Häkämiehen ym. (2019, 21) toimesta tehtyjen purku-urakoitsijoiden haastattelujen mukaan puujätteestä käsittelemätöntä puuta on noin 50 %. Muu puujäte on suurpiirteisen lajittelun mukaan käsiteltyä tai kyllästettyä. Kyllästetty puujäte käsitellään vaarallisena jätteenä, joten se kerätään jo työmaalla erikseen, mutta käsittelemätön ja käsitelty purkupuu toimitetaan usein yhdessä puujätteen vastaanottajalle. (Häkämies ym. 2019, 21.)

Purusta syntyvä puujätteen päätyessä Suomessa polttoon, ei ole ollut tarvetta seurata ja mitata esimerkiksi mikrobi- ja kosteusvaurioita puutavarassa. Nämä vauriot voivat huonontaa merkittävästi puun laatua ja täten sen kestäviä uudelleenkäyttömahdollisuuksia. Esimerkiksi purkamista edeltävissä kartoituksissa tulisi entistä paremmin pyrkiä tunnistamaan haitalliset aineet, jos puutavara on tarkoitus hyödyntää muulla kuin polttamalla. (Häkämies ym. 2019, 21, 25.)

Tämä ei tosin liene taloudellisesti vielä kannattavaa ja Häkämies ym. (2019, 28) esittävät myös varastoinnin, logistiikan ja työmäärän olevan taloudellisia haasteita, jotka hankaloittavat puun hyötykäyttöä. Raakapuu on niin halpaa, ettei ilman merkittävää lisäarvoa kierrätyspuuta ole tällä hetkellä kannattavaa käyttää (Häkämies ym. 2019, 28). Ennen materiaalipihojen ja välivarastojen kehittymistä,

purkupuun uudelleenhyödyntäminen kannattaa keskittää esimerkiksi puupohjaisten levyjen valmistukseen polttamisen sijasta.

4.7 Rakennuksen kerrokset

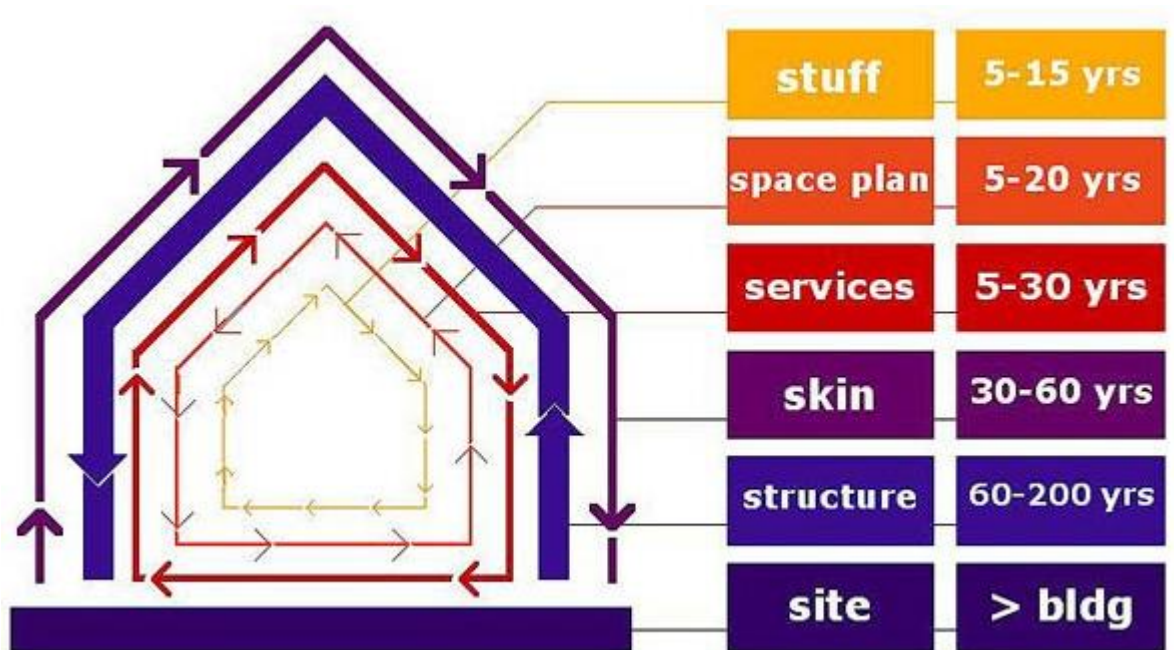
4.7.1 Kerrosten periaate

Lajittelevan purettavuuden suunnittelu voi Crowthin (2001, 2) mukaan helpottua, jos rakennuksen jakaa eri kerroksiin (layers). Kerrokset muodostuvat rakenneosista, joille on omat suunnitellut käyttöiät. Eri rakenneosien elinkaarien tunteminen parantaa käsitystä purettavuudesta, sillä kun tiedetään mistä materiaaleista ja komponenteista rakenneosat koostuvat ja mistä ne ovat peräisin, pystytään esimerkiksi päättelemään, milloin purkaminen on ajankohtaista. Kun kerrokset pidetään selvästi erillään toisistaan, pystytään myös päättelemään, mistä purkaminen tulisi tehdä. (Crowth 2001, 2.) Tällöin pelkästään koko rakennuksen purkaminen ja sen ajoittaminen ei helpotu, vaan myös eri rakenneosien korjaaminen, huolto ja päivittäminen onnistuu tehokkaammin. Webster & Costello (2005, 5) sekä Talja (2014, 9) mainitsevat mekaanisten järjestelmien, kuten putkistojen tai sähköjohtojen, ollessa kiinteästi sekoitettuna vaipparakenteeseen, vaikeuttavan näiden järjestelmien korvaamista elinkaarensa aikana sekä hankaloittavan niiden erottamista rakenteista purkuvaiheessa.

Ajatus rakenteiden kerroksellisuudesta ei ole uusi. Perinteiset japanilaiset hirsi-valmisteiset talot koostuvat yhä katon ja seinien rakenteellisten vaatimusten mukaan tehdystä kantavasta rungosta ja muunneltavasta sisärungosta, joka tehdään vastaamaan asukkaiden tarpeita ja toiveita. Tämä sisärunko on purettavissa ilman vaikutusta kantaviin rakenteisiin, jolloin pohjaratkaisua voidaan muuttaa vastaamaan toisenlaista käyttötarkoitusta. (Crowth 2001, 5–6.) Suomessa pitkään tavallisia ratkaisuja olleet kantavat seinät ja erilliset purettavissa olevat ja muunneltavuuden mahdollistavat väliseinät noudattavat samaa periaatetta.

Crowth (2001, 6) kertoo myös John Habrakenin tehneen jo 1960-luvulla ehdotuksia ”yhdestä kantavasta rungosta ja erillisistä asumuksista”: massiiviseen kantavaan runkoon voisi rakentaa erillisiä, itsenäisiä asuntoja, joiden ulkonäkökin voisi vaihdella. Näitä asuntoja ja niiden rakenneosia, kuten viemäröintiä, voisi purkaa ja muuttaa vaikuttamatta toisiinsa.

4.7.2 Kerrokset



Kuvio 8. Kuvaus rakennuksen kerroksista ja niiden elinkaarista purettavuuden suunnittelua varten (SEDA)

Kuvio 8:aa on usein käytetty esittämään rakennusten kerroksellisuuden ideaa ja eri kerrosten elinkaarien vaikutusta suunnitteluun. Alun perin Stewart Brandin vuonna 1994 julkaistun *How Buildings Learn* -teoksessa esiintyneeseen kuvaan ”leikkaavista kerroksista” (shearing layers) on lisätty kerrosten keskimääräinen elinkaari vastaamaan tätä päivää. Brand (1994) tarjoaa näiden kuuden S-kirjaimen selityksen:

Site eli rakennuspaikka on maantieteellinen sijainti ja laillisesti määritetty tontti, joka säilyy käytännössä ikuisesti, vaikka sille rakennettavat rakennukset puretaan.

Structure eli kantavat rakenteet kattavat myös perustukset. Kantavien rakenteiden korvaaminen uusilla on vaarallista ja kallista, joten niitä harvoin uusitaan. Brandin mielestä kantavat rakenteet tekevät rakennuksen; näiden rakenteiden elinkaari on 60–200 vuotta ja ovathan ne rakenteita, joita harvemmin uusitaan, toisin kuin muita rakennuksen osia.

Skin tarkoittaa ulkokuorta tai julkisivumateriaaleja. Ulkokuoren elinkaareksi arvioidaan nykyään 30–60 vuotta. Elinkaarensa lopun lisäksi se voidaan Brandin mukaan uusua vallitsevien trendien, tekniikan tai jälleenmyynnin takia.

Services eli palvelut, jotka mahdollistavat rakennuksen käytettävyyden. Palveluihin sisältyy esimerkiksi sähkö- ja telekaapelit, LVI-järjestelmät ja liikkuvat osat, kuten hissit ja rullaportaat. Jos näitä järjestelmiä on yhdistetty tai upotettu kiinteäksi osaksi muita rakenteita, voi se ennenaikaistaa koko rakennuksen purkua. Palveluiden elinkaari vaihtelee 5–30 vuoden janalla.

Space plan on rakennuksen sisusta: se koostuu ei-kantavista rakenteista kuten seinät, katot, lattiat ja ovet. Näiden elinkaariksi arvioidaan 5–20 vuotta, vaikka esimerkiksi kaupallisissa tiloissa pohjaratkaisut voivat muuttua muutaman vuoden välein.

Stuff eli tavarat, kuten huonekalut, lamput, keittiövälineet, kodinkoneet; kaikki lähes päivittäin käytettävät, irralliset tavarat. Tavaroiden käyttöiksi arvioidaan 5–15 vuotta.

4.7.3 Muunneltavuus

Akinade ym. (2016, 11) esittää niin sanotun kerrosajattelun suurimmaksi hyödyksi sen, että rakennusosia voi muunnella vaikuttamatta muihin kerroksiin. Talja (2014, 8) yhtyy tähän ja pitääkin purettavuuden keskiössä olevan eri käyttöikä tai kierrätettävyydestä olevien rakenteiden pitämisen toisistaan erillään, jolloin eri rakenteita voidaan purkaa ja vaihtaa niiden elinkaarien mukaan. Taljan (2014, 8) mukaan kerrosajattelun mukainen suunnittelu parantaa rakennusosien kestävä uudelleenhyödyntämistä ja mahdollistaa myös tilojen muunneltavuuden. Tilojen muunneltavuus voidaan huomioida jo kantavissa rakenteissa esimerkiksi siten, että runkoon tehdään valmiiksi lisäraudoitusta, joka mahdollistaa myöhempien aukkojen tekemisen (Talja 2014, 8–9).

Muunneltavuus ja helppo purkaminen vaatii moduulimittojen käyttöä ja standardikokoisten osien käyttö onkin lajittilevan purettavuuden edellytyksiä. Muunneltavuutta edesauttaa myös yksinkertaisten muotojen ja rakenteiden suunnittelu. (Rios ym. 2015, 1300, 1297; Talja 2014, 9.)

Rakennukset voidaan mieltää yhden kokonaisuuden sijasta kokoelmaksi eri kerroksia, joilla on omat käyttökänsä (Crowth 2001, 12) ja kierrätettävyyssasteensa (Talja 2014, 8). Taljan ja Crowthin tavoin esimerkiksi Guy & Shell (2002, 4) korostavat kerrosten helpon saavutettavuuden tärkeyttä, jotta purkaminen ja osien vaihto helpottuisi. Vaikka kaikkien kerrosten rakentaminen täysin erilleen toisistaan olisikin ihanteellista, olisi se liian monimutkaista ja kallista (Crowth 2001, 12). Tästä huolimatta, käyttäessä suunnittelun pohjana Brandin esittämää kuuden kerroksen periaatetta, voidaan parantaa käsitystä rakennusosien elinkaaresta ja niiden uudelleenhyödyntämisestä sekä saada tarkempaa tietoa siitä, milloin ja missä purkaminen on ajankohtaista. Eri kerrosten purku- ja korjausajankohdan sekä niiden paikan määrittämisen apuna voidaan käyttää myös myöhemmin käsiteltävää rakennuksen tietomallinnusta (Building Information Model = BIM).

4.7.4 Liitokset

Kerrosten välille tarvitaan rakenteiden välisiä ja sisäisiä liitoksia. Lajittelevan purettavuuden suunnittelussa tulee pyrkiä käyttämään mahdollisimman vähän erilaisia liitoksia ja niiden tulee olla helposti paikannettavissa. Liitosten tulee olla yksinkertaisia ja helposti toimivia. Vaikeasti kasattavat rakenteet ovat usein myös vaikeasti purettavissa. (Talja 2014, 9; Webster & Costello 2005, 5.)

Vaikka Betoniliitto ry:n mukaan betoniset rakennuselementit, joissa käytetään hitsiliitosta, ovat mahdollisia käyttää uudelleen, on Rios ym. (2015, 1297) sitä mieltä, että hitsiliitokset kuuluvat vältettäviin liitostyyppisiin, samoin kuin kemikaaleilla, kuten liimoilla, toteutetut liitokset. On selvää, että esimerkiksi pulttiliitokset ovat helpommin kasattavia ja etenkin irrotettavia kuin hitsiliitokset. Riosin ym. tapaan myös monet muut lajittelevan purettavuuden suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä tutkineet, kuten Guy & Shell (2002, 13) korostavat pulttien, muttereiden ja ruuvien avulla toteutettujen liitosten käytön tärkeyttä.

Rios ym. (2015, 1297) ehdottavat myös naulojen käyttöä sopivana liitostyyppinä, mutta Akinade ym. (2016, 11) listaavat naulojen käytön vältettäviin liitostapoihin. Guy & Shell (2002, 4) pitävät olennaisena osana lajittelevaa purkua liitosten ja eri materiaalien erottelun toisistaan, kuten naulojen erottelun. On pääteltävissä, että syvälle puurakenteeseen hakatut tai ammutut naulat ovat vaikeampia irrottaa

kuin esimerkiksi ruuvit. Vaikka rakenteen sisään katkaistut naulat eivät huonontaisi rakenteen laatua esimerkiksi kantavuuden näkökulmasta, voi ne lisätä käsittelyn aikaisia tapaturmariskejä ja hankaloittaa tuotteen mahdollista jatkojalostusta. Toisaalta tällä hetkellä rakentamisesta ja purkamisesta syntyvä puujäte päätyy polttoon (Häkämiesym. 2019, 8), joten ennen kuin purkupuun hyödyntäminen sellaisenaan on taloudellisesti ja laadullisesti kannattavaa, ei tämän kysymyksen ratkaisu ole ajankohtaista. Jotkut puurakenteiden, kuten liima- ja kertosuupalkkien ja CLT-laattojen, liitokset suunnitellaan kuitenkin siten, että ne ovat mahdollista purkaa ja käyttää uudelleen (Talja 2014, 22).

Useat teräsrakenteet ovat helposti purettavissa ja uudelleenkäytettävissä niissä käytettyjen liitosten ansiosta. Teräsrakenteiden palosuojaus voi olla este tuotteen uudelleenkäytölle palosuojamaalin tai palosuojaavan betonikerroksen takia. (Talja 2014, 19.)

4.8 Rakennusten tietomallinnus eli BIM

Rakennusten tietomallinnus eli BIM (Building Information Model) on kasvavassa määrin käytössä rakennusten suunnittelussa. Tietomallinuksen avulla rakennuksesta voidaan luoda digitaalisesti 3-ulotteinen malli, johon voidaan upottaa laajasti tietoa rakennuksesta, esimerkiksi liittyen rakennusosiin- ja materiaaleihin sekä ylläpitoon. BIM:n käytöllä voidaan saada niin suunnittelusta kuin itse rakennusprosessista tehokkaampaa. Eri osa-alueiden suunnittelijat voivat käyttää samaa reaaliajassa päivittyvää tietomallia, jolloin esimerkiksi suunnitelmien päällekkäisyydestä johtuvat ongelmat pienenevät. Työmaalla eri urakoitsijat voivat seurata rakennusvaiheiden toteutumista BIM:n avulla, jolloin muun muassa aikataulut toimii tehokkaammin. BIM:iä voidaan käyttää laajasti rakennuksen ja sen ylläpidon eri vaiheiden suunnitteluun, mutta rakennuksen elinkaaren loppupään suunnittelussa BIM:iä ei olla vielä hyödynnetty (Akinade ym. 2017, 261; Basta, Serror & Marzouk 2020; GBC Finland 2019).

Akinade ym. toteuttivat Isossa-Britanniassa vuonna 2016 tutkimuksen BIM:n käytöstä lajittelevan purettavuuden suunnittelun työkaluna ja apuvälineenä. Tutkimus toteutettiin fokusryhmähaastatteluina rakennusten suunnitteluun osallistu-

vien ammattilaisten kanssa, jotka olivat käyttäneet BIM:iä projekteissaan. Haastattelujen analysoinnilla saatiin esille haastatteluissa ilmi tulleita yhteisiä teemoja, jotka korostavat BIM:n käytännöllisyyttä lajittelevan purettavuuden suunnittelussa. Otettaessa käyttöön uutta suunnittelutyökalua lajittelevan purettavuuden suunnittelun toteutumiseksi, on tärkeää hyödyntää jo olemassa olevia rakennuksen elinkaarityönkaluja, kuten elinkaariarviointi (LCA) ja elinkaarikustannuslaskentaa (LCC). Tällöin elinkaaren lopun eri vaihtoehtoja voidaan hallita jo hanke-suunnittelusta lähtien. (Akinande ym. 2017, 264.)

Lappalainen (2017, 75–76) esittelee opinnäytetyönsä tuloksena purkutyösuunnittelun BIM:tä hyödyntäen tuovan lisäarvoa samoille alueille, joita Akinanden ym. (2017) haastateltavat pitävät tietomallinnuksen käytön suurimpina hyötyinä DfD-periaatteille. Näitä ovat esimerkiksi parempi yhteistyö osapuolten välillä, havainnollinen ja visuaalinen ennakkosuunnittelu, purkumäärien ja haitta-aineiden parempi hallinta, jätelaatujen ja -määrien tarkempi arviointi sekä tietomallin muokattavuus paperisiin dokumentteihin verrattuna.

4.8.1 Sujuvampi yhteistyö

Akinanden ym. (2017, 266) mukaan Oyedele & Tham (2007) toteavat, että onnistuneen rakennusprojektin avainasemassa on projektitiimien välinen laaja yhteistyö ja kommunikointi. Tämä pätee myös purettavuuden suunnitteluun. Jokaisen sidosryhmän tulee sitoutua mahdollistamaan ja pyrkimään suunnittelun mukaisiin ratkaisuihin läpi elinkaaren. Akinande ym. (2017, 268) viittaavat myös Eadien ym. (2013) näkemykseen siitä, että sidosryhmien yhteistyö kannustaa niin kutsutun jaetun riskin ja jaetun palkinnon -filosofiaan, joka luo tehokkuutta ja yhteisymmärrystä osallistujien välille. Se myös vähentää oikeusasteellisia riitautuksia. BIM:n käyttö ohjaa tähän filosofiaan, sillä BIM mahdollistaa sidosryhmien kommunikoinnin ja läpinäkyvän tiedonjaon, jota myös Basta ym. (2020) pitävät BIM:n tärkeänä ominaisuutena. BIM luo täten suunnittelun ohjausta ja tehtävien välistä tasapainoa, lisää yhteensopimattomuuksien havaitsemista ja mahdollistaa rakennus- ja purkujätteen hallinnan valvonnan. (Akinande ym. 2017, 269.)

4.8.2 Lajittelevan purun visualisointi

Haastateltujen mukaan rakenteiden ja toimintojen visualisointi on vähentänyt uudelleen tehtävän työn määrää, joka aiheuttaa huomattavan määrän rakennusjätettä. Heidän mukaansa BIM ei toistaiseksi mahdollista purkuvaiheiden visualisointia. Purkuvaiheiden visualisointi auttaisi tehostamaan lajittelevan purettavuuden suunnittelua, kun erilaisia ratkaisuja ja niiden seurauksia voidaan verrata keskenään. (Akinande ym. 2017, 267.)

Ympäristöministeriön kiertotalouden ajankohtaispäivän tilaisuudessa esiteltiin kiertotaloutta tukevia työkaluja 15.11.2019. Yhtenä työkaluna pidettiin BIM:iä, jonka avulla purkuvaiheen suunnittelun ja toteutuksen mallintaminen helpottaisi kiertotalouden mukaista rakentamista. Näin ei vielä kuitenkaan tehdä. (GBC Finland 2019.)

4.8.3 Uudelleenhyödynnettävien materiaalien määrittäminen

Haastateltujen mukaan lajittelevan purkamisen suunnittelu otetaan tosissaan, kun on mahdollista ennustaa uudelleenhyödynnettävien rakenneosien määrä ennen elinkaaren loppua. Tämä voi olla toteutettavissa BIM:n avulla, sillä BIM mahdollistaa jo nyt tärkeiden ominaisuuksien ja tuoteinformaation sisällyttämisen rakennusmalliin, joita voitaisiin laajentaa koskemaan materiaalien elinkaarta. Tällöin elinkaaren ennustettavuus paranee ja projektin sidosryhmät pystyisivät tahtoillaan arvioimaan uudelleenhyödynnettävien materiaalien määrät ja laadut. (Akinande ym. 2017, 268.)

Myös kiertotalouden ajankohtaispäivän tilaisuudessa todettiin BIM:n mahdollistavan rakennusmateriaalien luokituksen ja materiaalipankkien luomisen, joiden tietoja voitaisiin käyttää materiaalien arvonluontiin (GBC Finland 2019).

4.8.4 Purkusuunnitelman kehitys

Aikaisempien tutkimusten ja haastateltujen mukaan yksi BIM:n hyödyllisistä ominaisuuksista on siitä saatavat automaattiset laadulliset ja määrälliset suunnitteluparametrit, joiden pohjalta voidaan luoda raportteja. Kun tiedot tulevat automaattisesti rakennusmallista, vähenee inhimillisten virheiden määrä raporteissa.

Haastateltujen mukaan purkusuunnitelmien ja muiden dokumenttien, kuten ennakotilintarkastusraporttien, luominen helpottuisi ja tarkentuisi BIM:n käytöllä. (Akinande ym. 2017, 268).

Akinanden mukaan Davison ja Tingley (2011) esittävät purkusuunnitelman kehityksen olevan tärkeä vaatimus onnistuneelle purettavuuden suunnittelulle. BIM mahdollistaa suunnitteludokumenttien, kuten erilaisten piirrosten ja aikataulujen, tuottamisen rakennusmallinnusten pohjalta ja haastateltavien mukaan tätä ominaisuutta voisi käyttää purkusuunnitelmien kehittämisessä hyödyksi. (Akinande ym. 2017, 268).

Vaikka tutkimus on toteutettu Isossa-Britanniassa ja paikalliset purkusuunnitelmat saattavat poiketa sisällöltään suomalaisesta, BIM voisi tarjota apua esimerkiksi purkukartoituksen ja purkusuunnitelman tekoon, esimerkiksi purkumateriaalien määrän ja laadun sekä niiden uudelleenkäytettävyyssasteen arvioinnilla.

4.8.5 Toimintakyvyn analysointi ja purkamisen vaihtoehtojen simulointi

BIM mahdollistaa erilaisten simulaatioiden ja analyysien teon, kuten energiankulutukseen, akustiikkaan, lämpötilan säätelyyn, ilmastointiin ja ilmanlaatuun, käyttäjien liikkumiseen sekä valaistukseen liittyen (Manning & Messer 2008, 448; Eastman, Teicholz, Sacks & Liston 2011, 203). Nämä analyysit mahdollistavat rakennuksen toimintojen arvioinnin ennen rakentamisen aloitusta ja täten eri suunnitteluvaihtoehtojen vertailun, jolloin voidaan valita kustannustehokkain ja kestävin ratkaisu. Analyysien avulla voidaan myös tunnistaa suunnittelusta ja toteutuksesta johtuvia virheitä, joiden muuttaminen on halvempaa ennen rakentamista. Haastateltujen mukaan BIM-ohjelmistot eivät kuitenkaan tarjoa mahdollisuutta purettavuuden suunnittelulle, vaikka suoritusanalyysit voisivat tunnistaa myös purettavuuden suunnittelun virheet. Suoritusanalyysien avulla voitaisiin myös perustella purettavuuden suunnittelun toteuttamista, kun ympäristölliset ja taloudelliset hyödyt voidaan niiden avulla todistaa. Akinanden ym. (2017) mukaan Hamidi ja BulBul (2012) ovat tuoneet ilmi, että DfD-periaatteiden mukainen purkaminen on ympäristöystävällisin, muttei kuitenkaan aina edullisin ratkaisu. Siksi taloudellisten hyötyjen todistaminen jo ennen rakentamista olisi todella tärkeää. (Akinande ym. 2017, 268–269.)

4.8.6 Elinkaaren paranneltu hallinta

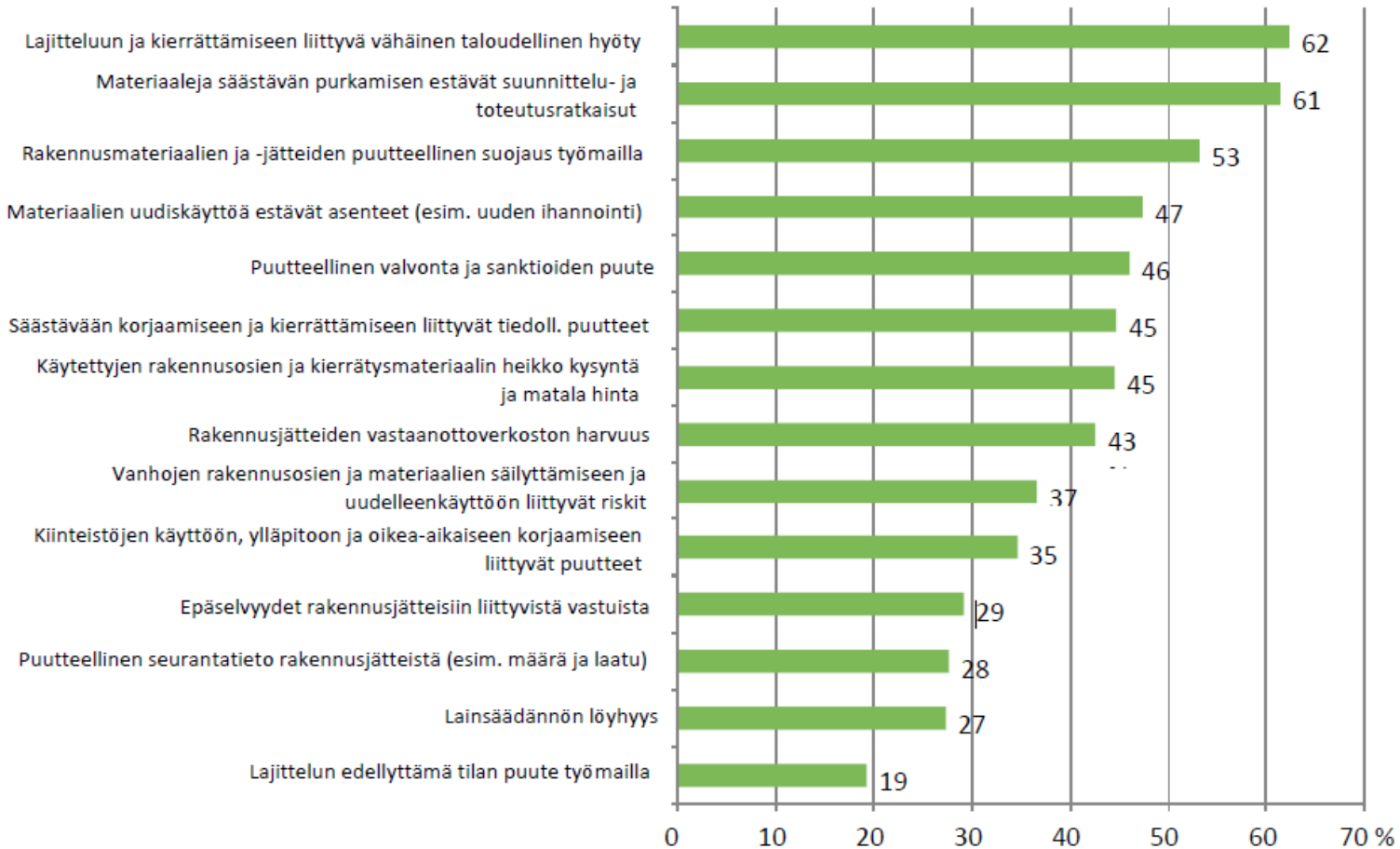
BIM:n käyttö ohjaa rakennusprojektin kaikkia vaiheita suunnittelusta elinkaaren loppuun asti. BIM:llä voidaan kerätä ja sisällyttää yhteiseen malliin suunnitteluun, rakentamiseen ja toimintoihin liittyvää yksityiskohtaista tietoa, joita voidaan käyttää hyödyksi päätösten teossa ja ongelmien tunnistamiseen ajoissa. Kun tietoa kerätään ja säilytetään koko elinkaaren ajan, mahdollistaa se myös tehokkaan tilanhallinnan ja haastateltujen mukaan se voisi tuoda apua hyödyllisten ratkaisujen löytämiseen elinkaaren lopussa. (Akinande ym. 2017, 269.) Vuonna 2013 Isossa-Britanniassa BIM:iä käytettiin kuitenkin usein lähinnä suunnittelun eri vaiheissa ja rakennusvaiheessa, mutta 5-kertaisesti harvemmin rakentamisen jälkeiseen aikaan eli ylläpitoon ja hallintaan (Eadie, Browne, Odeyinka, McKeown & McNiff 2013, 148).

Haastatellut korostivat myös jokaisen työvaiheen tuottavan jätettä ja BIM:n käyttö mahdollistaa jätteeseen liittyvän tiedon keruun elinkaaren alusta aina sen loppuun asti (Akinande ym. 2017, 269).

4.8.7 Olemassa olevien BIM-ohjelmien yhteensopivuus

Steel ym. (2012) ovat Akinanden ym. (2017, 269) mukaan todenneet BIM:n käyttöönoton yhtenä haasteena olevan ohjelmien yhteensopivuus. Haastatellut ovat samaa mieltä, että sopivimman BIM-ohjelmiston löytäminen yhteiselle projektille on vaivalloista. IFC-standardien (Industry Foundation Classes, standardoitu tiedostomuoto) käyttö on parantanut data-analyysien tekoa, kun on voitu siirtää eri BIM-ohjelmistolta mallinnuksia toiseen ohjelmaan tietojen säilyessä samana. Tulvien BIM-pohjaisten DfD-työkalujen on tuettava IFC:n käyttöä. Vaikka IFC-mallit kykenevät kaappaamaan monia eri parametreja objekteista, ei niillä kyetä virtaaviivaistamaan rakennusjätteen analyysiä ja DfD-periaatteiden mukaista purkua.

Siksi IFC-mallien käyttöä tulee laajentaa DfD-työkalujen ja BIM-ohjelmistojen tiedonsiirtoon. Tulee myös tunnistaa, millaista tietoa DfD-prosessien toteutus vaatii ja tallentaa ne olemassa oleviin BIM- ja IFC-malleihin. (Akinande ym. 2017, 269.)



Kuvio 9. Rakentamisen materiaalitehokkuuden koetut esteet (Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 16)

4.9 Haasteet ja hyödyt

4.9.1 Ympäristö

DfD:n haasteet tuovat mukanaan myös uusia mahdollisuuksia, joten niitä on hyvä esittää yhdessä. Kuvio 9 esittää materiaalitehokkuuden esteitä, joita kiinteistö- ja rakennusalan sidosryhmät kokevat. DfD pyrkii materiaalitehokkuuteen, joten tuloksia voidaan hyvin soveltaa koskemaan niitä haasteita, joita DfD:n käyttöön-otossa on.

DfD-periaatteet pyrkivät suljettuun materiaalikiertoon, joka vähentää uusien materiaalien louhintaa, rakennusalan kokonaisenergian ja -hiilipäästöjen määrää

sekä jätteiden määrää (Rios ym. 2015, 1298; Akinade ym. 2016, 3) ja täten hidastaa ilmastonmuutosta. Louhinnan vähentymisestä seuraa ympäristöhyötyjä luonnonmukaisen ympäristön säilymisen lisäksi esimerkiksi materiaalien ja louhintajätteiden kuljetusten vähenemisestä. DfD kuuluu keinoihin, joilla voidaan nostaa Suomen rakennusjätteen kierrätysaste EU:n jätedirektiivin asettamaan 70 %:iin.

Myös historiallisesti ja taiteellisesti arvokkaiden kohteiden, rakenneosien tai materiaalien hyödyntäminen ja kunnioittaminen on mahdollista DfD:n mukaisella suunnittelulla (Rios ym. 2015, 1299; Akinad ym. 2016, 4).

4.9.2 Materiaalien laatu ja määrät

DfD:n toteutuksen haasteena on esimerkiksi uudelleenkäytettävien materiaalien laatu ja määrä sekä niiden arviointi Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014, 28). Lajittelevan purettavuuden suunnittelu helpottaa purkamista ja rakenneosien talteen ottoa, joka luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Mikäli suuret materiaalien toimittajat tarttuvat tähän, voivat ne luoda suuria materiaalihihoja, jotka pystyvät takaamaan tarjonnan kasvavaan kysyntään. (Rios ym. 2015, 1300.)

Toistaiseksi sääntöjen ja standardien puute vaikuttavat uudelleenkäytettävien rakenteiden hyödyntämismahdollisuuksiin. Kuten mainittu, kasvava tuotteiden uudelleenkäyttö tulee luomaan tarvetta uudelleenkäytettäville tuotteille ja täten myös niiden laadun mittaamiselle. Matala kysyntä uudelleenkäytettäville tuotteille on haaste, mutta DfD-ajattelun yleistyessä, tulee kierrätysmateriaalien kysyntä kasvamaan. (Rios ym. 2015, 1300.)

DfD-periaatteiden käyttöönotossa on sama haaste edessä kuin kiertotaloudella: yleisen mielipiteen ja kuluttajien tottumusten muuttaminen. Onnistuneet hankkeet ja kierrätysmateriaalien arkipäiväistyminen ovat avainasemassa mielipiteen muuttoksessa. Suunnittelijan rooli on tärkeässä asemassa lisäämään suuren yleisön ja eri sidosryhmien tietoisuutta DfD-periaatteista ja kierrätyksestä. Aktiivinen markkinointi voi myös lisätä tiedon määrää eri yhteisöissä. (Rios ym. 2015, 1300.)

4.9.3 Kierrätyskeskukset ja varastointi

Rakenteiden uudelleenkäytettävyyden ja kierrätettävyyden lisäksi kierrätykseen liittyvä haaste on kierrätyskeskukset ja materiaalivarastot. Kierrätyskeskukset eivät ole usein rakennustyömaiden välittömässä läheisyydessä, jolloin kuljetusten välimatka pitenee. Kiertoon palautettavien materiaalien kuljetus vie energiaa, aikaa ja rahaa. Tämä voi tehdä materiaalien kierrätyksestä ja käyttöön palauttamisesta jopa ympäristöä kuormittavampaa ja kalliimpaa kuin alun perin on arvioitu. Lajitteleva ja talteen ottava purkamisen luo uusia markkinoita kierrätyskeskuksille ja oletettavasti kierrätyskeskusten lukumäärä nousee, jos kierrätysalan toimijat havaitsevat uuden markkinamahdollisuuden ja osaavat hyödyntää sitä. Kierrätyskeskusten lisääntyminen taas lyhentää matkaa työmaan ja kierrätyskeskuksen välillä. (Rios ym. 2015, 1300.)

Talja (2014, 25) yhtyy näkemykseen siitä, että uudelleenkäytettävien purkuosien myynti voi olla kannattavaa liiketoimintaa. Tämä edellyttää kannattavien markkinoiden ja riittävän varastointitilan olemassaoloa, purettujen osien laatuvaatimusten osoittamista sekä ennakkotietoa tulevista purku-urakoista. Esimerkiksi betoniset ontelolaatat, teräs- ja liimapuupalkit ja -pilarit sekä muut helposti purettavat rakenteet voisivat olla kannattavia myyntikohteita. Jos jo arkkitehti- ja rakennussuunnittelussa huomioitaisiin purettavuus, olisi uudelleenkäytettäviin rakenteisiin liittyvä liiketoiminta kannattavampaa. (Talja 2014, 25.)

4.9.4 Kustannukset

Kulut voivat olla DfD:n toteutuksen este. Rios ym. (2015, 1301) mukaan tutkimukset ovat osoittaneet, etteivät lajittelevan ja talteen ottavan purkamisen kustannukset ole kalliimpia kuin mekaanisen purun. Kustannuksiin vaikuttaa useita tekijöitä, joita ovat esimerkiksi materiaalien säilytyskustannukset ennen uudelleenhyödyntämistä, uudelleenkäytettävien materiaalien markkinat, materiaalien kunto, työntekijäkustannukset, työntekijöiden vakuutuskustannukset, käytettävä kalusto, jätteen kuljetus, haitallisten aineiden määrä rakenteissa, perehdytyksen kulut, jätteenkäsittelymaksut, erilaiset sopimukset sekä taloudelliset kannustimet. (Rios ym. 2015, 1301.)

Erilaiset ohjauskeinot vaikuttavat edellä mainittuihin tekijöihin ja kustannusten syntyyn. Suomessa, jossa kaatopaikkajätteen kustannukset ovat lajiteltuja jätteitä korkeammat, ohjataan täten lainsäädännöllä ja maksupolitiikalla purkujätteen määrää ja laatua. Käytännössä toimivat ohjauskeinot rajoittuvat toistaiseksi lähinnä kierrättämisen kannustamiseen eikä esimerkiksi resurssitehokkuuteen ja materiaalien uudelleenkäyttöön.

DfD-periaatteiden mukainen pala palalta -purkaminen tai käsipurku ei vaadi erikoiskouluttautumista tai kalliita ja raskaita työkoneita (Akinade ym. 2016, 5; Rios ym. 2015, 1299; Lehtonen 2019, 12). Tämä helpottaa pätevän työvoiman löytämistä ja säästää raskaasta kalustosta syntyviä kustannuksia. Myös jätemaksuista syntyvät kustannukset laskevat, kun purkujätteen määrä vähenee. Riosin ym. (2015, 1299) mukaan Webster (2007) mainitsee DfD-periaatteiden mukaisesti valmistettujen rakennusten markkina-arvon voivan olla perinteistä rakennusta korkeampi. Uudenlaisten tuotteiden valmistaminen ja suunnittelu tuo uusia markkinoita ja mahdollistaa tuotekehityksen. Materiaalikierron toimiessa tarpeeksi pitkään myös materiaalikulut laskevat. (Rios ym. 2015, 1299–1300.)

Talja (2014, 18) muistuttaa, että DfD-periaatteiden tuomat taloudelliset hyödyt nähdään vasta purkuvaiheessa. Rakennukset voivat olla käytössä 50–100 vuotta, joka voi vaikeuttaa taloudellisten hyötyjen arvioimista. On vaikeaa arvioida, millainen uudelleenkäytettävien tuotteiden arvo todellisuudessa on purun jälkeen. Materiaalit ja tuotteet, jotka ovat pitkäikäisiä, helposti purettavissa sekä eroteltavissa muista materiaaleista, ovat kalliita valmistaa eikä niiden taloudellista hyötyä pystytä heti osoittamaan varmaksi. (Talja 2014, 18.)

Pilottikohteet voivat tarjota konkreettisia tuloksia DfD-periaatteiden taloudellisesta kannattavuudesta. Julkisten hankkeiden tulisi olla suunnan näyttäjä kohti kestävämpää rakentamista ja suunnittelua, eikä pelkkää taloudellista kannattavuutta tulisi käyttää perusteena hankkeille, jotka tähtäävät ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin. (Talja 2014, 24–25.)

4.9.5 Vanhat tavat

Rakennusten suunnittelussa ei huomioida pitkän aikavälin elinkaarta eikä niitä siten suunnitella purettaviksi ja uudelleenkäytettäviksi (Rakentamisen materiaali-tehokkuuden edistämishjelma 2014, 11; Crowth 2001, 1; Rios ym. 2015, 1301). DfD vaatii standarikokoisia osia, mekaanisia liitostapoja ja materiaaleja, joiden kokoonpano helpottaa kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Toistaiseksi erilaisten rakennusmateriaalien laaja käyttö ja yhdistely keskenään, rakenneosien isot koot sekä purkamista vaikeuttavien liitosten käyttö ovat tavallinen osa suunnittelua, joista voi olla vaikea luopua (Talja 2014, 10; Rios ym. 2015, 1300).

Muutoksen vastustaminen kuuluu sidosryhmiin liittyviin haasteisiin, kuten myös kierrätysmetodien kokemuksen puute, huono kommunikointi, olemassa olevat sopimukset ja uusien markkinoiden hyödyntäminen (Rios ym. 2015, 1300).

Yksi suurista haasteista on aika ja siihen suhtautuminen. Lajittelevaan purkamiseen vaadittava aika voi olla 3–8 kertaa pidempi kuin mekaanisessa purussa. Aika on toistaiseksi rakennusalalla yksi kriittisimmistä tekijöistä, joten lajitteleva purkaminen ei välttämättä aina ole toteuttamiskelpoinen vaihtoehto. Tämä koskee kuitenkin tämänhetkistä rakennuskantaa, jota ei ole suunniteltu purettavaksi. DfD-tekniikoiden käyttöönotto voi vähentää aikaa esimerkiksi esisuunnittelemalla purkaminen jo ennen rakentamista (Rios ym. 2015, 1301; Akinande ym. 2017, 268). Lajittelevaa purkua ja materiaalien talteenottoa helpottavien dokumenttien, kuten piirustusten ja pohjakuvien sekä inventaarioluettelon, vaatiminen voi vähentää aikaa. Materiaalien tuoteselosteiden vaatiminen sekä haitallisten aineiden käytön välttäminen ovat myös lajittelevan purun kestoon vaikuttavia tekijöitä. (Rios ym. 2015, 1300.)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Ensisijaisuusjärjestys ja lainsäädännön ohjaus

Suomessa ei juuri puhuta lajittelevan purkamisen suunnittelusta, mutta samoja aiheita käsitellään rakentamisen materiaalitehokkuuden, elinkaariajattelun, kestävän suunnittelun ja kiertotalouden kautta. Kaikki nämä suuntaukset tähtäävät samaan päämäärään: ympäristöystävälliseen, resursseja säästävään, kustannustehokkaaseen ja uudelleenkäyttöä tukevaan rakentamiseen.

Konkreettisten tulosten esittäminen on haastavaa, sillä DfD on vielä varsin teoreettisella tasolla, eikä sen tuomia hyötyjä ole osoitettu esimerkitapauksin. Tutkimukset kuitenkin osoittavat sen olevan ympäristöystävällisin suunnittelukeino, joka mahdollistaa resurssien säästämisen ja mahdollistaa uusien tuotteiden, työpaikkojen ja markkinoiden synnyn.

Suomen lainsäädäntö ja suunnittelukäytännöt ohjaavat selvästi vähentämään jätteen syntyä jokaisessa elinkaaren vaiheessa, mutta se ei toteudu käytännössä. Esimerkiksi ensisijaisuusjärjestyksen toteutuminen jäi itselleni epäselväksi: tarkoitetaanko ensisijaisuusjärjestyksellä vain varsinaisten rakennus- ja purkuvaiheiden aikaisten työvaiheiden suunnittelua vai ulottuuko tämä tarkoittamaan jo aikaista suunnitteluvaihetta, jossa tehdään päätökset niistä rakennusosista ja -materiaaleista sekä rakenneteknisistä ratkaisuista, jotka eittämättä vaikuttavat rakennuksen tulevasta purkamisesta aiheutuvien jätteiden määrään ja laatuun. Näiden suunnittelupäätösten vaikutusten toteutuminen nähdään vasta useiden vuosikymmenien päästä rakennuksen valmistumisesta rakennuksen purkuvaiheessa, jolloin ei liene juridisesti perusteltua langettaa vastuuta jätteen synnystä alkuperäiselle suunnittelusta vastanneelle taholle.

Ensisijaisuusjärjestyksen noudattamisen valvonta on mahdotonta kaikissa tapauksissa, mutta esimerkiksi julkisten hankkeiden suunnitteluprosessin seuranta voisi olla toteutettavissa. Tämän järjestyksen noudattamisen kaikissa rakennushankkeen vaiheissa voisi myös linjata jo hankesuunnitteluvaiheessa ja sen toteutumisen seuraamiseen määritettäisiin vastuuhenkilöt. Vastuuhenkilöllä tulisi olla päivitettyä tietoa rakennusosien ja -materiaalien kierrätettävyydestä ja puretta-

vuudesta sekä niiden rakennusfysikaalisten ominaisuuksien tuntemusta. Suunnitteluvaiheen edetessä vastuuhenkilö voisi tarkastella ensisijaisuusjärjestyksen toteutumista esimerkiksi viikoittaisella tasolla ja esittää tarvittaessa tehokkaampia ratkaisuja jätteen synnyn ehkäisemiseksi.

Tällä hetkellä maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa energiatehokkaampaa rakentamista esimerkiksi rakenteille ja rakennusosille sallituilla lämmönläpäisykerroilla. Mikäli rakennus tai sen osat ylittävät sallitut U-arvojen rajat, ei rakennusluoppa myönnetä. Näkisin samankaltaisen lainsäädännön ja sen valvomisen toimivan esimerkiksi hiilijalanjäljen tai elinkaariarvioinnin kohdalla: mikäli rakennuksille tai rakennusmateriaaleille, -tuotteille tai -osille asetetaan raja-arvot hiilijalanjäljen suuruudesta, voitaisiin vähentää rakentamisesta aiheutuvaa ympäristön kuormitusta. Tuotevalmistajat joutuisivat reagoimaan lainsäädäntöön ja tekemään kestävämpiä ratkaisuja. Tällöin suunnittelijat voivat valita kestävämpiä ratkaisuja, eikä tyytyä vain kapeaan ja mahdollisesti kalliimpaan tarjontaan.

Eri ympäristösertifiointijärjestelmät, kuten LEED ja BREEAM mahdollistavat rakennusten ympäristövaikutusten vertailun. Rakennustuotteiden ja -materiaalien keskinäinen vertailu ympäristövaikutusten puolesta mahdollistaisi tekemään kestäviä suunnitteluratkaisuja, jotka edesauttavat lajittelevan ja talteen ottavan purkamisen toteutusta. Elinkaariarviointi ja eri ympäristösertifiointijärjestelmät voivat vaikuttaa myös yksittäisten tuotteiden tai materiaalien laadun mittaamiseen ja seuraamiseen.

5.2 Uudet suunnittelutavat

Näkisin myös 6R-konseptin käytön rakennusten suunnittelussa ohjaavan väistämättä lajittelevan purettavuuden suunnitteluun: jos suunnitteluvaiheen pyrkimys on vähentää päästöjä ja syntyvää jätettä rakennus- ja purkuvaiheissa sekä mahdollistaa rakennusosien- ja materiaalien palauttaminen kiertoon ja uudelleenkäyttöön, päästään purettavuuden suunnittelun periaatteiden mukaiseen toimintaan. Jos käytettävät rakennusosat, -materiaalit ja -komponentit suunnitellaan 6R-periaatteiden mukaan, ne voidaan myös uudelleensuunnitella ja -valmistaa vallitsevan ajankohdan tarpeita ja säännöksiä vastaaviksi.

Pitkällä aikavälillä tekniset vaatimukset ja lainsäädäntö tiukentuu, tuotteet kehittyvät ja parempia ratkaisuja voidaan keksiä, joten herää kysymys, kuinka tämän päivän suunnittelulla voidaan mahdollistaa se, että rakenneosat ovat kymmenien vuosien päästä vielä sopivia käytettäväksi. Voi olla, että keksitään uusia liitostapoja, jotka tekevät esimerkiksi tämänhetkisistä elementeistä yhteensopimattomia uusien liitosten kanssa ja täten ”käyttökelvottomia” sellaisenaan. Toisaalta tällaisia vallankumouksellisia ratkaisuja ei tehdä kovin nopeasti, saati saada yleiseen käyttöön, joten vaikka uusia ratkaisuja tehtäisiinkin, se ei välttämättä tarkoita nykyisten tekniikoiden vanhentumista. Esimerkiksi nykyiset pultti- ja kitkaliitokset täyttänevät tulevatkin määräykset, etenkin Suomen kaltaisessa ympäristössä, jossa esimerkiksi maanjärityksiä tai muita rakennuksen runkoon kohdistuvia voimakkaita ulkoisia voimia ei ole, jotka voivat vaatia omanlaisiaan ratkaisuja.

Tulevaisuuden ennustamisen sijasta tärkeää lieneekin se, miten rakenneosista, kuten elementeistä, voitaisiin suunnitella sellaisia, että niihin olisi mahdollista tehdä uusien vaatimusten mukaisia ratkaisuja vaivatta, kuten vaihtaa liitosratkaisu uudelleenlaiseen. Samankaltainen suunnittelu vaikuttaa myös rakenneosien huollettavuuteen, korjaamiseen ja purkamiseen.

Tietomallituksen eli BIM:n käyttö tuo selvää hyötyä purettavuuden suunnittelulle visualisoinnin, simuloinnin, syntyvän jätteen määrän ja laadun arvioinnilla, purkus suunnitelman kehityksellä sekä parannetun yhteistyön kautta. Etenkin rakenneosien uudelleenkäytettävyyden arviointi ja elinkaaren loppupään vaihtoehtojen simulointi jo suunnitteluvaiheessa voivat antaa tärkeää tietoa DfD:n hyödyllisyydestä.

Näkisin, että rakennusosien, kuten betonielementtien, suunnittelussa tulisi hyödyntää 6R-konseptia ja DfD-periaatteita. Tämä parantaisi isojen rakenteiden uudelleenkäyttöä ja pidentäisi niiden elinkaarta. Betonin kierrätys- ja uudelleenkäyttöaste on Suomessa korkea, mutta puutavaran hyötykäyttö muutoin kuin energiana on varsin vähäistä.

5.3 Puutavaran uudelleenkäyttö

Uuden puutavaran laatuluokitus määräytyy pitkälti ulkonäön mukaan, mutta uudelleenhyödyntämisen näkökulmasta ulkoisia seikkoja tärkeämmässä asemassa

lienee puutavaran kestävyys, jota määritetään uuden puutavaran kohdalla lujuusluokituksella. Lujuusluokittelu tehdään koneellisesti, perinteisesti puutavaran taituttamisella, josta saadaan lujuusluokan määräävä kimmomoduuli. Kehittyneempiäkin tapoja on, kuten konenäkö-, röntgen- ja ultraäänimittaus sekä ominaistajuuden mittaus. (Puuinfo.)

Kenties myös käytöstä poistetulle puutavaralle on mahdollista soveltaa samoja lujuusluokan mittausmenetelmiä tulevaisuudessa. Tällöin voitaisiin todistaa osan puujätteestä täyttävän vielä samoja vaatimuksia kuin uusi puutavara, mikä on lähtökohta uusiokäytölle. Suuria liimapuupalkkeja ja -pilareita voidaan käyttää jo nyt uudelleen ja niiden liitoksia suunnitellaan uudelleenkäyttöä ajatellen.

5.4 Tulevaisuus

Muutos ei käy yhdessä yössä eikä nyt rakennettavia rakennuksia pureta vielä kymmeneen vuosiin. Siksi DfD tulisivatkin ottaa pitkäjänteiseksi tavoitteeksi, jossa pyritään oppimaan edellisistä virheistä ja tekemään niiden pohjalta uusia ja kestäviä ratkaisuja. Kaikkia vaikutuksia ei voida arvioida luotettavasti ja tutkimustuloksiin tulee suhtautua kriittisesti. Vaikka mielestäni ympäristön säilyttäminen ja ilmastomuutoksen hidastaminen ovat talouden edelle meneviä asioita, tulee myös taloudellista kannattavuutta tutkia tarkemmin.

Ympäristön suojeluun ja ilmastomuutoksen hidastamiseen liittyvien tavoitteiden lisäksi pitää myös tutkia taloudellisia vaikutuksia. Erilaiset pilottihankkeet voivat auttaa saamaan varmistusta DfD:n toteutuksen kannattavuudesta sekä ympäristöystävällisyydestä. Koulutus on ensisijaisessa roolissa DfD:n käyttöönotossa: vaikka rakennusalan toimijoiden käytännöt muuttuvat, tarvitaan ajan tasalla olevia uusia tekijöitä, joilla on tuoreita näkökulmia ja halua nopeuttaa muutosta kestävämpään suuntaan. Niin kiertotalouden kuin lajittelevan purettavuuden suunnittelun keskiössä on ehdottomasti yleisen mielipiteen ja asenteiden muutos, joihin koulutus, tiedottaminen, tutkimukset ja uudenlaiset hankkeet ovat avainasemassa.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli esittää kirjallisuuskatselmuksen avulla lajittelevan purettavuuden suunnitteluun liittyviä haasteita, mahdollisuuksia ja ohjauskeinoja. Tarkoitus oli myös tutustua lainsäädäntöön, asetuksiin ja ohjeisiin, jotka ohjaavat suunnittelua ja purkamista.

Aiheesta löytyy runsaasti englanninkielistä tutkimusta ja aineistoa, mutta suomenkielistä materiaalia löytyy niukemmin. Vuoden 2019 aikana suomenkielistä materiaalia aiheeseen liittyen ilmestyi reilusti, esimerkiksi syksyllä 2019 julkaistu Ympäristöministeriön kolmen oppaan sarja purkuhankkeista, joita lähestyttiin materiaalitehokkuuden ja kiertotalouden näkökulmasta. Myös englanninkielistä aineistoa DfD:hen liittyen ilmestyi lisää.

Aloitin aiheeseen tutustumisen ja lähteiden etsinnän tammikuussa vuonna 2019, joten uusien lähteiden ja materiaalien ilmestyminen toi osaltaan helpotusta aiheen käsittelyyn, mutta samalla se kasvatti työn määrää. Kirjallisuuskatselmuksen tekeminen oli uutta ja tämän työn tekeminen ehdottomasti paransi käsitystäni siitä, miten kirjallisuuskatselmus tulisi toteuttaa ja kuinka sen sisältö rakentuu. Tapa, jolla keräsin tietoa, ei ollut tehokkain kirjallisuuskatselmuksen toteutukseen, sillä pidin samoja teemoja käsittelevät osiot erillään toisistaan, jolloin niiden tuominen yhteen oli haastavaa. Työn määrä ja aikajännitettä lisäsi myös rakennusalan englanninkielinen termistö, jonka luotettavaan suomennukseen kuului aikaa. Toisaalta opin myös uutta sanastoa.

Käyttämäni lähteet sisälsivät runsaasti lähteitä ja viitteitä, jolloin ensisijaisen lähteen etsiminen oli haastavaa: englanninkielistä kirjamateriaalia ei ollut saatavilla, kaikkia tekstejä ei löytynyt hakukoneilla ja osaan tutkimuksiin puuttui käyttöoikeudet tai tutkimuksia ei ollut erikseen julkaistu. Työn myötä tiedonhakuni parani ja löysin uusia luotettavia hakukoneita ja julkaisualustoja liittyen tutkimuksiin ja artikkeleihin.

Uskon käyttämieni lähteiden olevan varsin luotettavia, sillä niiden julkaisijat ovat tunnettuja ja ne ovat toimineet pitkäaikaisesti tutkimuksen saralla. Vaikka sanakirjalle tulikin paljon käyttöä, luotan huolelliseen suomennukseeni tasoon.

Vaikka nyt koen halua tehdä työn uudelleen, jotta entistä parempi jäsentely ja asioiden selkeämpi esittäminen toteutuisi, opin silti DfD-periaatteista, materiaali-
tehokkuudesta, elinkaariajattelusta, kiertotaloudesta ja lainsäädännöstä hyvin
paljon uutta ja opin ajattelemaan rakentamista laajemmin elinkaariajattelun
kautta.

7 LÄHTEET

Akinade O., Oyedele L., Omoteso K., Ajayi S., Bilal M., Owolabi H., Alaka H., Ayrís L. & Looney J. 2017. BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities. *International Journal of Sustainable Built Environment* 6 (2017) 260–271. Amsterdam: Elsevier B.V. E-journal. Viitattu 11.3.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Akinade O., Oyedele L., Ajayi S., Bilal M., Alaka H., Owolabi H., Bello S., Jaiyeoba B. & Kadiri K. 2016. Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management* 60 (2017) 3–13. Oxford: Elsevier Ltd. E-journal. Viitattu 5.3.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Basta A., Serror M. & Marzouk M. 2020. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability. *Automation in Construction* 111 (2020). Amsterdam: Elsevier B.V. E-journal. Viitattu 28.4.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Betoniteollisuus Ry. Betonirakenteita voidaan kierrättää. Viitattu 17.4.2020 <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominai-suudet/purettavuus-ja-uusiokaytto>.

Brand, S. 1994. *How Buildings Learn*. New York: Viking. E-kirja. Viitattu 23.4.2020 https://books.google.no/books?hl=fi&lr=&id=zkgRg-dVN2GIC&oi=fnd&pg=PT6&ots=2jVZ8zrHKX&sig=H17nJilDegdah7jHAW-dcoRA06zY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true.

Crowther P. 2001. Developing an Inclusive Model for Design for Deconstruction. *Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic and Policy*, 1–26. CIB Publication 266. Viitattu 20.4.2020 <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB727.pdf>.

Crowther P. 2005. Design for Disassembly – Themes and Principles. Viitattu 4.5.2020 <https://eprints.qut.edu.au/2888/1/Crowther-RAIA-2005.PDF>.

Eadie R., Browne M., Odeyinka H., McKeown C. & McNiff S. 2013. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction* 36 (2013) 145–151. Amsterdam: Elsevier B.V. E-journal. Viitattu 11.3.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R. & Liston K. 2011. *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, designers, Engineers, and Contractors*. 2 painos. Hoboken: John Wiley & Sons. E-kirja. Viitattu 29.4.2020 https://books.google.no/books?hl=fi&lr=&id=-GjrBgAAQ-BAJ&oi=fnd&pg=PP7&ots=PfqLc02mmq&sig=VeCJzAl60dmoOniB3Vq_wHt1-90&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

EPA 2008. *Lifecycle Construction Resource Guide*. Atlanta: United States Environment Protection Agency. Viitattu 17.4.2020 <https://nepis.epa.gov/Exe/Zy-PURL.cgi?Dockkey=P1009HH1.txt>.

Euroopan komissio 2019. Construction and Demolition Waste (CDW). Viitattu 2.4.2020 https://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm.

GBC Finland 2019. Ympäristöministeriön kiertotalouspäivässä vauhdittajina systeeminen muutos, kestävä purkaminen ja digitaalisuus. Digitaaliset työkalut purkamisen apuna. Viitattu 28.4.2020 <https://figbc.fi/ymparistoministerion-kiertotalouspaiva2019/>.

GBC Finland. Ympäristöluokitukset. Viitattu 4.5.2020 <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset/>.

Guy B. & Shell S. 2002. Design for Deconstruction and Materials Reuse. Design for Deconstruction and Materials Reuse. Paper 15. CIB Publication 272. Viitattu 11.3.2020 https://www.iip.kit.edu/downloads/CIB_Publication_272.pdf.

Häkämies S., Lähdesmäki-Josefsson K., Pitkämäki A. & Lehtonen K. 2019. Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Loppuraportti. Gaia.

Jaillon L., Poon C.S. & Chiang Y.H. 2009. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. Waste Management 29 (2009) 309–320. Oxford: Elsevier Ltd. E-journal. Viitattu 4.5.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Jawahir I.S. & Bradley R. 2016. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. Procedia CIRP 40 (2016) 103–108. Amsterdam: Elsevier B.V. E-journal. Viitattu 11.3.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin 2019. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 28.4.2020 https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf.

Jätelaki 17.6.2011/646.

Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa 2019. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:31. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 4.4.2020 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-038-5>.

Kojo R. & Lilja R. 2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen. Ympäristöministeriön raportteja 21/2011. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 4.4.2020 <http://hdl.handle.net/10138/41495>.

Lehtonen K. 2019. Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjille. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:29. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 28.3.2020 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-036-1>.

Lappalainen E. 2017. Tietomallipohjainen teollisuusrakennusten purkutyö. Opin- näytetyö (YAMK). Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 29.4.2020 <https://core.ac.uk/download/pdf/84793148.pdf>.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Manning R. & Messner J. 2008. Case Studies in BIM Implementation for Programming of Healthcare Facilities. ITcon Vol. 13 (2008), 446–457. Viitattu 11.3.2020 <https://www.itcon.org/2008/18>.

Oulun kaupunki 2016. Rakennusvalvonta. Viitattu 23.3.2019 <https://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/purkulupa>.

Palolahti T., Koskenvesa A., Lindberg R. & Sahlstedt S. 2014. Purkutyöt. Ohjeita teettäjälle ja tekijälle 2014. Päivitetty 2. painos. Infra ry, Talonrakennusteollisuus ry. Viitattu 28.3.2020 <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/jasenpalvelu/sahkoiset-julkaisut/purkutyot-ohjeita-teettajalle-ja-tekijalle-2014.pdf>.

Pasanen P., Bruce T. & Sipari A. 2012. Ympäristöystävällisen kivitalon suunnittelu ja toteutus. Bionova Oy:n tutkimusraportti. Viitattu 14.3.2020 <https://kivifaktaa.fi/wp-content/uploads/2016/12/Bionova-Kivitaloraportti.pdf>.

Puuinfo. Sahatavaran lujuuslajittelu. Viitattu 22.4.2020 <https://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/sahatavaran-lujuuslajittelu-0>.

Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma 2014. Ramate-työryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 2014:17. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 31.3.2020 https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135172/YMra_17_%202014.pdf.

Rios F. C., Chong W. K. & Grau D. 2015. Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and Opportunities. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Procedia Engineering 118 (2015) 1296–1304. Amsterdam: Elsevier Ltd. Viitattu 14.3.2020 <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

SFS-EN ISO 144040:2006.

SEDA. Kuvaus rakennuksen kerroksista ja niiden elinkaarista purettavuuden suunnittelua varten -kuvio. Viitattu 22.4.2020 <http://www.locatearchitects.co.uk/seda-lg.htm>.

Sitra 2016. Kierrolla kärkeen – Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2025. Sitran selvityksiä 117. Viitattu 17.4.2020 <https://media.sitra.fi/2017/02/27175308/Selvityksia117-3.pdf>.

Srouf I., Chong W. K. & Zhang F. 2010. Sustainable Recycling Approach: An Understanding of Designers' and Contractors' Recycling Responsibilities Throughout the Life Cycle of Buildings in Two US Cities. Sustainable Development Volume 20 Issue 5, 350–360. Viitattu 11.3.2020 <https://doi.org/10.1002/sd.493>.

Suomen virallinen tilasto: Jätetilasto 2017. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 2.4.2020 http://www.stat.fi/til/jate/2017/jate_2017_2019-07-09_tie_001_fi.html.

Suomen ympäristökeskus 2017. Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaarikliinikka-toimintamallista pk-yrityksille. ToimintaMALLI yritysten Ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y) -hanke.

Talja, A. 2014. Rakennusten suunnittelu uudelleenkäyttöä ja kierrätystä varten. VTT:n tutkimusraportti. Viitattu 24.3.2019 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-R-00736-14.pdf>.

Tingley D. & Davison B. 2012. Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction. *Building and Environment* 57 (2012) 387–395. Oxford: Elsevier Ltd. E-journal. <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, ScienceDirect Elsevier.

Valtioneuvoston asetus jätteistä 19.4.2012/179.

Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 4.9.2014/713.

Webster D. & Costello D. 2005. Designing Structural Systems for Deconstruction: How to extend a new building's useful life and prevent it from going to waste when the end finally come. Greenbuild Conference, 1–14. Viitattu 22.4.2020 <https://www.lifecyclebuilding.org/docs/Designing%20Structural%20Systems%20for%20Deconstruction.pdf>.

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.