



Puurakentamisen kiertotalouden ratkaisut -selvityshanke

Raportti 2

Kiertotalouden mahdollisuudet puurakentamisessa

Kansainvälisiä esimerkkiratkaisuja

Työryhmä

Jieun Bae

arkkitehti

Pentti Kareoja

arkkitehti SAFA

Jukka Salonen

arkkitehti

Kuva © Jussi Tiainen

Kiertotalouden mahdollisuudet puurakentamisessa

Kansainvälisiä esimerkkiratkaisuja

Sisällys

Johdanto	3
1 Puurakentamisen 20 käytännön ratkaisua	4
1.1 Esimerkkirakennukset	4
1.2 Suunnittelustrategioiden limittyminen	5
1.3 Design for Disassembly (DfD)	6
1.4 Esivalmisteisuus ja modulaarisuus	24
1.5 Uudelleenkäyttö	36
2 Esimerkkiprojektien analyysi	46
2.1 Toisiaan tukevat suunnittelustrategiat	46
2.2 Design for Disassembly (DfD)	47
2.3 Esivalmisteisuus ja modulaarisuus	48
2.4 Uudelleenkäyttö	49
2.5 Johtopäätöksiä	50
2.5.1 Yhteistyö	50
2.5.2 Viranomaisten tuki	50
2.5.3 Materiaalien merkitys	50
2.5.4 Kokonaisvaltaisuus	52
Lähteet	53

Johdanto

Tämä raportti on jatkoa selvityshankkeen ensimmäiselle raportille (Lehto & Suomela, 2021) ja osa Jätkäsaaren Kiertotalouskorttelia. Hankkeessa selvitetään kiertotalouden ratkaisuja puurakentamisessa ja pyritään hyödyntämään niitä uuden asuinkorttelin suunnittelemisessa ja rakentamisessa Helsingin Jätkäsaareen.

Raportin tavoitteena on löytää ja esitellä toteutettuja esimerkkejä kiertotalouden ratkaisusta puurakentamisessa eri puolilta maailmaa. Tavoitteena on selvittää, miten laajasti kiertotalouden periaatteet näkyvät nykyrakentamisessa ja erityisesti puuarkkitehtuurissa. Tämän selvitystyön ohella pyrkimyksenä on tuottaa suunnittelun ja rakentamisen avuksi referenssiluettelo, joka havainnollistaa puurakentamisen mahdollisuuksia ja erityispiirteitä kiertotalouden kontekstissa. Raportissa kartoitetaan, analysoidaan ja arvioidaan käytännön ratkaisujen kirjoa.

Raportin ensimmäinen osa sisältää luettelon valituista esimerkeistä, niiden kolmijakoisen luokittelun ja projektikohtaiset esittelyt rakennusten perustietoineen. Esimerkkien alustava luokittelu on pidetty havainnollisuuden vuoksi yksinkertaisena ja tehty usein käytettyjen kiertotalouden strategioiden mukaan. Strategiat ovat *i) purettavuuden suunnittelu, ii) esivalmistaisuus ja modulaarisuus* sekä *iii) uudelleenkäyttö*. Kategoriat eivät ole tarkkarajaisia eivätkä sulje toisiaan pois. On yleistä, että nämä strategiat limittyvät ja tukevat toisiaan. Esimerkiksi modulaarinen rakenne saattaa tehdä rakennuksesta helpommin purettavan. Kiinnostavimmat projektit ovat usein sellaisia, joissa on huomioitu enemmän kuin yksi kiertotalouden suunnittelustrategia.

Toisessa osassa esimerkkejä tarkastellaan taustoittavassa raportissa (mt.) esitettyjen kiertotalouden suunnittelustrategioiden ja niistä muodostetun hierarkkisen synteessin avulla. Tarkoituksena on havainnollistaa, miten esimerkeissä käytetyt suunnitteluratkaisut jakautuvat strategioiden mukaan rakennuksen eri osissa.

Lopuksi esimerkkien ominaisuuksia arvioidaan eri näkökulmista. Esiin on nostettu sekä kiertotalouden haasteita että edellytyksiä kiertotalouden periaatteiden onnistuneille käytännön toteutuksille.

1 Puurakentamisen 20 käytännön ratkaisua

1.1 Esimerkkirakennukset

I. DfD (Design for Disassembly*)

Hollanti 2017 julkinen rakennus	1. Circl pavilion	
Hollanti 2019 toimistorakennus	2. Building D-mountable	
Tanska 2015 hotelli	3. Green Solution House	
Ranska 2020 koulu	4. Wooden Nursery	
Ruotsi 2016 kauppahalli	5. Temporary Market Hall	
Englanti 2016 toimistorakennus	6. Fielden Fowles Architecture Studio	
USA 2012 toimistorakennus	7. Bullitt Center	
Hollanti 2013 kaupungintalo	8. Brummen Town Hall] Rakennukset materiaalipankeina
Hollanti 2019 pankki	9. Triodos Bank	

II. Esivalmisteisuus, modulaarisuus

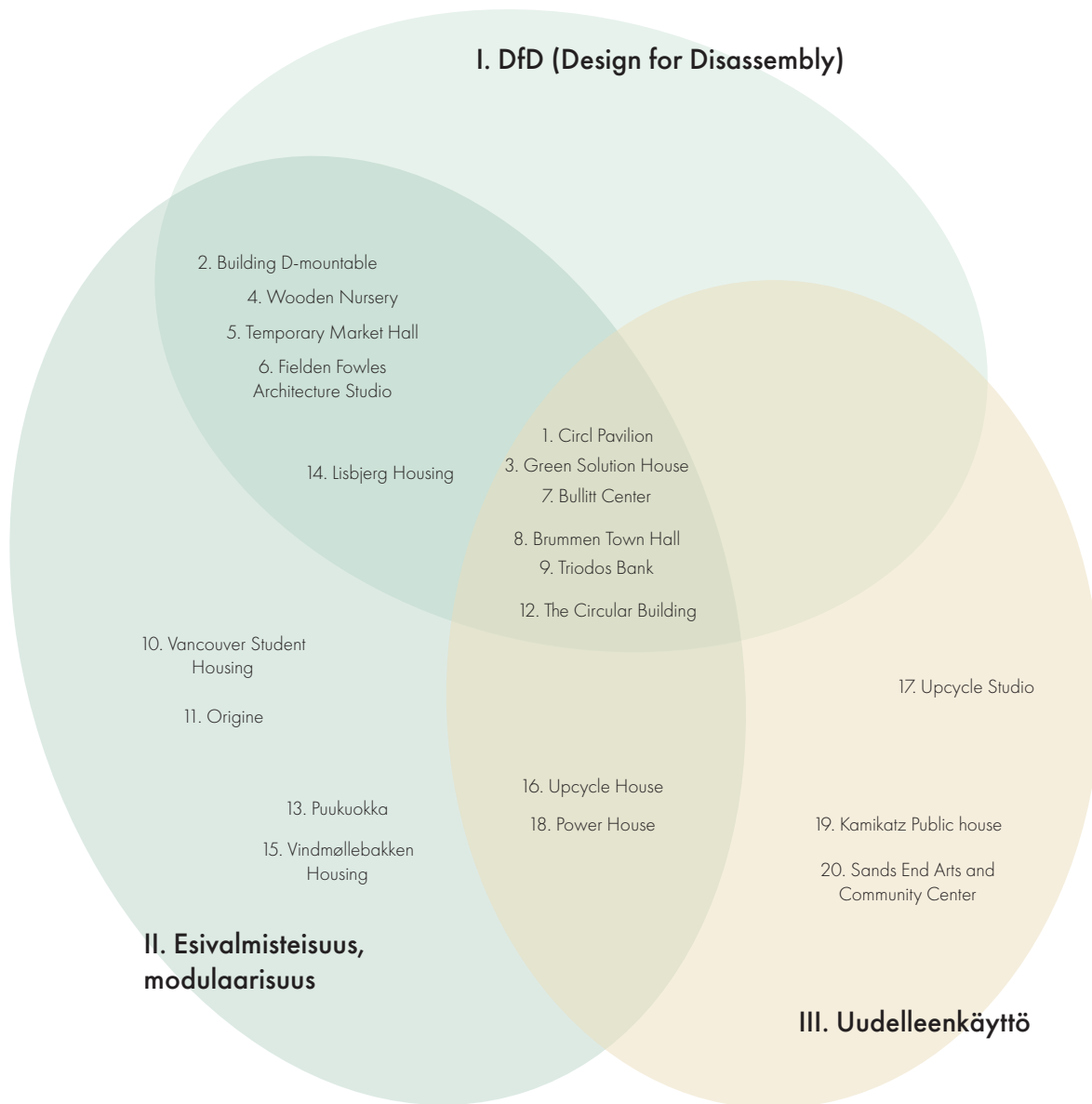
Kanada 2017 opiskelija-asuntoja	10. Vancouver Student Housing] Wood-scraper
Kanada 2017 asuinrakennus	11. Origine	
Englanti 2016 paviljonki	12. The Circular Building	
Suomi 2015 asuinrakennus	13. Puukuokka] CLT- esivalmisteisuus
Tanska 2018 asuinrakennus	14. Lisbjerg Housing	
Norja 2019 asuinrakennus	15. Vindmøllebakken Housing	

III. Uudelleenkäyttö

Tanska/ 2013/ asuinrakennus	16. Upcycle House
Englanti/ 2014/ julkinen rakennus	17. Upcycle Studio
Norja/ 2014/ toimistorakennus	18. Power House
Japani/ 2015/ julkinen rakennus	19. Kamikatz Public House
Englanti/ 2020/ julkinen rakennus	20. Sands End Community Centre

* Design for Disassembly on vakiintunut kiertotalouden termi, joka voidaan suomentaa *purettavuuden suunnitteluksi*.

1.2 Suunnittelustrategioiden limittyminen



Kaavio 1. Useimmissa projekteissa on käytetty kahta tai kolmea eri strategiaa. Kaaviosta on nähtävissä, että strategiat I *Design for Disassembly* ja II *Esivalmistisuus ja modulaarisuus* tukevat toisiaan ja niitä hyödynnetäänkin usein samassa rakennuksessa. Jokainen valikoidusta DfD-rakennuksesta perustuu esivalmistukseen ja/tai modulaariseen rakenteeseen. Kuitenkaan rakennuksia, joissa on käytetty enimmäkseen kierrätysmateriaaleja (III *Uudelleenkäyttö*) ei ole suunniteltu purettaviksi.

1.3 Design for Disassembly (DfD)

1. Circl Pavilion, De Architekten Cie (I, II, III)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Julkinen rakennus	De Architekten Cie	-	Amsterdam, Hollanti	2017



Kuva 1.1

- **Uusien materiaalien karsiminen, kierrätys- ja uudellekäyttömateriaalit**
- **Energianeutraalius**
- **Kaikki rakennusosat suunniteltu purettaviksi**
- **Materiaalien vuokraaminen omistamisen sijaan**
- **Kantava puurunko paikallista lehtikuusta**
- **Avoin muunneltava pohjaratkaisu**



Kuva 1.2



Kuva 1.3

Amsterdamin liike-elämän Zuidas-alueella sijaitseva paviljonki rakennettiin ABN AMRO -pankin aloitteesta ihmisten kohtaamispaikaksi. Circl-paviljonki on Alankomaiden ensimmäinen rakennettu käytännön esimerkki kestävästä ja kiertotalouden mukaisesta suunnittelusta. Jo käytettyjen materiaalien uudelleenkäyttö huomioitiin prosessissa alusta alkaen. Rakennuttaja ABN AMRO -pankki, arkkitehti CIE, TU Delft -yliopisto ja urakoitsija BAM kehittivät yhdessä kiertotalouden mukaisia ratkaisuja matkan varrella ilmeneviin ongelmiin.

Paviljonki on valmistettu pääosin kierrätysmateriaaleista. Esimerkiksi puulattia on valmistettu jätepuusta, joka on peräisin baarituoleista ja luostarin lattiasta. Neuvotteluhuoneiden ikkunakehykset ovat peräisin vanhasta Philipsin toimistosta. Rakennus on eristetty materiaalilla, joka on valmistettu ABN AMRO:n työntekijöiden 16 000 vanhasta farkkuperäisestä.

Periaatteena materiaalivalinnassa oli se, että rakennusmateriaalien piti olla joko kierrätettyä tai kierrätettävissä/uudelleenkäytettävissä paviljongin käyttöään lopussa, ja ne piti sovitaa tai purktaa yhteen ilman liimaa. Eri osat, kuten hissit ja valaistus, on toimitettu vuokrasopimuksella, ja ne pysyvät toimittajan omaisuutena.

Liikuteltavien seinien ja lattiaelementtien avulla pohjakerroksen avointa tilaa voidaan muokata käyttötarkoituksen mukaan. Sisustus voidaan mukauttaa erilaisiin toimintoihin, kuten päivähoitoon, esiintymisiin, kokouksiin, myyjäisiin, näyttelyihin tai elokuvanäytöksiin.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva 1.1 <https://www.dc.systems/projects/8-main/133-circl-pavilion-of-abn-amro-bank>

Kuva 1.2 ja 1.3 <https://www.organicresponse.com/case-studies-1/2019/10/18/circl-the-circular-pavilion-of-abn-amro>

2. Building D-mountable, Architectenbureau Cepezed (I, II)

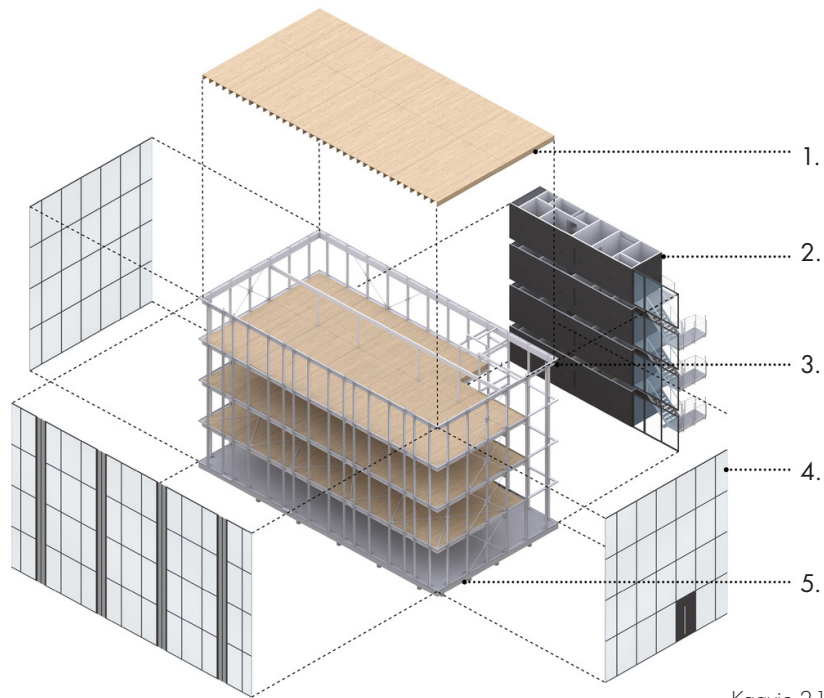
Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Toimistorakennus	Architectenbureau Cepezed	968 m ²	Delft, Hollanti	2019



Kuva 2.1

- **Kevyt rakenne**
- **Modulaarinen rakenne, jossa purettavat liitokset alapohjaa lukuunottamatta**
- **Materiaalien minimointi**
- **Helposti poistettava biopohjainen kuiva tasoite**
- **Ikkunalasit sovitettu suoraan teräsrakenteisiin ilman karmeja**

Tässä nelikerroksisessa toimistorakennuksessa on hybridirakenne, jossa teräsrunko yhdistyy puuelementteihin. Rakennus on suunniteltu modulaarisesti, systemaattisesti ja yksinkertaisesti käyttäen mahdollisimman vähän materiaaleja.



Kaavio 2.1

1. Esivalmistettu puulattiaelementti (LVL)
2. Aputilavyöhyke
3. Kevyt esivalmistettu teräsrunne
4. Kehyketön lämmöneristetty julkisivulasi teräsrunnossa
5. Perustus

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva ja kaavio 2.1 <https://www.archdaily.com/936389/building-d-ountable-architectenbureau-cepezed>

3. Green Solution House (I, II, III)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Hotelli	3XN	4,500 m ²	Rønne, Tanska	2015



Kuva 3.1

- **German Sustainable Building Council (DGNB) -luokitus**
- **Uudelleenkäytettyä lasia, paikallisia materiaaleja, upcycle-kalusteet**
- **Sisätilojen laatu: luonnonvalo, puhdas ilma**
- **Teknisiä innovaatioita: luonnonmukainen vedenpuhdistus, jäte-energia, viherseinä-järjestelmä, smart room -sovellus**
- **Symbioosi: rakennus tasapainossa luonnon kanssa**
- **Uudelleenkäytettävä julkisivu, lämmöneriste kierrätyslasia, liimapuurakenne**

Green Solution Housen visiona on demonstroida kiertotaloutta kolmen tavoitteen kautta: 1) *esitellä vihreitä ratkaisuja* 2) *edistää jatkuvaa parantamista* ja 3) *mahdollistaa tiedon jakaminen*. Rakennuksen suunnittelussa on huomioitu ja noudatettu useita kestävän kehityksen mukaisia muutujia kokonaisvaltaisesti. Suunnittelu perustuu Active House -vision kriteereihin ja on saanut inspiraationsa Cradle to Cradle -elinkaarikonseptista. Green Solution House on saanut Saksalaisen vihreän rakentamisen luokituksen (DGNB).



Kuva 3.2



Kuva 3.3

Green Solution House tutkii kiertotaloutta useiden kestävien strategioiden avulla, jotka perustuvat resurssien järkevään käyttöön ja paikallisten olosuhteiden jatkuvaan huomioimiseen: *paikan päällä tapahtuva energiantuotanto, luonnollinen tekniikka, älykäs sisäilmasto, purettavuuden suunnittelu, puhdas ilma ja päivänvalo* sekä *reclaim reuse renovate -lähestymistapa* olemassa oleviin rakennuksiin ja sisätiloihin.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 3.1-3 <https://www.archdaily.com/945892/green-solution-house-3xn>

4. Wooden Nursery, Djuric Tardio Architectes (I, II)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Lastentarha	Djuric Tardio Architects	525 m ²	Pariisi, Ranska	2020



Kuva 4.1

- **Suunniteltu purettavaksi, siirrettäväksi ja uudelleen koottavaksi**
- **Väliaikaisuus, käännettävyyden suunnittelu**
- **Metallirakenne nopeaan pystytykseen**
- **Modulaarinen ja nomadinen järjestelmä**

Projektin konsepti on syntynyt tutkimus- ja kehitystyön tuloksena. Lähtökohtana järjestelmän kehittämiseksi oli Pariisin kunnanhallituksen tekemä ehdotuspyyntö 48-paikkaisesta lastentarhasta. Modulaarinen ja nomadinen rakennus täyttää vaatimukset pariisilaisten lasten väliaikaiselle hoitopaikalle, joka korvaa pysyvät rakennukset niiden korjausten ajan.



Kuva 4.2



Kuva 4.3

Rakennuksen tilat voidaan järjestää uudelleen käytettäväksi kokonaan samassa tarkoituksessa lastentarhana tai palvelemaan uusia tarpeita ja tulevia käyttötarkoituksia (häätäsuunnat, toimitot jne.).

Metallinen primäärirakenne mahdollistaa 1,2 metrin itsekantavien moduulien nopean asennuksen perinteisten japanilaisten järjestelmien tapaan. Modulaarinen rakennusjärjestelmä COMBI (Configuration Of Modularized Building) pystyy vastaamaan tilapäisten rakennusten tarpeisiin myös terveyskriisin aikana.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 4.1-3 <https://www.archdaily.com/935476/wooden-nursery-djuric-tardio-architectes>

5. Temporary Market Hall, Tengbom (I, II)

Rakennus Tyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Kauppahalli	Tengbom	1970 m ²	Tukholma, Ruotsi	2016



Kuva 5.1

- **Modulaarinen järjestelmä**
- **Siirrettävissä uuteen paikkaan**
- **Kevytrakenteinen**
- **Avattavat ja uudelleen kiinnitettävät liitokset**
- **Standardized dimensions**

Tukholman Östermalmin vanha kauppahalli kaipasi kipeästi uudistamista. Sen peruskorjauksen aikana oli tarve löytää kauppiaille väliaikainen toimipaikka lähialueelta asiakaskunnan säilyttämiseksi. Sopivien tilojen puutteessa kaupunki päätti sijoittaa väliaikaisen rakennuksen Östermalmin aukiolle. Rakennuksen oli täytettävä koko aukion avoin alue, jotta kaikille kauppiaille ja toiminnoille olisi riittävästi tilaa.



Kuva 5.2



Kuva 5.3

Julkisivut on verhoiltu käsittelemättömällä seetripuulla vanerilevyn päälle sekä kirkkaalla modulaarisella polykarbonaattilevyllä. Sisäpuolinen rakenne on näkyvä liimapuuristikko 1,2 metrin pituisista LVL-palkeista CLT-pilareiden päällä. Myös kantavassa rakenteessa on hyödynnetty modulaarisuutta, joka mahdollistaa pystytyksen ja purkamisen sekä myöhemmän uudelleenkäytön toisessa paikassa. Puun käyttö keventää rakennetta, mikä pienentää perustusten tarvetta.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 5.1-3 <https://www.archdaily.com/788616/ostermalms-temporary-market-hall-tengbom>

6. Architecture Studio, Feilden Fowles (I, II)

Rakennus Tyyppi	Arkkitehti	Laaajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Toimistorakennus	Feilden Fowles	133 m ²	Lontoo, Englanti	2016



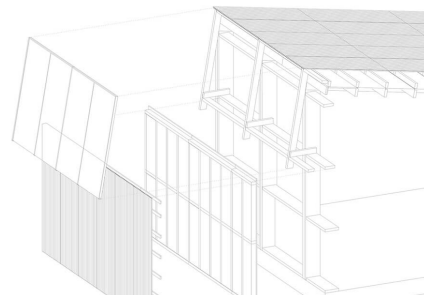
Kuva 6.1

- **Standardoitu mitoitus**
- **Kevytrakenteinen**
- **Toistuvat liitokset**
- **Modulaarisuus**
- **Siirrettävä ja uudelleenkäytettävä**

Purettavaksi suunniteltu studiotila on rakennettu douglaskuusesta ja verhoiltu poimutetuilla bitumilevyillä. Modulaarinen standardoitu runko ja vakiokokoiset vanerilevyt minimoivat leikkausten, hukan ja materiaalin käytön. Sisäseinät on vuorattu vanerilevyillä, joiden leveys on 610 mm tai neljännes vanerilevystä.



Kuva 6.2



Kaavio 6.1

Rakenne koostuu parittaisista 300 x 600 mm palkeista, joita tukevat parilliset pilarit, myös 300 mm x 600 mm. Teräksisiä T-profiileja käytetään ikkunoiden karmeina. Primääripalkit on asennettu 1800 mm:n välein, sekundääripalkit 600 mm:n välein ja poikki-pienat porrastetusti 2400 mm:n välein peittäen vanerilevyjen saumat. Vuokrasopimuksen päätyttyä rakenne on tarkoitus purkaa ja pystyttää muualle.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 6.1-2 kaavio 6.1 <https://www.feildenfowles.co.uk/feilden-fowles-studio/>

7. The Bullitt Center, Miller Hull Partnership (I, II, III)

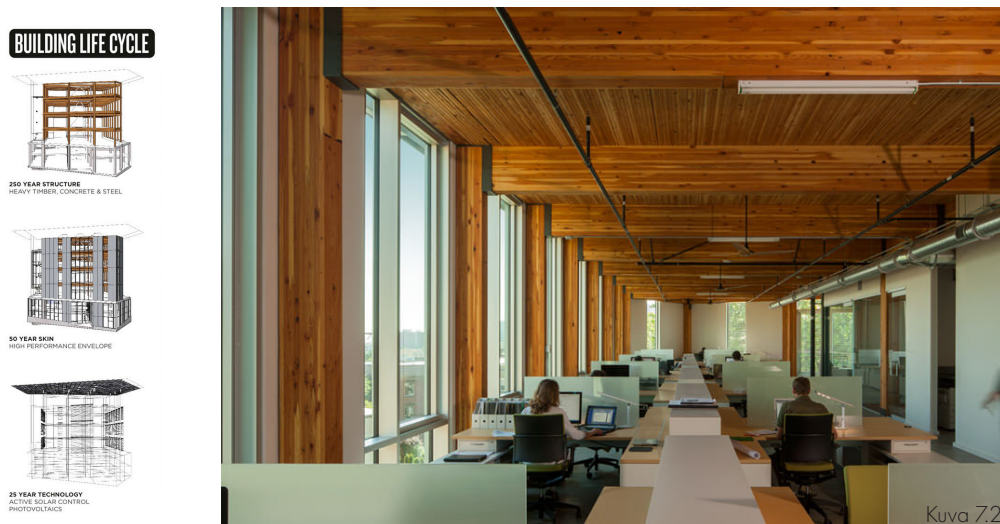
Rakennus Tyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Tomistorakennus	Miller Hull Partnership	4800 m ²	Seattle, USA	2012



Kuva 7.1

- **Netto nollavesi- ja nollaenergiarakennus**
- **Itsenäiset rakennekerrokset**
- **Puumateriaali ja muut rakennusosat paikallisesti hankittua**
- **Hybridirakenne**
- **Teräksestä 83% kulutuksen jälkeistä and 13% kulutusta edeltävää kierrätysterästä**

Bullitt Center, kuusikerroksinen 4800 neliömetrin toimistorakennus Seattlessa pyrkii olemaan maailman vihrein liikerakennus. Rakennuksen on tarkoitus toimia “elävänä laboratoriona”. Bullitt Centerin erityisominaisuuksia ovat kompostointikäymälät, 350 yleisen myrkyllisen kemikaalin poissulkeminen käytetyistä materiaaleista sekä tiukka energia- ja vesibudjetti, joka tähtää omavaraisuuteen Living Building Challenge puitteissa.



Kaavio 7.1

Bullitt Centerin materiaalit ja rakentaminen noudattavat Living Building Challenge kunnianhimoisia ympäristöohjeita, jotka edellyttävät, että rakennuselementteihin on sidottu mahdollisimman vähän energiaa ja ne hankitaan mahdollisimman läheltä kohdetta.

Hybridirakenteessa hyödynnetään materiaaleja tavalla, joka parhaiten hyödyntää niiden vahvuuksia ja pitää kokonaishiiijalanjäljen kurissa. Betonia on käytetty perustuksissa, terästä jäykistävänä ja puuta kantavana rakenteena.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva 7.1 <https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today>

Kuva 7.2 <https://www.aiaatopen.org/node/427>

Kaavio 7.1 <https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today>

8. Brummen Town Hall (I, II, III)

Rakennus Tyyppi	Arkkitehti	Laaajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Kaupungintalo	Thomas RAU	3000 m ²	Brummen, Hollanti	2013 (Renovation)



Kuva 8.1

- **Rakennus materiaalipankkina**
- **Purettavaksi suunniteltu**
- **Tiivis yhteistyö tilaajan, urakoitsijan, arkkitehdin ja kiertotalousasiantuntijan kesken**

Hollannin Brummenissa ensimmäinen rakennus raaka-ainevarastona on toteutettu kunnan, urakoitsijan, arkkitehdin ja kiertotalouskonsultti Turntoon yhteistyönä. Brummenin kunta tarvitsi käyttöönsä rakennuksen, jonka elinikä olisi vähintään 20 vuotta. Koska arkkitehti ei halunnut tehdä myönnytyksiä tilapäisen rakennuksen ja työympäristön laadussa, haettiin uutta tapaa suunnitella ja rakentaa. Ratkaisu löydettiin suunnittelemalla rakennus materiaalipankiksi. Suunnittelun aikana arkkitehti, urakoitsija BAM, Turntoo ja useat tavarantoimittajat ideoivat, miten rakennus voitaisiin purkaa suunnitellun käyttöajan jälkeen. Toimittajat ja valmistajat ottavat



Kuva 8.2



Kuva 8.3

takaisin arvokkaat raaka-aineet ja rakennuselementit käytön jälkeen. Lopulta yli 90 prosenttia suunnittelusta tehtiin purettavuuden näkökulmasta.

Arkkitehti RAU päätti palauttaa monumentaalisen huvilan vuodelta 1890 entiseen loistoonsa ja sijoittaa sen ympärille U-muotoisen nykyaikaisen kaksikerroksisen laajennuksen. Uusi rakennus korvaa olemassa olevan 1980-luvun laajennuksen. Kompakti ja joustavasti jaettavissa oleva uudisrakennus ympäröi monumentaalista huvilaa. Hillitty, läpinäkyvä muotoilu korostaa historiallisen rakennuksen ominaisuuksia. Ympäröivä ja erittäin pirstoutunut maasto on muotoiltu uudelleen laadukkaaksi puistoksi.

Rakennuksen eri osat on ryhmitelty muistomerkin ympärille, mikä mahdollistaa jatkuvan vuorovaikutuksen vanhan ja uuden välillä. Syntynyt uusi tila muodostaa läpinäkyvän julkisen sisäalueen, mikä edistää työntekijöiden kommunikointia ja yhteistyötä.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 8.1-3 <https://www.rau.eu/portfolio/gemeentehuis-brummen>

9. Triodos Bank, RAU architects & Ex Interiors (I, II, III)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Pankki	Thomas RAU & EX Interiors	13,000 m ²	Driebergenrijnsen- burg, Hollanti	2019



Kuva 9.1

- **Väliaikainen materiaalipankki**
- **Puurakenteinen purettava ja uudelleenkoottava toimistorakennus**
- **Muuntojoustavat väliseinä- ja lattiarakenteet**
- **Kestävä kehitys kokonaisvaltaisesti: hyvinvointi, yhteisöllisyys, energia, vedenkäyttö**
- **Luontokeskeinen suunnittelu, biomimeettinen arkkitehtuuri**

Triodos Bankin toimistorakennus suunniteltiin kestävän kehityksen ja kiertotalouden periaatteiden mukaan. Tilaja Triodos Bank ja rakennuttaja EDGE tilasivat suunnittelijoilta RAU Architects ja Ex interiors täysin uudelleen rakennettavan puisen “katedraalin”, joka olisi ura-uurtava myös maailmanlaajuisesti. Rakennus on ensimmäinen laajamittainen, kokonaan puurakenteinen toimisto, joka on purettavissa ja rakennettavissa uudelleen. Toimistorakennus toimii myös ensimmäisenä väliaikaisena materiaalipankkina, ja sen hiilijalanjälki on minimaalinen.



Kuva 9.2



Kuva 9.3

Viisikerroksisen rakennuksen runko on kokonaan puutavaraa, ja vain kellarissa on käytetty betonia tulvien estämiseksi. Kaikki sisäseinät on rakennettu siten, että ne voidaan vaihtaa tai poistaa sisätilojen muuntojoustavuuden vuoksi. Myös lattia on rakennettu siten, että se voidaan myöhemmin purkaa.

Suunnittelu ja rakentaminen keskittyivät luonnon ja biomimiikan periaatteisiin. Rakennuskorkeudet on säädetty pysymään puurajan alapuolella. Lepakon lentoreittejä kunnioitettiin ja erityinen valosuunnitelma suunniteltiin hämärtyksen estämiseksi ja eläimistön suojelemiseksi.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 9.1-3 <https://www.archdaily.com/926357/triodos-bank-rau-architects>

1.4 Esivalmisteisuus ja modulaarisuus

10. Brock Commons Tallwood House, Acton Ostry Architects(II)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Korkeus	Sijainti	Rakennusvuosi
Kerrostalo, opiskelija-asunnot	Acton Ostry Architects	18 kerrosta, 53 m	Vancouver, Kanada	2017



Kuva 10.1

- **Hybridirakenne: sisäpuoliset puupinnat palosuojattu kipsilevyin ja betonivaluin**
- **Suunnittelun ja rakentamisen samanaikainen yhteistyö**
- **Kaksikerroksinen testimalli ennen työmaavaihetta**
- **Yksityiskohtainen 3D-malli**
- **Lyhyt pystytysvaihe työmaalla**

Brock Commons Tallwood House, University of British Columbia (UBC). Vancouverissa sijaitseva opiskelija-asuntorakennus on [ainakin valmistumisensa aikaan] maailman korkein massiivipuurakenteinen rakennus. Projekti toteutui useiden johtavien yritysten ja konsulttiyritysten sekä tunnetun massiivipuutuotteiden ja -pakkausten valmistajan Structurlamin yhteistyönä.



Kuva 10.2



Kuva 10.3

Suunnittelu- ja rakennustiimi työskenteli tiiviisti yhdessä alusta alkaen. Prosessia virtaviivaistettiin puulitosten perusteellisella testaamisella kaksikerroksisen mallin avulla ennen varsinaisen rakentamisen alkamista. Tämä ei ainoastaan antanut työryhmälle mahdollisuuden testata rakenteellista vakautta, vaan auttoi myös parantamaan projektin ajanhallintaa.

Esivalmistusprosessin kannalta vielä tärkeämpää oli yksityiskohtainen 3D-malli, jonka ansiosta eri osat pystyivät soveltamaan ideoita ennen kuin ne viimeisteltiin valmistusta tai rakentamista varten. Rakennus- ja suunnitteluprosessien tehokkaan yhdistämisen ansiosta rakennus valmistui vain 70 päivässä sen jälkeen, kun esivalmistetut komponentit olivat valmiita koottavaksi.

Internet-lähteet (hoettu 14.9.2021)

Kuvat 10.1-3 <https://www.archdaily.com/879625/inside-vancouvers-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building>

11. Origine, Yvan Blouin Architecte (II)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Asuinkerrostalo	Yvan Blouin Architecte	13 kerrosta, 41 m)	Quebec, Kanada	2017



Kuva 11.1

- **LEED-NC Silver**
- **Massiivipuurakenne**
- **Sivuttaisjäykistys massiivipuulla**
- **Valtion tuki**

Quebecissä sijaitseva 13-kerroksinen ja 40,9 metriä korkea puukerrostalo *Origine* on rakennettu massiivipuurakenteista betonijalustalle. Rakennuksessa on käytetty kantavina rakenteina pääosin CLT-suurelementtejä sekä liimapuupilareita ja -palkkeja. Rakennuksen 13:sta kerroksesta 12 on massiivipuuisia.



Kuva 11.2



Kuva 11.3

Puurakenteiden paloturvallisuuden tutkimisessa ja kehittämisessä kesti kaksi vuotta ennen kuin projekti sai viranomaisten hyväksynnän. Puurakenteiden hyväksyttämisen prosessi voi olla hyvin pitkälle kestävä ja kallis, mikä ei kannusta suunnittelijoita eikä rakennuttajia käyttämään puuta laajemmin. Viranomaisten tuella projektissa oli kuitenkin mahdollista testauttaa ratkaisuja laboratorio-olosuhteissa ja todeta rakenteiden toteuttavan paikalliset rakennus- ja kaavoitusmääräykset.

Puurakennuksessa oli huolehdittava asumismukavuudesta: riittävä ääneneristys asuntojen välillä sekä asukkaiden ja tuulen aiheuttaman värinän vaimennus.

Origine toimi myös kehittämishankkeena, jossa tutkittiin enintään 12 kerrosta korkeiden puukerrostalojen ominaisuuksia ja erityispiirteitä. Tuloksista julkistettiin maakunnallinen opas massiivipuorakennuksien suunnitteluun ja rakentamiseen.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 11.1-3 <https://www.nordic.ca/en/projects/structures/origine>

12. The circular building, ARUP (I, II, III)

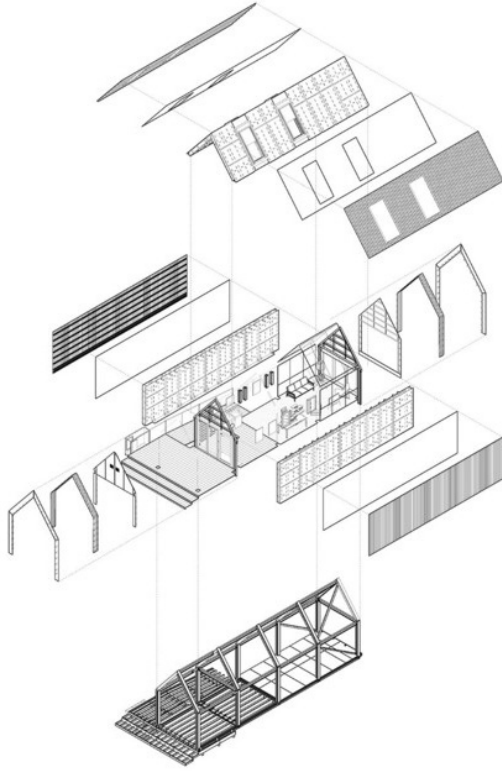
Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Paviljonki	ARUP	-	Lontoo, Englanti	2016



Kuva 12.1

- **Esivalmisteisuus**
- **Design for Disassembly**
- **Materiaalipankki**

Vuoden 2016 London Design Festivalia varten kehitettyyn prototyypiin Arup Associates suunnitteli The Circular Buildingin, joka on yksi ensimmäisistä rakennuksista Isossa-Britanniassa, joka rakennettiin täyttämään kiertotalouden periaatteet ja jossa “kaikki komponentit on otettava käyttöön ja käytettävä täysimääräisesti niiden elinkaaren ajan samalla, kun luodaan käyttäjälle mukava ja esteettinen ympäristö.”



Kaavio 12.1



Kuva 12.2

Suunnittelijat ja insinöörit kehittivät yhdessä esivalmistettujen rakennustekniikoiden soveltamista ja detaljeja, jotka hyödyntävät hienosäädettyä suunnittelua mekaanisten kiinnitysten sijaan.

Tiimi pystyi luomaan vähäjätteisen, kantavan ja purettavan rakenteellisesti integroidun paneelin (SIP) ja siihen perustuvan seinäjärjestelmän, jossa on uudelleenkäytettävät puristusliitokset seinien ja kierrätettyjen teräsrunkoelementtien välillä sekä kestävästi hankittua, lämpökäsiteltyä puuta verhouksena.

Suunnitteluprosessissa edellytettiin laajaa materiaalitutkimusta ja -testausta kiertokulun varmistamiseksi. Jokaiselle paneelille annettiin yksilöllinen QR-koodi, ennen kuin se vietiin paikalle. Näistä tiedoista tuli materiaalitietokanta ja näyttelyluettelo, joka “kokoaa ensimmäistä kertaa tietoja kunkin rakennusosan tuotannosta, materiaalista ja tulevasta käytöstä”.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva 12.1 https://www.buildingcentre.co.uk/whats_on/exhibitions/the-circular-building-2016-09-19

Kuva 12.2 <https://resource.co/article/creating-circular-building-11508>

Kaavio 12.1 <https://www.archdaily.com/868121/arup-designs-prototype-building-based-on-circular-economy-principles>

13. Puukuokka(II)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Asuinkerrostalo	OOPEAA	18 650 m ²	Jyväskylä, Suomi	2015



Kuva 13.1

- **Esivalmistetut CLT-tilaelementit kuusipuusta**
- **Esivalmistus paikallisessa tehtaassa**
- **Lyhyt rakentamisen työmaavaihe**

Puukuokka 1 oli Suomen ensimmäinen kahdeksankerroksinen puukerrostalo. Se tutkii modulaarisen esivalmistetun CLT-rakentamisen mahdollisuuksia asuntotuotannossa, jonka tavoitteena on tarjota korkealaatuisia, ympäristöystävällisiä ja kohtuuhintaisia asuntoja. Puukuokka 2 valmistui vuonna 2017 ja Puukuokka 3 elokuussa 2018.

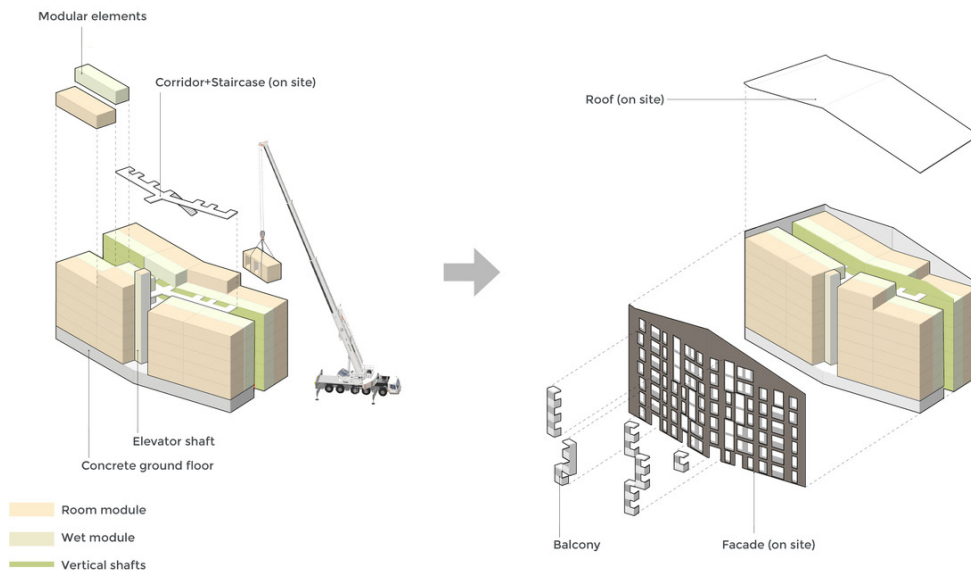


Kuva 13.2



Kuva 13.3

Koko kantava rakenne ja runko on valmistettu massiivipuusta, joka koostuu esivalmistetuista CLT-tilaelementeistä. Jokainen huoneisto on valmistettu kahdesta moduulista; kuivatilavyöhykkeestä: olohuone, parveke ja makuuhuone sekä märkätilavyöhykkeestä: kylpyhuone, keittiö ja eteinen. Myös erikseen valmistettavat ja asennusvalmiina työmaalle tuodut julkisivuelementit ovat kokonaan puuta. Moduulit esivalmistettiin paikallisessa tehtaassa alle kahden tunnin päässä työmaalta.



Kaavio 13.1

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 13.1-3 ja kaavio 13.1 <https://oopeaa.com/project/puukuokka-housing-block>

14.Lisbjerg housing, Vandkunsten Architects (I, II)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Asuinkerrostalo	Vandkunsten Architects	-	Lisbjerg, Tanska	2018



Kuva 14.1

- **Purettavaksi suunniteltu, esivalmisteisuus (palkit, pilarit, laatat)**
- **Puun käyttöön perustuva hybridirakenne**
- **Muuntojoustava ikkuna-aukotus ja pohjaratkaisu**

Asuminen Lisbjerg Bakkessa perustuu kestävyteen käsitteen laajassa merkityksessä – asuminen laatu, yhteisöllisyys, talous ja kaikki asiaankuuluvat säännöt ja sertifikaatit. Tämä on tanskalaisen arkkitehtitoimisto Vandkunstenin ehdotus tulevaisuuden kestäväksi ja yleisesti sovellettavaksi asumis- ja kehityssuunnitelmaksi, joka pohjautuu nykyteknologiaan, talouteen ja säädöksiin.



Kuva 14.2



Kuva 14.3

Projektissa on panostettu rakenteiden liitosten huolelliseen suunnitteluun siten, että rakennusosat ja -materiaalit olisivat purettavia ja uudelleenkäytettäviä tulevaisuudessa.

Massiivipuuta on pääasiallinen materiaali muuntojoustavassa hybridirakennejärjestelmässä, kun taas betoni ja teräs ovat toissijaisia ja niitä on käytetty vain tarvittaessa. Liimapuuta on käytetty pilareissa, palkeissa, välipohjalaatoissa sekä katto- ja julkisivuelementeissä. Betonia ja terästä on käytetty myös rakenteellisesti ja käytännöllisesti. Betoni sopii erinomaisesti täyttämään tiukat ääneneristysvaatimukset monikerroksisissa asunnoissa: tästä syystä sisäänkäyntiportaikoissa on käytetty betonia. Samoin hissikuulut ja osa ulkotasoista ovat betonisia. Teräspalkit korvaavat puuta tietyissä paikoissa, joissa tarvitaan lisätukea rakennusjärjestelmän mittasuhteiden säilyttämiseksi.

Palkki- ja pilarijärjestelmä sekä pitkät laattaelementit mahdollistavat muuntojoustavat, vapaat pohjaratkaisut sekä tilojen uudelleen suunnittelun tulevaisuuden käyttötarkoituksiin.

Internet-lähteet (hoettu 14.9.2021)

Kuvat 14.1-3 <https://divisare.com/projects/439470-vandkunsten-architects-helene-hoyer-mikkelsen-housing-on-lisbjerg-bakke>

15. Vindmøllebakken Housing (II)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Asuinkerrostalo	Helen & Hard	4 980 m ²	Stavanger, Norja	2019



Kuva 15.1

- **Esivalmistettu puurakenne**
- **Yhteisöllinen konsepti: vähemmän omistamista, enemmän jakamista**
- **Miellyttävä sisäilman laatu**
- **Korkea tilat maksimoivat päivänvalon määrän**

Projekti on suunniteltu käyttäen matalaa 3–5-kerroksista talotyyppiä, joka on rakennettu esivalmistetuista puuelementeistä. Tämä viittaa naapuruston perinteiseen puutalorakentamiseen. Vindmøllebakkenista on tullut moderni asuntotopologia, joka täyttää inhimilliset, sosiaaliset ja ekologiset tarpeet kestäväällä tavalla.



Kuva 15.2



Kuva 15.3

Puurakenteen muodostavat esivalmistetut hammppueristeiset paneelit ja sisäpinnat on viimeistely 60 mm:n paksuisella massiivipuulevyllä. Paljas luonnollinen pinta luo miellyttävän sisäilman laadun säätelemällä luonnollisesti kosteutta ja päästöjä. Kaksi kerrosta korkeat tilat tuovat luonnonvalon syvälle aulatiloihin, jolloin sisätilojen istutusalueet voivat parantaa asuntojen ja yhteisten tilojen sisäilmaston laatua.

Asunnot on porrastettu ja sijoitettu sisäpihan ja atriumin ympärille, jotta kattoterassien ja parvekkeiden avulla voidaan lisätä luonnonvalon määrää asunnoissa ja tehostaa ilmanvaihtoa. Runsailla yhteistilajärjestelyillä on kompensoitu yksityisten asuntojen tavallista pienempiä kokoja (asunnoissa pienemmät keittiöt ja kylpyhuoneet). Näin ollen asukkaat voivat käyttää enemmän yhteisiä tiloja, kuten yhteiskeittiötä, työpajoja, kirjastoa ja vierashuoneistoja. Asukkaat omistavat vähemmän, mutta jakavat enemmän.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 15.1-3 <https://www.archdaily.com/962820/vindmollebakken-housing-helen-and-hard>

1.5 Uudelleenkäyttö

16. Upcycle house (II, III)

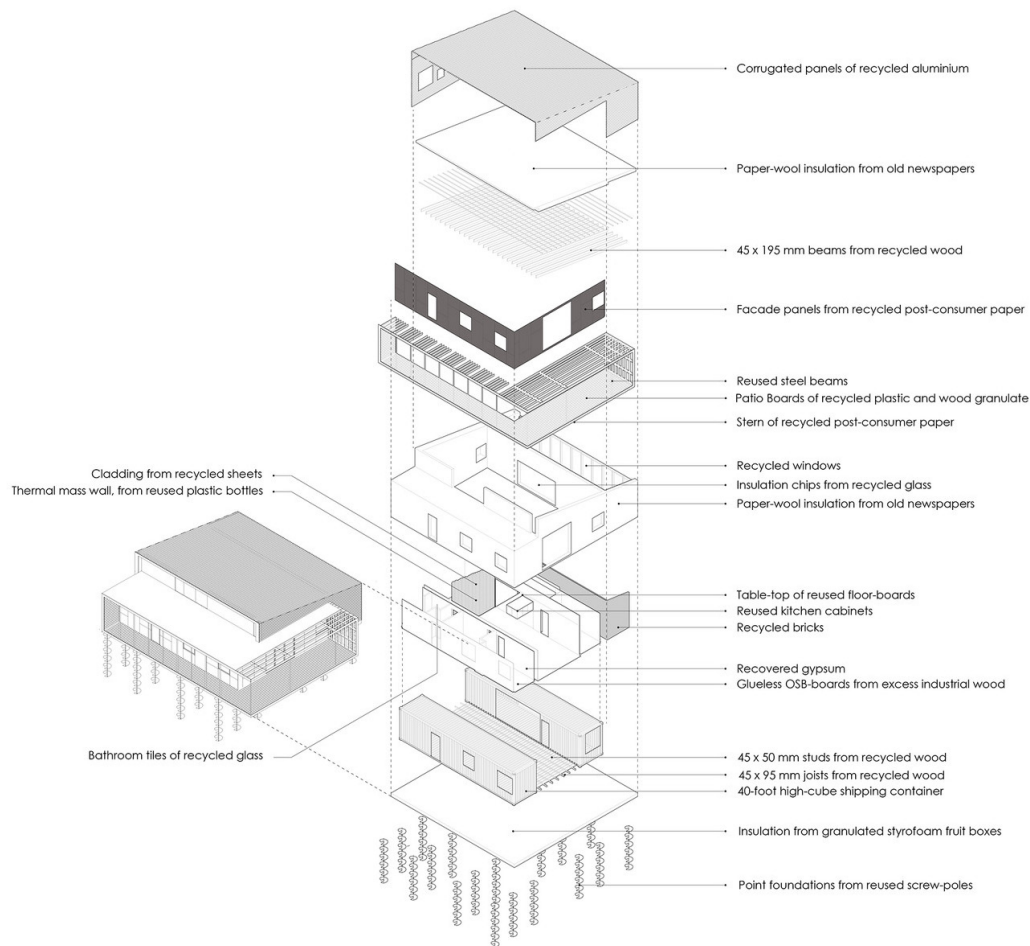
Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laaajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Pientalo	Lendager Arkitekter	129 m ²	Nyborg, Tanska	2013



Kuva 16.1

- **Hiilipäästöjä vähennetty 86% recycle- ja upcycle-materiaaleilla**
- **Passiivinen kestävyys: ilmansuunnat, pienilmasto, luonnonvalon optimointi, varjostus ja painovoimainen ilmanvaihto**

Upcycle House on kokeellinen projekti, jonka tavoitteena on ollut löytää mahdollisia hiilidioksidipäästöjen vähennyksiä käyttämällä recycle- ja upcycle -rakennusmateriaaleja. Upcycle House tapauksessa vähennys on ollut 86 % verrokkitaloon verrattuna.



Kaavio 16.1

Kantava rakenne koostuu kahdesta esivalmistetusta rahtikontista, kun taas katto- ja julkisivu-verhoilu on valmistettu kierrätetystä alumiinista soodatölkeistä. Julkisivupaneelit koostuvat kulutuksen jälkeisestä kierrätyspaperista, joka puristetaan yhteen ja lämpökäsitellään. Keittiön lattia on päällystetty kaakeloidulla samppanjakorkkijätteellä ja kylpylaatat on valmistettu kierrätyslasista. Seinät ja lattiat on päällystetty hakkeista koostuvilla OSB-levyillä, jotka ovat eri tuotantolaitosten sivutuotteita ja jotka puristetaan yhteen ilman liimaa.

Materiaalivalinnan lisäksi Upcycle House on suunniteltu ottamalla huomioon ilmansuunta, lämpötilavyöhykkeet, päivänvalon optimointi, varjostus ja painovoimainen ilmanvaihto.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva 16.1 ja kaavio 16.1 <https://www.archdaily.com/458245/upcycle-house-lendager-arkitekter>

17. Upcycle Studio (III)

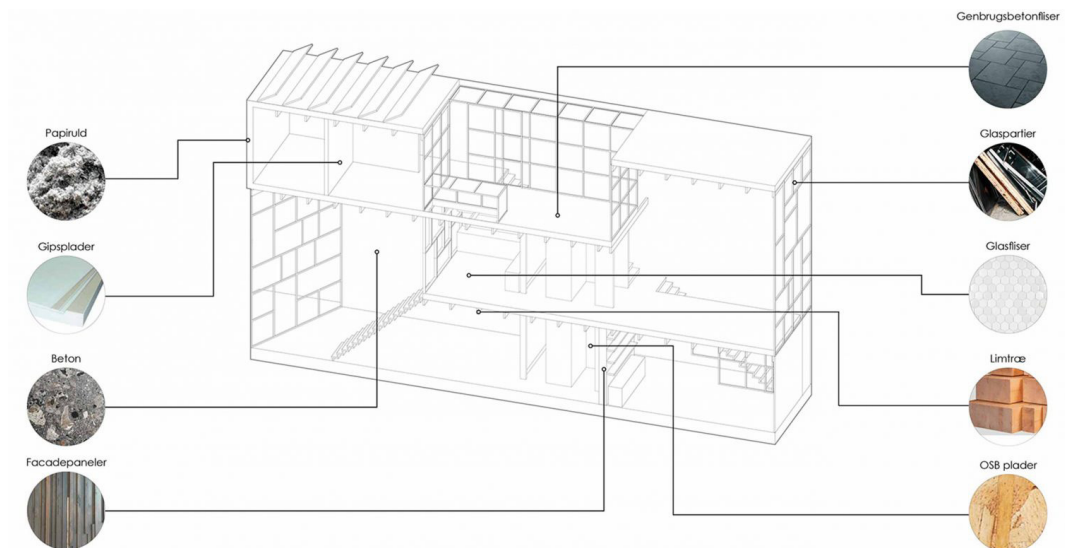
Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Asuinrakennus	Lendager Group	3,900 m ²	Ørestad, Tanska	2018



Kuva 17.1

- **Muuntojoustava pohja eri vuorokaudenaikoihin ja elämänvaiheisiin**
- **Uudelleenkäytetyt rakennusosat ja materiaalit, esim. ikkunat ja betoni**

Hankkeen pääkonsepti perustuu raakaan kaupunkiympäristöön (raw urban context), mutta myös yhteiskunnassa vallitseviin suuntauksiin. Asuntoja ei ainoastaan soviteta ympäristöönsä vaan myös uuteen kestävään elämäntapaan. Upcycle Studios -projektissa sellaiset teemat kuten symbioosi, resurssitehokkuus ja jakamistalous muodostavat perustan uudelle asunnolle.



Kaavio 17.1

Asuntojen käytettävyyttä on parannettu muuntojoustavilla pohjaratkaisuilla, jotka pyrkivät vastaamaan käyttötarpeisiin eri vuorokaudenaikoina ja myös eri elämänvaiheissa. Näin kotia voidaan käyttää yhdistettynä asuntona ja työpajana luoville freelancereille tai yrittäjille, mutta myös yhtenä asuntona suurperheille tai jaettuna kahteen erilliseen asuntoon. (Tämä mahdollistaa sen, että omistaja voi vuokrata yhden asunnon pysyvästi tai esimerkiksi Airbnb:n kautta ansaitakseen hieman ylimääräistä elämäntilanteessa, jossa ei hän tarvitse niin montaa huonetta.)

Upcycle Studion ikkunoista 75 % tulee hylätyistä rakennuksista Pohjois-Jyllannissa Tanskassa. 1 400 tonnia kierrätettyä betonia on valettu erittäin kestävästä betonijätteestä, joka on peräisin Kööpenhaminan metron rakentamisesta. Lattioiden, seinien ja julkisivujen puu on valmistettu Dinesen-lattialankkujen hukkapaloista.

Internet-lähteet (hoettu 14.9.2021)

Kuva 17.1 <https://www.livingcircular.veolia.com/en/city/upcycle-studios-floor-ceiling-circular-economy>

Kaavio 17.1 <https://lendager.com/en/architecture/upcycle-studios-en/>

18. Power House (II, III)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Toimistorakennus	Snohetta	5,200 m ²	Bærum, Norway	2014 (Origin 1980)



Kuva 18.1

- **Plusenergia-toimistorakennus**
- **Uudelleen käytetyt materiaalit ja rakennusosat: lasi, julkisivupaneelit ym.**
- **Jalanjälki-työkälulla minimoitu hiilipäästöt**
- **Kestävät kuljetustavat rakentamisen aikana**
- **Hiilletyn puun käyttö**

Powerhousen päätavoitteena on kehittää ja rakentaa rakennuksia, jotka tuottavat enemmän energiaa kuin, mitä ne kuluttavat elinikänsä aikana. Peruskorjauksen jälkeen rakennusten energiantarve on vähentynyt yli 86 prosenttia. Tämä on mahdollista minimoimalla itse rakennusten energiantarpeet ja tuottamalla paikan päällä enemmän uusiutuvaa energiaa kuin, mitä rakennus



Kuva 18.2



Kuva 18.3

kuluttaa elinkaarensa aikana. Energiatilinpidoissa on mukana rakennusmateriaalien tuotantoon, kuljetuksiin, rakentamiseen, käyttöön ja rakennuksen loppusijoitukseen liittyvä energiankäyttö.

Materiaalien ja komponenttien energian vähentämiseksi kaikki olemassa olevat rauditusteräs- ja betonirakenteet huollettiin ja käytettiin uudelleen kunnostetussa rakennuksessa. Vanhoja lasijulkisivupaneeleja käytettiin uudelleen kunnostettujen rakennusten sisätoimistojen julkisivuiksi.

Julkisivuverhoiluun valittiin hiilletty puu, joka minimoi tuotannossa käytetyn energian, samalla saavutti suhteellisen pitkän käyttöiän ja pidensi huoltoväliä. Tässä menetelmässä puuta poltetaan niin paljon, että sen ulkopuolelle muodostuu hiiltymäkerros, joka tekee siitä huomattavasti kestävämmän tulta, lahoa ja hyönteisiä vastaan.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuvat 18.1-3 <https://snohetta.com/project/40-powerhouse-kjorbo>

19. Kamikatz public house (III)

Rakennus Tyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Julkinen rakennus	Hiroshi Nakamura & NAP	115 m ²	Kamikatsu, Japani	2015



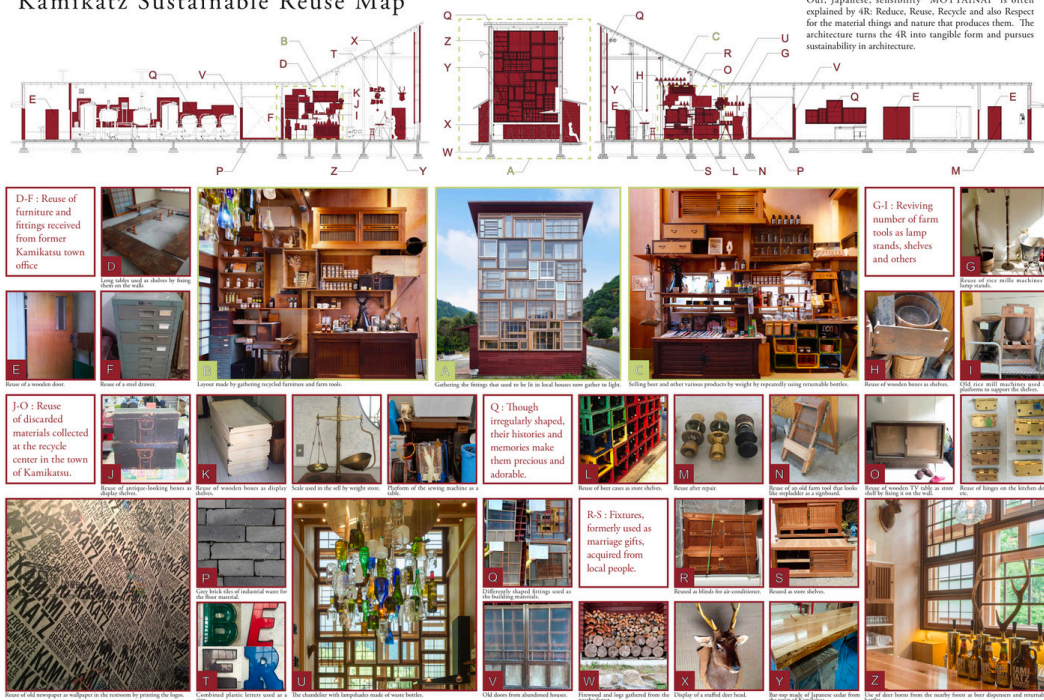
Kuva 19.1

- **Paikallisen jättemateriaalin hyödyntäminen**
- **Painovoimainen ilmanvaihto, luonnolliset eristemateriaalit**
- **Kierrätyskalusteet**

Tokushiman prefektuurissa sijaitseva Kamikatsu on sitoutunut nollajätteeseen ja pyrkii kehittämään kestäväksi kierrätysyhteiskunnaksi. Kaupunki on jo saavuttanut 80 %:n kierrätysasteen lajittelemalla jätteensä 34 luokkaan.

Yksityisen yrityksen pyörittämä kierrätystalo yhdistää yhteisöllisyyden, ihmisten tavat ja arkkitehtuurin jättemateriaalin hyödyntämisessä.

Kamikatz Sustainable Reuse Map



Kaavio 19.1

Hylätystä taloista peräisin olevat ikkunanpuitteet on sommiteltu kahdeksan metriä korkeaksi julkisivuksi. Korotettu katto tehostaa ilman läpivirtaukseen perustuvaa viilennystä kesällä, ja talvella kaksinkertaiset ikkunalasit parantavat lämmöneristystä.

Paikallisesti tuotettu seetrilevypuu jäte värjättiin luonnollisesti saadulla kakitanniinimaalilla ja levitettiin ulkoseinälle. Lattiassa hyödynnettiin laattatehtaan hylättyjä esineitä, kattokruunu luotiin tyhjästä pulloista ja tapetiksi kävivät sanomalehdet. Tila on täynnä improvisaatiota ja erikoisia löytöjä, jotka on tuotettu kekseliäillä jättemateriaaliyhdistelmillä.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva 19.1 ja Kaavio 19.1 <https://www.archdaily.com/892767/kamikatz-public-house-hiroshi-nakamura-and-nap>

20. Sands End Arts and Community Center (III)

Rakennustyyppi	Arkkitehti	Laajuus	Sijainti	Rakennusvuosi
Yhteisökeskus	Mae Architects	-	Lontoo, Englanti	2020



Kuva 20.1

- **Purettavaksi suunniteltu, 35 % kierrätysmateriaaleja**
- **CLT-rakenne**
- **Puumateriaalia ja rakennusjätteestä valmistettuja erikoistiiliä**
- **Muuntojoustavat sisätilat**

Mae architects on toteuttanut Länsi-Lontoossa yhteisökeskuksen, joka on suunniteltu mahdollisimman mukautuvaksi ja kierrätettäväksi. Arkkitehdit ottivat kiertotalouden menetelmät lähtökohdaksi Fulhamin Sand End Arts and Community Centerin suunnittelussa. Kiertotalouden lähestymistapa arkkitehtuuriin tarkoittaa mm. rakennusten ja niiden materiaalien mahdollisimman pitkäaikaista käyttöä sekä rakentamisen ja purkamisen aiheuttamien jätteiden ja päästöjen minimoimista.

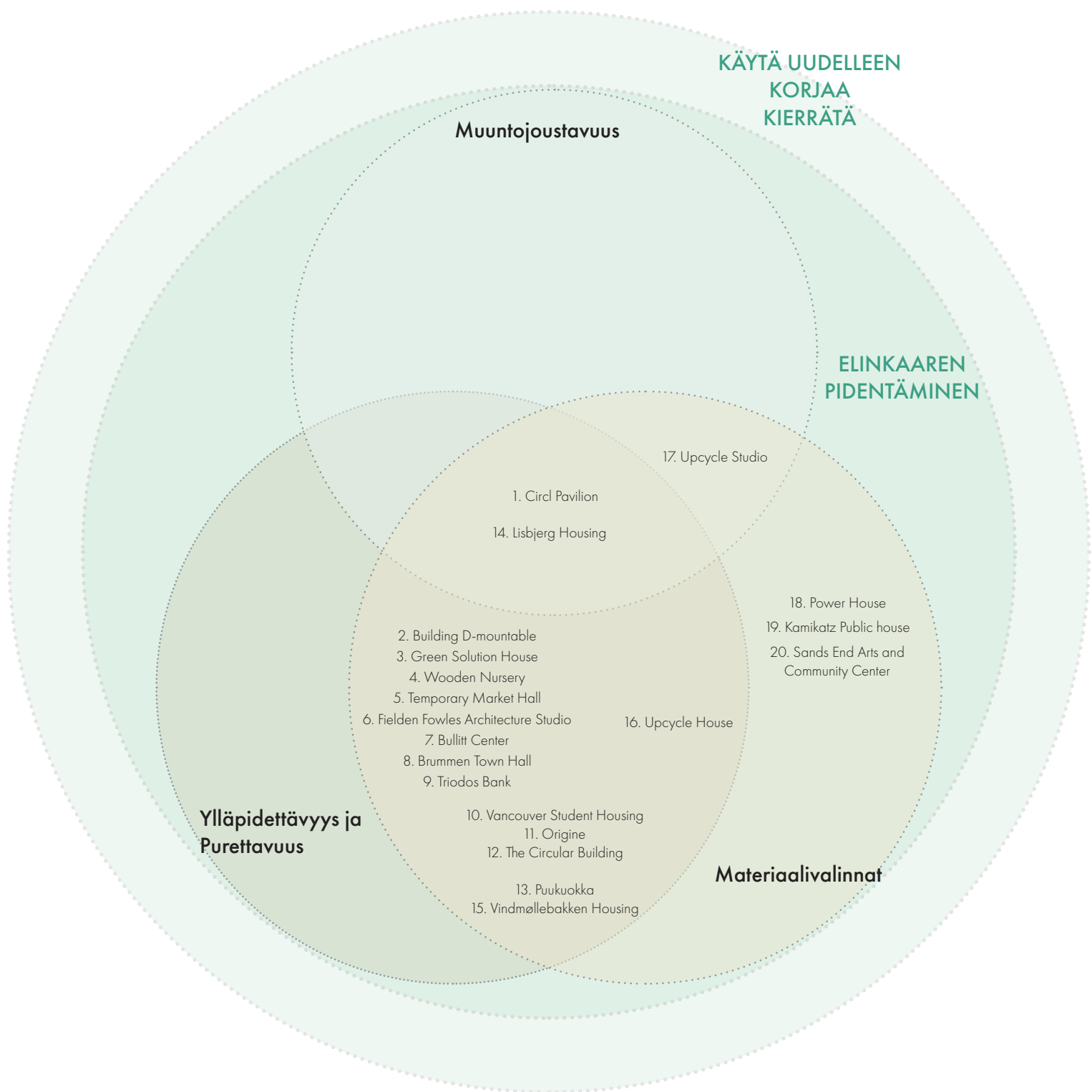


Kuva 20.2

Rakennus on tehty materiaaleista, joihin on kulunut vähän energiaa, mukaan lukien puutavara ja rakennusjätteestä valmistettu erikoistiili. Näitä tiiliä käyttämällä yli 35 prosenttia rakennuksesta on valmistettu kierrätysmateriaaleista. Purettavat kiinnikkeet valittiin myös mahdollisuuksien mukaan: esimerkiksi pulttia suosittiin liiman sijaan. Rakennuksen runko on valmistettu CLT:n ja liimapuun sekoituksesta. Mae arkkitehdit tekivät tiivistä yhteistyötä rakennesuunnittelijan kanssa tehdäkseen tästä rakenteesta mahdollisimman tehokkaan. Jättämällä puun esillä, he pystyivät välttämään tarpeettomia kerroksia, kuten kipsilevyä.

Internet-lähteet (haettu 14.9.2021)

Kuva 20.1 ja 20.2 <https://www.archdaily.com/956985/sands-end-arts-and-community-centre-mae-architects>



Kaavio 2. Esimerkkiprojektit järjestettynä raportti 1:ssä esitetyn mukaisiin suunnittelustrategioihin. Strategiat vastaavat kolmeen kiertotalouden imperatiiviin: *käytä uudelleen, korjaa ja kierrätä*. Strategiat tukevat toisiaan ja kuuluvat ylästrategiaan *Elinkaaren pidentäminen*. (Lehto & Suomela, 2021, S 12-16).

Design for Disassembly (DfD)



1. Cirdl Pavilion



2. D-mountable



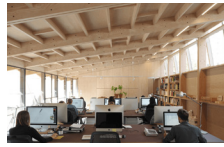
3. Green Solution House



4. Wooden Nursery



5. Temporary Market Hall



6. Fielden Fowles Architecture Studio



7. Bullitt Center



8. Brummen Town Hall



9. Triodos Bank

		Kieltäydy	Karsi	Käytä uudelleen Korjaa Kierrätä		
		Uudisrakentamisen välttäminen	Rakennusosien ja materiaalien optimointi	Elinkaaren pidentäminen		
				Muuntojoustavuus	Ylläpidettävyys ja purettavuus	Materialivalinnat
Tontti		-	-	-	-	-
	Rakenne	-	2, 3, 4, 5, 6, 7	-	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Ulkovaippa		-	1, 3, 7, 8, 9	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 3
	Tekniikka	-	1, 3, 7, 9	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Kevyet rakenneosat		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-

Kaavio 3. DfD-projektien strategiat jaettuna rakennuksen eri osiin Lehdon ja Suomelan (2021) synteesisäilykkoa mukaillen.

- Useimmissa projekteissa muuntojoustavuutta ei ole huomioitu
- Julkisivumateriaali, ikkunoiden sijainti ja ilmansuunta vaikuttavat sisätilojen laatuun (luonnonvalo, näkymät, lämmitys) Näillä suunnitteluvalinnoilla voidaan myös pienentää energiankulutusta.
- Alle puolet projekteista otti huomioon uusiutuvan energian
- Suurin osa valituista DfD-rakennuksista on rakennettu uusista materiaaleista. Rakennusosien ja materiaalien uudelleen käyttö on haasteellista johtuen mm. erilaisista teknisistä kelpoisuusvaatimuksista.

Esivalmisteisuus ja modulaarisuus



10. Vancouver Student Housing



11. Origine



12. The Circular Building



13. Puukuokka



14. Lisbjerg Housing



15. Vindmøllebakken Housing

		Kieltäydy	Karsi	Käytä uudelleen Korjaa Kierrätä		
		Uudisrakentamisen välttäminen	Rakennusosien ja materiaalien optimointi	Elinkaaren pidentäminen		
				Muuntojoustavuus	Ylläpidettävyys ja purettavuus	Materiaalivalinnat
Kevyet rakennneosat	Tontti	-	-	-	-	-
	Rakenne	-	10, 11, 12, 13, 14	-	10, 11, 12, 14	10, 11, 12, 13, 14, 15
	Ulkovaippa	-	15	14	10, 11, 12, 14	12, 14
	Tekniikka	-	-	14	13, 14	12, 14
	Kevyet rakenneosat	-	-	-	-	-

Kaavio 4. Esivalmisteisuutta ja modulaarisuutta hyödyntävien projektien strategiat jaettuna rakennuksen eri osiin synteesitaulukkoa (mt.) mukaillen.

- Useimmissa projekteissa muuntojoustavuutta ei ole huomioitu
- Pilari-palkki-rakenteet mahdollistavat usein muita runkorakenteita paremman huollettavuuden ja purettavuuden
- CLT-tilaelementteihin perustuvat rakenteet voivat olla myös helposti huollettavia, jos talotekniikan nousukuilut sijoitetaan helposti saavutettavaksi porrashuoneista
- Alle puolessa projekteissa on uudelleen käytettyjä materiaaleja

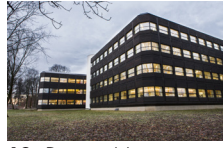
Uudelleenkäyttö



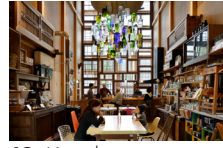
16. Upcycle House



17. Upcycle Studio



18. Power House



19. Kamikatz
Public House



20. Sands End
Community Center

		Kieltäydy	Karsi	Käytä uudelleen Korjaa Kierrätä		
		Uudisrakentamisen välttäminen	Rakennusosien ja materiaalien optimointi	Elinkaaren pidentäminen		
				Muuntojoustavuus	Ylläpidettävyys ja purettavuus	Materialivalinnat
Kevyet rakennneosat	Tontti	-	-	-	-	-
	Rakenne	-	16, 17, 18, 19, 20	17	16, 17, 18	16, 17, 18, 19, 20
	Ulkovaippa	-	16, 18, 19, 20	17	16	16, 17, 18, 19, 20
	Tekniikka	-	16, 18	17	16	-
		-	-	-	-	18

Kaavio 5. Kierrätysmateriaaleja hyödyntävien projektien strategiat jaettuna rakennuksen eri osiin synteesitaulukkoa (mt.) mukaillen.

- Useimmissa projekteissa muuntojoustavuutta ei ole huomioitu
- Uudelleenkäyttömateriaaleja hyödyntäviä projekteja ei ole juurikaan mietitty elinkaaren lopun, purettavuuden tai kierrätyksen näkökulmista

2.5 Johtopäätöksiä

2.5.1 Yhteistyö

Kiertotalouden mukaisessa suunnittelussa ja rakentamisessa yhteistyön merkitys onnistuneelle lopputulokselle korostuu. Tämä oli havaittavissa useassa projektissa, jossa päätavoitteeksi oli asetettu kestävä kehitys. Yhteistyöllä ja koordinoinnilla voidaan paitsi tehostaa hankkeen ajankäyttöä myös parantaa rakentamisen laatua.

Esimerkin *Building D-mountable* (2) tapauksessa rakentaminen kesti vain vähän yli puoli vuotta. Kantava teräsrunko ja puurakenteiset laatat asennettiin työmaalla kolmessa viikossa. Arkkitehdin mukaan tämän mahdollisti tiivis yhteistyö ja kommunikointi tilaajan, suunnittelijoiden, materiaalitoimittajien ja rakentajien kesken. Sujuvan yhteistyön merkitys korostui etenkin siksi, että rakennusmateriaalit suunniteltiin uudelleen käytettäviksi rakennuksen elinkaaren lopussa. Osapuolten erilaiset intressit ja käytännöt tuli sovittaa yhteen jo projektin alkuvaiheessa.

2.5.2 Viranomaisten tuki

Quebecissä sijaitseva 13-kerroksinen puukerrostalo *Origine* (11) on rakennettu massiivipuura-kenteista betonijalustalle. Rakennuksessa on käytetty kantavina rakenteina pääosin CLT-elementtejä ja liimapuupilareita. Puurakenteiden paloturvallisuuden tutkimisessa ja kehittämisessä kesti kaksi vuotta ennen kuin projekti sai viranomaisten hyväksynnän. Puurakenteiden hyväksyttämisen prosessi voi olla hyvinkin pitkäkestoinen ja kallis, mikä ei kannusta suunnittelijoita eikä rakennuttajia käyttämään puuta laajemmin. Viranomaisten tuella projektissa oli kuitenkin mahdollista testauttaa ratkaisuja laboratorio-olosuhteissa ja todeta rakenteiden toteuttavan paikalliset rakennus- ja kaavoitusmääräykset.

2.5.3 Materiaalien merkitys

Materiaalipassi ja purettavuuden suunnittelu

Projektien *Brummen Town Hall* (8) ja *Triodos Bank* (9) rakennukset toimivat materiaalipankkeina, joissa on käytetty materiaalipasseja rakennusosien materiaalien dokumentointiin. Materiaalipassit sisältävät tiedot käytetyistä materiaaleista, niiden ominaisuuksista ja määristä. Tämä parantaa rakennusosien huoltoa, uudelleenkäyttöä ja kierrätystä.

Jotta purettaviksi suunnitellut rakennukset voitaisiin elinkaaren lopussa purkaa osiin tarkoituksenmukaisella tavalla, täytyy tulevaisuuden tekijöiden tuntee suunniteltu purkamisprosessi täsmällisesti. Tästä syystä materiaalipassi tulee olemaan tärkeä dokumentti purettaviksi tarkoitettujen rakennusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

DfD-rakennusten 10 pääperiaatetta (Guy & Ciarimboli, 2008)

1. Materiaalien ja purkamistapojen dokumentointi
2. Materiaalivalinta varovaisuusperiaatetta noudattaen
3. Liitosten saavutettavuus
4. Kemiallisten liitosten minimointi tai välttäminen
5. Pultti-, ruuvi- ja naulaliitosten suosiminen

6. Taloteknisten järjestelmien erottaminen toisistaan
7. Selkeät erilliset työvaiheet
8. Rakenteen ja muodon yksinkertaisuus
9. Vaihdeavuus, yhteensopivuus
10. Turvallinen purkaminen

Esivalmisteiset CLT-rakenteet

Sekä *Puukuokka* (13) että *Lisbjerg housing* (14) on rakennettu esivalmisteisista CLT-puuelementeistä, mutta projektien erona on esivalmisteisuuden aste. Puukuokka oli pilottiprojekti, jossa kehitettiin ja testattiin CLT-pohjaisia tilaelementtejä. Esivalmisteisten tilaelementtien ansiosta talotekniset pystynousut voitiin asentaa porraskäytävien seinille. Tämä mahdollisti teknisten asennusten helpon saavutettavuuden ja huoltamisen. Samalla asuntopohjista voitiin suunnitella tehokkaita.

Lisbjerg housing -projektissa arkkitehdit ja insinöörit kehittivät WoodStock-nimisen hybridiratkaisun. Puun ristiinlaminointitekniikkaa käytetään pilareissa, palkeissa ja kantavissa laatoissa, katoissa ja ulkoseinissä. Puurakenteita on vahvistettu tarpeen mukaan betoni- ja teräsrakenteilla. Pilari-palkki-rakenne yhdistettynä pitkien jänneväliden välipohjalaattoihin mahdollistaa suuren muuntojoustavuuden asuntopohjissa. Muuntojoustavuus pidentää rakennuksen elinkaarta, kun asunnot vastaavat paremmin tulevaisuuden muuttuviin asumistarpeisiin.

Hybridirakenteet

Puurakenteita yhdistetään usein metalli- ja teräsrakenteisiin, jotka ovat kestäviä ja nopeita koota. Kiertotalouden rakennuksissa rakenneteräksissä voidaan käyttää jopa n. 95% kierrätysterästä, josta suurin osa voi olla peräisin yhdyskuntien metallinkeräyksestä. Esimerkiksi *Bullitt center* (7) -projektissa käytetystä teräksestä 83 % on kulutuksen jälkeistä ja 13 % kulutusta edeltävää kierrätysterästä. Kierrätysmateriaalin ansiosta neitseellisten raaka-aineiden käyttö voidaan minimoida.

Liikuteltavassa *Wooden Nursery* (4) -lastentarhassa metallirakenteita käytetään nopean asentamisen vuoksi. Rakenne mahdollistaa paitsi purkamisen ja kokoamisen myös tilaohjelman muokkaamisen uusiin käyttötarpeisiin (hättämajoitus, toimisto jne.)

Kierrätetyt ja paikalliset materiaalit

Upcycle house (17) ja *PowerHouse* (18) ovat koerakennuksia, joissa on tutkittu hiilipäästöjen vähentämistä recycle- ja upcycle-materiaalien avulla. Molemmat projektit havainnollistavat sitä, miten kierrätysmateriaaleista voi toteuttaa pysyviä uusia rakennuksia. Rakennukset ovat kiinnostavia ja edistyksellisiä, mutta kiertotalouden hierarkiassa seuraava kehitysaskel olisi siirtyä kierrätysmateriaaleista kaskadiperiaatteen mukaiseen rakennusosien kertautuvaan uusiokäyttöön.

Kamikatç public house (19) ja *Sands arts and community center* (20) ovat julkisia, yhteisöllisiä rakennuksia, joissa on käytetty paikallisia uudelleenkäytettyjä rakennusosia ja kierrätysmateriaaleja. *Kamikatç public house* -projektissa jätemateriaaleja on hyödynnetty innovatiivisesti. Projektissa on noudatettu kolmea kiertotalouden imperatiivia: uudelleen käytä, karsi ja kierrätä. Lisäksi rakennus on onnistunut aktivoimaan paikallisyhteisöä ja sitä kautta tuottamaan myös taloudellisesta toimeliaisuutta. Kiertotalouteen kuuluu tiiviisti myös sosiaalinen kestävä kehitys ja yhteisöllisyys.

Muuntojoustavuus ja rakennuksen elinkaari

Esimerkeissä muuntojoustavuutta on toteutettu eri tavoilla riippuen rakennustyyppistä ja käyttötarkoituksesta. *Circl-paviljongissa* (1) tilojen muotoa ja kokoa voi muokata liikuteltavin siirtoseinin eri käyttötarkoitusten mukaan. *Lisbjerg housing* (14) -kerrostaloprojektissa keittiöt ja kevyet väliseinät on toteutettu vähimmäisvaatimuksin, jotta vuokrat pysyisivät kohtuullisina. Kohtuuhintaisuuden lisäksi ratkaisu tarjoaa asukkaille mahdollisuuksia muokata huoneistopohjia asumistarpeidensa mukaan. Näin muuntojoustavuudella voidaan parantaa rakennuksen käytettävyyttä ja siten myös pidentää sen elinkaarta. Tämä kiertotalouden suunnittelustrategioiden yhteenkuuluvuus ja limittyminen on esitetty kaaviossa 2, s. 46.

2.5.4 Kokonaisvaltaisuus

Kiertotalouden periaatteiden toteuttaminen edellyttää usein hyvin kokonaisvaltaista näkökulmaa. Keskittyminen yksittäisiin uusiokäyttömateriaaleihin ei vielä takaa täysipainoista ja onnistunutta lopputulosta, jolla olisi esimerkillistä vaikuttavuutta ja symboliarvoa. Kokonaisvaltaisessa lähestymistavassa rakentamisen aineellisen ulottuvuuden lisäksi on huomioitava myös sosiaalinen konteksti ja yhteisölliset tilat. Tämä on onnistunut erityisen hyvin norjalaisessa asuntosuunnittelukohteessa *Vindmollebakken housing* (15). Avara ja korkea sisäaula muodostaa asukkaiden yhteisen oleskelu- ja tapahtumapaikan, agoran. Keskeisessä roolissa ovat monikäyttöiset istuskeluportaat, jotka toimivat myös esitysten katsomona. Tavallista runsaammilla yhteistiloilla, kuten yhteiskeittiöllä, työpajoilla, kirjastolla ja vierashuoneilla on kompensoitu pieniä asuntokokoja. Kiertotalous on myös jakamistaloutta ja yhdessä tekemistä.

Lähteet

ArchDaily, 2020. Building D(emountable) / architectenbureau cepezed. 28.3. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/936389/building-d-emountable-architectenbureau-cepezed>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2020. Green Solution House / 3XN. 19.8. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/945892/green-solution-house-3xn>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2018. Kamikatz Public House / Hiroshi Nakamura & NAP. 19.4. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/892767/kamikatz-public-house-hiroshi-nakamura-and-nap>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2021. Sands End Arts & Community Centre / Mae Architects. 16.2. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/956985/sands-end-arts-and-community-centre-mae-architects>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2019. Tridos Bank / RAU Architects. 13.10. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/926357/tridos-bank-rau-architects>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2013. Upcycle House / Lendager Arkitekter. 16.12. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/458245/upcycle-house-lendager-arkitekter>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2021. Vindmollebakken Housing / Helen & Hard. 4.6. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/962820/vindmollebakken-housing-helen-and-hard>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2020. Wooden Nursery / Djuric Tardio Architectes. 13.3. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/935476/wooden-nursery-djuric-tardio-architectes>. [Haettu 21.9.2021].

ArchDaily, 2016. Östermalm's Temporary Market Hall / Tengbom. 5.6. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/788616/ostermalms-temporary-market-hall-tengbom>. [Haettu 21.9.2021].

Cecobois, 2018. Origine, Pointe-Aux-Lievres Ecocondos Quebec City. Saatavilla: <https://cwc.ca/wp-content/uploads/2019/03/Origine-Case-Study.pdf>. [Haettu 21.9.2021].

Climate-KIC, 2019. The challenges and potential of circular procurements in public construction projects: produced as part of the EIT Climate-KIC circular cities project. ss. 42–44. Saa-

tavilla: <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2019/06/Procurements-in-Public-Construction.pdf>. [Haettu 21.9.2021].

Cristescu, C., Honfi, D., Sandberg, K., Sandin, Y., Shotton, E., Walsh, S., Cramer, M., Ridley-Ellis, D., Risse, M., Ivanica, R., Harte, A., Arana-Fernandez, M, D., Llana, D, F., Iniguez-Gonzalez, G., Garcia Barbero, M., Nasiri, B., Hughes, M., & Krofl, Z. 2020. Design for deconstruction and reuse of timber structure – state of the art review. ForestValue. Saatavilla: <https://doi.org/10.23699/bh1w-zn97>. [Haettu 21.9.2021].

Divisare, 2017. Tengbom: The temporary market hall. 5.4. Saatavilla: <https://divisare.com/projects/341638-tengbom-felix-gerlach-the-temporary-market-hall>. [Haettu 21.9.2021].

Divisare, 2021. Vandkunsten Architects Housing on Lisbjerg Bakke. 22.3. Saatavilla: <https://divisare.com/projects/439470-vandkunsten-architects-helene-hoyer-mikkelsen-housing-on-lisbjerg-bakke>. [Haettu 21.9.2021].

Fairs, M., 2021. Six examples of reversible architecture and design that can be taken apart and repurposed. Dezeen, 11.1. Saatavilla: <https://www.dezeen.com/2021/01/11/reversible-architecture-design-examples-recycled>. [Haettu 21.9.2021].

Feilden Fowles, n.d. Feilden Fowles Studio. Saatavilla: <https://www.feildenfowles.co.uk/feilden-fowles-studio>. [Haettu 21.9.2021].

Frearson, A., 2021. Mae Architects uses circular design principles to build Sands End community centre. 18.1. Saatavilla: <https://www.homedecostore.net/mae-architects-uses-circular-design-principles-to-build-sands-end-community-centre>. [Haettu 21.9.2021].

Green Solution House, 2015. Green Solution House: exploring circular sustainability. Saatavilla: <http://grafisk.3xn.dk/files/permanent/GreenSolutionHouseENG.pdf>. [Haettu 21.9.2021].

Griffiths, A., 2021. Tridos Bank is a reversible timber-framed office nestled in Dutch woodland. Dezeen, 21.2. Saatavilla: <https://www.dezeen.com/2021/02/21/tridos-bank-re-mountable-office-rau-architects-ex-interiors>. [Haettu 21.9.2021].

Guy, B. & Ciarimboli, N., 2008. Raportti 1. DfD: Design for Disassembly in the Built Environment: A Guide to Closed-Loop Design and Building: Hamer Center. ss.9

Hasan, G, Z., 2017. Inside Vancouver's Brock Commons, the World's Tallest Mass Timber Building. ArchDaily, 18.9. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/879625/inside-vancouver>

vers-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building. [Haettu 21.9.2021].

Lehto, A. & Suomela, M., 2021. Raportti 1. Kiertotalous ja kiertotalouden mukainen suunnittelu rakennusallalla. Puurakentamisen kiertotalouden ratkaisut -selvityshanke.

Lendager, n.d. Upcycle studio. Saatavilla: <https://lendager.com/en/architecture/upcycle-studios-en>. [Haettu 21.9.2021].

Material District, 2017. Circl: a completely circular and innovative pavilion. 20.9. Saatavilla: <https://materialdistrict.com/article/circl-circular-pavilion>. [Haettu 21.9.2021].

Nordic Architecture, 2021. Vindmollebakken. Chalmers school of architecture, 5.2. Saatavilla: <https://projects.arch.chalmers.se/2021/02/05/vindmollebakken>. [Haettu 21.9.2021].

NordicStructures, n.d. Origine, 13-storey building. Saatavilla: <https://www.nordic.ca/en/projects/structures/origine>. [Haettu 21.9.2021].

OOPEAA, n.d. Puukuokka Housing Block. Saatavilla: <https://oopeaa.com/project/puukuokka-housing-block>. [Haettu 21.9.2021].

Ozuna, V., 2020. Modular and nomadic building in Paris. Wooden nursery in Luxembourg gardens by Djuric tardio architects. Metalocus, 23.6. Saatavilla: <https://www.metalocus.es/en/news/modular-and-nomadic-building-paris-wooden-nursery-luxembourg-gardens-djuric-tardio-architectes>. [Haettu 21.9.2021].

Porada, B. 2013. 'The 'World's Greenest Commercial' Building Opens in Seattle Today. ArchDaily, 21.9. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today>. [Haettu 21.9.2021].

RAU, n.d. Brummen Town Hall. Saatavilla: <https://www.rau.eu/portfolio/gemeentehuis-brummen>. [Haettu 21.9.2021].

Santos, S., 2017. Arup Designs Prototype Building Based on Circular Economy Principles. ArchDaily, 30.3. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/868121/arup-designs-prototype-building-based-on-circular-economy-principles>. [Haettu 21.9.2021].

Shiell, A., 2021. Vindmollebakken model of co-housing proposes an alternative way of procuring and creating housing communities. Archello, 19.6. Saatavilla: <https://archello.com/pt/news/vindmollebakken-model-of-co-housing-proposes-an-alternative-way-of-procuring-and-creating-housing-communities>. [Haettu 21.9.2021].

Smith-Gardiner, N., AIA., LEED AP. 2012. Steel in the Bullitt Center. BullittCenter, 18.4. Saatavilla: <https://bullittcenter.org/2012/04/18/steel-in-the-bullitt-center>. [Haettu 21.9.2021].

Snohetta, n.d. Powerhouse Kjørbo. Saatavilla: <https://snohetta.com/project/40-powerhouse-kjorbo>. [Haettu 21.9.2021].

Stangeland, H, S., Kropf, R., Augenstein, H, R., Dahl, S, A., & Solheim, H., 2020. Vindmollebakken. EUmiesaward. Saatavilla: <https://miesarch.com/work/4811>. [Haettu 21.9.2021].

Wang, L., 2018. Sustainable 'circular economy' principles inform Amsterdam's flexible Circl Pavilion. Inhabitat, 10.7. Saatavilla: <https://inhabitat.com/sustainable-circular-economy-principles-inform-amsterdams-flexible-circl-pavilion>. [Haettu 21.9.2021].

ZEB (The Research Centre on Zero Emission Buildings), 2017. Pilot Building Powerhouse Kjørbo As Built Report. ZEB Project report 35- 2017. Saatavilla: <https://d21dbafykdck9.cloudfront.net/1527147761/ph-kjoerbo-as-built-zeb-project-report-no35.pdf>. [Haettu 21.9.2021].