

Jaakko Peltonen

# BETONIN KIERTOTALOUS VALMISTUKSESTA UUSIOKÄYTTÖÖN

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedikunta  
Juha-Matti Junnonen  
Toukokuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Jaakko Peltonen: Betonin kiertotalous valmistuksesta uusiokäyttöön  
The circular economy of concrete from production until reuse  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Toukokuu 2023

---

Betoni on maailman selkeästi käytetyin rakennusmateriaali. Tämä johtuu siitä, että sen ominaisuudet ovat oivalliset rakentamiseen. Lisäksi se on materiaalina kohtuullisen edullinen ja sitä on helppo työstää. Betonin valtavan käyttövolyymien seurauksena sen ympäristövaikutukset ovat myös erittäin suuret. Suurin osa betonin valmistuksessa syntyvistä päästöistä syntyy sementin valmistuksen kautta. Ympäristöasiat ovat olleet jo pitkään todella ajankohtaisia, mikä on lisännyt osaltaan kiinnostusta betonia korvaaviin materiaaleihin ja betonin kiertotalouteen liittyen. Tämä työn päätutkimuskysymys on betonin kiertotalous ja erilaiset keinot sen toteuttamiseksi. Toinen tutkimuskysymys liittyy betonin valmistusprosessiin ja siinä syntyviin päästöihin. Lisäksi työssä on case-tutkimus Tampereen Kissanmaalle rakennettavasta kiertotaloustalosta.

Tämä kandidaatintyö on tehty osittain kirjallisuustutkimuksena ja osittain haastattelun pohjalta. Haastattelu on tehty vain kiertotaloustalon case-tutkimukseen liittyen. Työn alussa käydään läpi betonia rakennusmateriaalina. Siinä käsitellään betonin ominaisuuksia ja valmistusprosessia sekä raaka-aineiden ja itse betonin valmistuksessa syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Työssä on tarkasteltu betonia paljolti sen ympäristövaikutusten kautta. Toisessa luvussa tutkitaan myös ympäristökeskeisen teeman mukaisesti betonin kiertotaloutta ja erilaisia kierrätys- ja uudelleenkäyttötapoja. Betonin kierrätys tapahtuu enimmäkseen murskaamalla se koneellisesti betonimurskeeksi, jonka jälkeen se voidaan käyttää maanrakentamisessa tai erilaisissa infrahankkeissa. Työssä käydään esimerkkikohteiden avulla läpi myös kokonaisten rakennusten tai rakenteiden uudelleenkäyttöä. Betonielementtien hyödyntämistä tutkitaan kahden pilottihankkeen kautta. Kiertotalouden periaatteiden mukaan tällainen uudelleenkäyttö on suotavampaa kuin murskaaminen, koska valmista tuotetta täytyy jatkojalostaa vähemmän.

Tampereelle rakennetaan Suomen ensimmäinen kiertotaloustalo. Kyseessä on pilottihanke, jossa pyritään minimoimaan koko rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt. Tampereen kaupunki järjesti tontinluovutuskilpailun, jossa piti kehittää ”vähähiilinen kerrostalo” -konsepti. Kaupungin asettama asiantuntijaraati arvioi konseptisuunnitelmat ja voittajaksi valikoitui Pohjola Rakennus Oy Suomi. Työssä käydään läpi heidän konseptisuunnitelmansa kiertotaloustalosta. Lisäksi sain aineistoa haastatteleamalla hankkeen projektipäällikköä Teams-ovelluksen välityksellä.

Tämän työn pääpointtina on betoni ja sen kiertotalous, joten kiinnitin työssä siihen erityisesti huomiota myös kiertotaloustalon osalta. Case-tutkimuksen alussa käsitelen hieman tietoja hankkeesta ja tontista, jolle rakennus tehdään. Tämän jälkeen siirryn tutkimaan erilaisia betonin käyttöön liittyviä asioita hankkeessa. Käsitelen lyhyesti kiertotaloutta myös muiden materiaalien ja rakenteiden osalta. Tutkimuksessa vertaillaan hankkeen päästöjä tyypillisesti rakennettavaan vastaavaan kohteeseen. Lopuksi pohdin vielä omia näkemyksiäni tällaisten hankkeiden tulevaisuudesta.

Työssä pyrittiin antamaan mahdollisimman laaja käsitys betonista ja sen kiertotaloudesta sekä uudelleenkäyttömahdollisuuksista. Työssä pohdittiin betonirakentamisen tulevaisuutta ja sitä, mihin suuntaan se tulee etenemään. Painopiste oli erityisesti betonin kiertotaloudesta.

Avainsanat: betoni, betonin ominaisuudet, betonin valmistus, kiertotalous, kiertotaloustalo, uusiokäyttö, elinkaari

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. BETONI RAKENNUSMATERIAALINA .....	2
2.1    Betoin ominaisuudet.....	2
2.2    Betoin valmistuksessa käytettävät raaka-aineet .....	3
2.3    Betoin valmistusprosessi.....	8
3. BETONIN UUSIOKÄYTTÖ.....	11
3.1    Betoin murskeen kierrätys ja uusiokäyttö .....	12
3.2    Betoin uudelleenkäyttö muuten kuin murskeena .....	15
4. CASE: KIERTOTALOUSTALO TAMPEREELLE.....	18
4.1    Tietoa projektista.....	19
4.2    Betoin käyttö hankkeessa .....	20
4.3    Hankkeen kiertotalous.....	21
4.4    Hankkeen päästöt.....	24
4.5    Pohdintaa mahdollisuuksista .....	25
5. YHTEENVETO.....	27
LÄHTEET .....	28

# 1. JOHDANTO

Rakentamisen ja rakennetun ympäristön osuus maailman hiilidioksidipäästöistä on todella merkittävä. Aiheeseen kiinnitetään jatkuvasti enemmän huomiota ja resursseja, koska ilmastonmuutoksen hillitseminen on välttämätöntä. Esimerkiksi EU:n ilmastopolitiikka pyrkii vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä. Vertailutasona käytetään vuoden 1990 päästöjen tasoa. Pyrkimyksenä on olla täysin ilmastoneutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. (EU:n ilmastopolitiikka) Pienemmässä mittakaavassa esimerkiksi Tampereen kaupungilla on tavoitteena olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä (Hiilineutraali Tampere 2030).

Suurin osa rakentamisessa syntyvistä päästöistä tulee betonin valmistuksesta. Betonia käytetään kaikkialla maailmassa valtavia määriä, minkä takia siitä syntyvät päästöt ovat niin merkittävät. Työssä tutkitaan betonin valmistusprosessia ja sen kiertotaloutta. Betonin raaka-aineet käydään läpi ja niiden valmistuksesta ja hankkimisesta syntyviä päästöjä käsitellään. Ensimmäisessä pääluvussa keskitytään erilaisiin keinoihin betonin uudelleenkäyttämiseksi, joista päällimmäisenä on betonin murskaaminen ja hyödyntäminen betonimurskeena. Lisäksi tarkastellaan kokonaisten rakenteiden ja rakennusosien uudelleenkäyttöä esimerkkitapausten ja -hankkeiden avulla.

Toisessa pääluvussa käydään läpi Tampereelle rakennettavaa Suomen ensimmäistä kiertotaloustalo -hanketta case-tutkimuksen muodossa. Siihen liittyen tutkimus on tehty osittain kirjallisuustutkimuksena ja osittain haastattelun pohjalta. Kiertotaloustalohankkeessa tullaan hyödyntämään useita kiertotalouden mukaisia periaatteita ja täysin uusia innovaatioita. Erityisesti huomio kiinnittyy betonin käyttöön ja hiilidioksidipäästöihin hankkeessa. Hankkeen hiilidioksidipäästöt pyritään pitämään alhaisempina kuin missään vastaavissa hankkeissa ennen tätä. Luvun lopussa pohditaan hieman vastaavien hankkeiden tulevaisuutta ja niiden yleistymistä.

Päätutkimuskysymyksenä on betonin kiertotalous ja erilaiset keinot sen toteuttamiseksi. Lisäksi tutkitaan betonin valmistusprosessia ja siinä syntyviä päästöjä. Työn tavoitteena on olla kattava yleiskatsaus betonista rakennusmateriaalina, sekä siitä syntyvistä hiilidioksidipäästöistä. Toiveena on, että lukija saa hyvän käsityksen aiheesta riippumatta hänen lähtötiedoistaan ja että hänellä herää ajatuksia betonirakentamisen tulevaisuuteen ja materiaalin uudelleenkäyttöön liittyen.

## 2. BETONI RAKENNUSMATERIAALINA

Betoni on maailman selkeästi käytetyin rakennusmateriaali. Sitä valmistetaan maailmalla noin 13 miljardia kuutiometriä joka vuosi (Betoni rakennusmateriaalina). Tämä johtuu siitä, että betonin ominaisuudet ovat oivalliset rakentamiseen. Betonia on helppo työstää ja muokata. Lisäksi se on edullista ja valmistusmateriaaleja on runsaasti saatavilla.

### 2.1 Betonin ominaisuudet

Betonin tärkein ominaisuus rakentamisen kannalta on sen puristuslujuus. Betoni kestää erinomaisesti puristusta, mikä mahdollistaa sen käytön massiivisissa rakenteissa, kuten rakennusten rungoissa, erilaisissa silloissa sekä tunneleissa. Betonin puristuslujuutta ja muita ominaisuuksia voidaan säädellä tarpeen mukaan. Se tapahtuu säätämällä betonin vesi-sementtisuhdetta, mikä onkin selkeästi tärkein betonin laatuparametri. Vesi-sementtisuhte kehitettiin jo yli 100 vuotta sitten professori Duff A. Abramsin toimesta (Punkki ja Ojala 2018). Abrams tutki betonisuhteitusta ja havaitsi riippuvuussuhteen betonin vesi-sementtisuhteen ja sen lujuuden välillä. Tämä tapahtui vuonna 1918, mutta raportti siitä on kirjattu vuodelle 1919 (Punkki ja Ojala 2018). Vesi-sementtisuhdetta kutsutaan myös Abramsin laiksi:

$$F_c = \frac{K_1}{K_2^{w/c}}$$

jossa  $F_c$  = betonin puristuslujuus,  $K_1$  ja  $K_2$  ovat vakio termejä ja  $w/c$  on betonin vesi-sementtisuhte (Punkki ja Ojala 2018). Betonin puristuslujuus kasvaa mitä enemmän sementtiä käytetään suhteessa veden määrään. Betonin lujuuden kehittymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat myös käytetyn sementin laatu, runkoaineen ominaisuudet, lämpötila ja tiivistysaste. Vesi-sementtisuhte vaikuttaa siihen, miten huokoista sementtikivistä tulee. Tämä johtuu sementtipartikkeleiden välisistä etäisyyksistä, jotka vaihtelevat sementin määrän mukaan. Vesi-sementtisuhte korreloi voimakkaasti betonin eri ominaisuuksien kanssa. Tämän avulla voidaan valvoa betonin laatua puristuslujuuskeskeisesti. Alla olevassa kuvassa on taulukoituna kirjoittajien Punkki ja Ojala näkemys betonin ominaisuuksien riippuvuussuhteesta vesi-sementtisuhteeseen. Vaikutukset ovat arvioita ja ne perustuvat tutkimustietoon. Tuloksia on jossain määrin yksinkertaistettu, eikä taulukossa huomioida betonin ikää tai hydrataatioasteen aiheuttamia vaikutuksia.

Ominaisuus	Korrelaatio v/s-suhteen kanssa 0..5 1=hyvin heikko 5=erittäin voimakas	Muut vaikuttavat tekijät
Puristuslujuus	4	Kiviaineksen lujuus, sementin lujuus, betonin ilmamäärä
Vetolujuus	4	Kiviaineksen laatu (tartunta)
Kimmomoduuli	3	Sementtipastan määrä, kiviaineksen kimmomoduuli, betonin ilmamäärä
Kutistuma, viruma	3	Sementtipastan määrä, kiviaineksen kimmomoduuli, betonin ilmamäärä
Karbonatisoituminen	4,5	Sementtityyppi, seosaineiden laatu ja määrä, sementin hienous
Pakkaskestävyys	4-	Betonin ilmamäärä
Suola-pakkaskestävyys	4	Betonin ilmamäärä
Kloridien tunkeutuminen	4+	Sementtityyppi, seosaineiden laatu ja määrä
Sulfaatin kestävyys	2	Sementtityyppi, seosaineiden laatu ja määrä

**Kuva 1.** Betonin ominaisuuksien ja vesi-sementtisuhteen välinen korrelaatiotaulukko (Punkki ja Ojala 2018).

Betonin vetolujuus on noin noin 10 % sen puristuslujuudesta (Betonin lujuus). Tämä vaikuttaa oleellisesti betonin käyttöön rakentamisessa, sillä useisiin rakenteisiin kohdistuu jonkin verran vetorasitusta. Tämä ongelma on kuitenkin ratkaistu siten, että betoniin lisätään rauditus. Se ottaa vastaan rakenteeseen kohdistuvat vetojännitykset. Rauditus voidaan tehdä teräksestä, jännepunoksista tai erilaisista kuiduista. Betonilla ja teräksellä on sama lämpölaajenemiskerroin, mikä tarkoittaa sitä, että molemmat materiaalit laajenevat ja kutistuvat samassa suhteessa lämpötilan muuttuessa. Se puolestaan estää rakenteen halkeilua ja lopulta sen hajoamista.

Betonista tehdään massiivisia rakenteita, mikä auttaa sen toimintaa äänen ja värähtelyn eristämisessä. Betonia harvemmin käytetään puhtaasti tämän takia, mutta se on yksi sen hyvistä ominaisuuksista. Betonin huokoinen rakenne vaikeuttaa värähtelyn etenemistä, mikä auttaa äänen eristyksessä ja vähentää tärinää. Tätä hyödynnetään esimerkiksi teollisuushallien lattioissa ja raskaiden koneiden alustoissa. Betoni on monesta eri syystä erittäin turvallinen rakennusmateriaali. Teräsbetonirakenteet ovat sitkeitä, mikä parantaa käyttöturvallisuutta. Rakenteeseen ilmestyy selkeästi silmin nähtäviä halkeamia ennen kuin se murtuu, mikä auttaa ongelman havaitsemisessa ennen sen tapahtumista. Lisäksi betoni on sekä palon- että kosteudenkestävä materiaali. (Ominaisuudet ja käyttö)

## 2.2 Betonin valmistuksessa käytettävät raaka-aineet

Betonin valmistuksessa käytetään pääsääntöisesti samoja raaka-aineita. Niiden määrien suhdetta toisiinsa nähden säätelämällä voidaan vaikuttaa betonin ominaisuuksiin. Nykyään on kehitetty myös vaihtoehtoisia raaka-aineita eniten käytettyjen tilalle. Siten

pyritään usein parantamaan jotain tiettyä betonin ominaisuutta tai vähennetään esimerkiksi valmistuksessa syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrää. Useimmin betonin valmistuksessa käytettyjä osa-aineita ovat sementti, kiviaines, seosaineet, kuten mineraaliset fillerit ja pigmentit, vesi, lisäaineet sekä kuidut (BY65 2021, s. 14).

Sementti on epäorgaaninen materiaali ja sen raaka-aineina ovat pääsääntöisesti luonnonmineraalit, kuten kalkkikivi. Nämä raaka-aineet jauhetaan hienoksi jauheeksi ja kuumennetaan uunissa noin 1 450 °C lämpötilaan. Tämän seurauksena mineraalit sulavat ja ne pystyvät reagoimaan keskenään. Tässä vapautuu kalkkikiveen sitoutunut hiilidioksidi, mikä aiheuttaa merkittävän osan betonin hiilidioksidipäästöistä. Kemiallisissa reaktioissa syntyy kaliumsilikaateista muodostuvia klinkkerimineraaleja, joista jauhetaan lopulta sementtiä. Sementti sekoitetaan veden kanssa, jolloin muodostuu pastaa, joka sitoutuu ja kovettuu hydrataatioreaktioiden kautta lujaksi mineraaliksi. Tätä mineraalia kutsutaan sementtikiveksi. Se sitoo betonimassan kiviaineksen ja raudoituksen yhdeksi paketiksi, mikä mahdollistaa betonin käytön rakentamisessa. (Betonin valmistus) Kovettumisen jälkeen sementti säilyttää lujuutensa ja pysyvyytensä sekä ilman, että veden vaikutuksessa. Sementin tulee olla CE-merkitty standardin SFS-EN 197-1 mukaan (BY65 2021, s. 14). Sementti on betonin toiminnan kannalta sen tärkein osa-aine. Yhteen kuutiometriin betonia tulee noin 200–400 kg sementtiä. Tämä on noin 8–16 painoprosenttia betonin massasta (Betonin valmistus).



**Kuva 2.** Sementtijauhetta (Heidelberg Materials)

Betonin runkoaineena käytettävää kiviainesta on noin 70 % betonin tilavuudesta. Suomessa kiviainesta louhitaan vuosittain melkein 200 miljoonaa tonnia, josta betonissa

käytettäviä kiviaineksia on kuitenkin vain noin 5 %. Tämä tarkoittaa noin 8–10 miljoonaa tonnia vuodessa. (Kiviaines) Betonin runkoaineena voidaan käyttää luonnonkiviainesta, keinokiviainesta, uusiokiviainesta tai kierrätyskiviainesta. Betonissa käytettävän kiviaineksen tulee kuitenkin olla CE-merkittyä standardin SFS-EN 12620 mukaisesti. Kiviaineksen raekoon ylänimellisraja saa olla enintään 40 % rakenteen paksuudesta. Lisäksi tulee huomioida raudoituksen asettamat vaatimukset. (BY65 2021, s. 14–15) Valtaosa Suomessa rakentamiseen käytettävästä kiviaineksesta on kalliosta murskattua. Tämä johtuu siitä, että rakentamisalueiden lähellä olevat soravarannot ovat pikkuhiljaa ehtymässä ja niiden hyödyntämisen ehdot ovat kiristyneet. Toinen oleellinen tekijä kalliokiviaineksen käytön lisääntymiselle on kiviaineksen käyttökohde ja lopputulokselle haluttu laatu. Kalliokiviaines soveltuu paremmin teiden ja katujen rakentamiseen sekä asfaltin ja betonin valmistukseen kuin luonnonsora. Lisäksi kalliokiviaineksen käyttö on kasvanut, koska tekniikat kallion murskaamiseksi ja louhimiseksi ovat kehittyneet aiempaa paremmiksi (Kiviaines).



**Kuva 3.** Betonin runkoaineena käytettävää kalliomurskettä (Kalliomurske)

Betonissa käytettävät seosaineet ovat epäorgaanisia, hienojakoisia osa-aineita. Niitä käytetään erityisesti parantamaan joitain tiettyjä betonin ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi betonin notkeus, sen ilmapitoisuus tai massan kovettumisnopeus (Betoniteollisuus ry). Seosaineet ryhmitellään usein tyyppin mukaan. Tyyppin 1 seosaineet reagoivat hyvin vähän, eli ne ovat lähes reagoimattomia. Esimerkkejä tyyppin 1



seosaineista ovat standardin SFS-EN 12878 mukaiset pigmentit. Tyypin 2 seosaineet puolestaan ovat pozzolaanisia tai piilevästi hydraulisia (BY65 2021, s. 15). Pozzolaaninen materiaali tarkoittaa sitä, että se sitoutuu ja kovettuu vain veden ja liukoisen kalsiumhydroksidin vaikutuksesta (Pozzolaani). Hyvä esimerkki pozzolaanisesta seosaineesta on lentotuhka. Betonissa käytettyjen seosaineiden tulee olla CE-merkittyjä.

Suomalainen vesijohtovesi soveltuu erittäin hyvin betonin valmistukseen. Mikäli betonin valmistuksessa käytetään humuspitoista järvi- tai suovettä, voi sementin kovettumisreaktio häiriintyä. Näin ollen betoni ei saavuta sille suunniteltua lujuutta, joten humuspitoista vettä ei saa käyttää. Erilaisia sokereita sisältävää vettä tulee erityisesti välttää betonin valmistuksessa, sillä sokeri hidastaa tai mahdollisesti jopa estää betonin kovettumisreaktion (Betoniteollisuus ry). Kierrätysvettä käytettäessä täytyy varmistaa etukäteen sen käyttökelpoisuus. Lisäksi kierrätysveden kloridipitoisuuden on oltava riittävän alhainen. Taulukko sallituista kloridipitoisuuksista on nähtävillä alla.

**Taulukko 1.** Veden sallittu kloridipitoisuus (BY65 2021, s. 15).

Loppukäyttö	Suurin kloridipitoisuus [mg/l]
Jännitetty betoni tai injektointilaasti	500
Raudoitettu tai metalliosia sisältävä betoni	1 000
Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni	4 500

Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa eniten sen vesi-sementtisuhteen avulla, mitä käsiteltiin jo aiemmin, mutta toinen hyvä keino on käyttää erilaisia lisäaineita. Lisäaineet ovat betonin osa-aineita, joita lisätään pieniä määriä betonimassaa sekoitettaessa. Betonissa käytettävien SFS-EN 934-2 standardin mukaisten lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä (BY65 2021, s. 16). Kaikki lisäaineet eivät kuitenkaan kuulu kyseisen standardin piiriin. Tällaisten lisäaineiden kelpoisuus tulee osoittaa muilla keinoilla, kuten varmennustodistuksen avulla. Hyvä esimerkki lisäaineista, jotka eivät kuulu aiemmin mainitun standardin piiriin ovat pakkasbetonin lisäaineet. Lisäaineita käytetään useimmin sellaisissa kohteissa, joissa on vaativat ympäristöolosuhteet. Rakennusten sisätiloihin käytettävä betoni voidaan yleensä tehdä ilman lisäaineita, mutta jos betoni tulee olemaan alttiina sää- tai kemikaalirasitukselle, kannattaa harkita lisäaineiden käyttöä (Lisäaineet).

Nykyään on yleistä, että betonielementit valmistetaan itsestään tiivistyvistä massasta, mikä on mahdollista notkistimen avulla. Ne ovat polykarboksylaatteja, eli vesiliukoisia polymeerejä. Tällaisessa tapauksessa lisäaineen tarkoitus on dispergoida eli erottaa sementtipartikkelit toisistaan, mikä parantaa betonin juoksevuuutta. (Lisäaineet) Lisäaineen annostusmäärä ei saa ylittää valmistajan määrittämää suurinta annostusta tai raja-arvoa *50 g lisäainetta / 1 kg sementtiä* (BY65 2021, s. 16). Lisäksi on tärkeää huomioida lisäaineiden yhteensopivuus toisiinsa, mikäli käytetään useampaa kuin yhtä lisäainetta samassa betonimassassa. Lisäaineet annostellaan betonimassaan vesiliukoksena, jossa suurin osa on vettä ja vain pieni osa lisäainetta. Säänkestäviä betonilaatuja voidaan valmistaa siten, että lisätään massaan niin sanottua huokoistinta, joka aiheuttaa mikroskooppisten ilmakuplien syntymisen betoniin. Huokoisempi betoni kestää säärasituksia paremmin, koska kun betoni jäätyy, laajeneva vesi pääsee huokosiin, jolloin betoniin syntyy vähemmän halkeamia. (Lisäaineet)

Kuitubetonilla voidaan tapauskohtaisesti korvata perinteinen raudoitus betonista. Lisäksi kuidut parantavat betonin veto-, taivutus- ja leikkauslujuutta. Kuitubetoni kestää myös iskuja tavallista betonia paremmin. Kuitujen tulee olla CE-merkittyjä. (BY65 2021, s. 17) Kuitubetonilla voidaan saavuttaa merkittävää logistista hyötyä. Työmaat ovat usein ahtaita ja voi olla vaikeaa saada kaikki materiaalit varastoitua työmaalle. Kuitubetonia käytettäessä ei tarvitse tehdä raudoituksia, jolloin ei tarvita raudoitungsverkkoja työmaalle. Säästöä syntyy myös verkkojen kuljettamisen vähenemisestä. Rudus.fi 2023 verkkosivujen mukaan kuitubetonilla voidaan saavuttaa jopa 20 % kustannussäästö, sekä 40 % toteutusaikasaäästö perinteiseen betoniin verrattuna. Tyypillisiä kuitubetonin käyttökohteita ovat maanvaraiset laatat, lattiat, ruiskubetonoinnit sekä paalulaatat.

Useimmiten kuidut valmistetaan erilaisista polymeereistä tai teräksestä. Niitä on kuitenkin mahdollista tehdä myös lasi- tai hiilikuidusta, keraamisista materiaaleista, tai basaltista. Ne ovat kuitenkin huomattavasti harvinaisempia (Kuitubetoni). Polymeerikuidut jaetaan usein kahteen luokkaan niiden ominaisuuksien mukaan. Ensimmäiseen polymeerikuitujen luokkaan kuuluvat niin sanotut mikrokuidut, joita voidaan käyttää esimerkiksi plastisen kutistuman halkeiluriskin pienentämiseksi tai korkealujuusbetonin palonkestävyyden parantamiseksi. Mikrokuidut ovat paksuudeltaan hyvin ohuita. Niitä ei voi käyttää täysin korvaamaan laattojen kutistumaraudoitusta.



**Kuva 4.** Betonissa käytettäviä mikrokuituja (vasen) ja makrokuituja (oikea) (Rudus.fi).

Toiseen luokkaan kuuluvat makrokuidut. Ne ovat isompia kuin mikrokuidut ja ne ovat usein kierteisesti sidottuja. Makrokuituja voidaan käyttää hyvin saman kaltaisesti kuin mikrokuituja, mutta ne kestävät suuremman kokonsa ansiosta enemmän räsitusta. Teräskuidut ovat kooltaan noin 25–60 mm pitkiä ja niiden halkaisija on 0,4–1,05 mm. Niitä voidaan käyttää täysin korvaamaan perinteinen verkkoraudoitus. Kuitujen määrä on aina määritettävä tapauskohtaisesti. (Rudus.fi 2023)

### 2.3 Betonin valmistusprosessi

Suomessa betonin valmistusta ohjataan useiden eri standardien avulla. Näitä ovat esimerkiksi SFS-EN 206 ja SFS 7022. Betoniyhdistyksen julkaisemissa betoninormeissa selitetään ja avataan standardien keskeisimpiä asioita ja lisäksi kuvataan hyvän rakennustavan mukaista ohjeistusta. Standardit ja betoninormit ovat työkaluja, joiden avulla voidaan varmistua siitä, että Suomessa käytetty betoni on hyvän laatuista. Betonin valmistukseen kuuluu raaka-aineiden vastaanotto ja varastointi, betonin runkoaineuksen ja veden lämmitys, massaan tulevien osa-aineiden mittaaminen ja annostelu, massan sekoittaminen, notkeuden säätö sekä laadunvalvonta. Tämä tapahtuu betoniasemalla, joka on erikseen betonin tuotantoa varten suunniteltu laitos. Asema voi tuottaa betonia teollisessa mittakaavassa hyvinkin paljon, tai se voi olla yksittäinen työmaalla oleva betonimylly, joka tuottaa betonia vain joitain kuutiometrejä tunnissa. (Betonin valmistus)

Betoni valmistetaan suhteituksen mukaan. Suhteitus on ennalta määritetty betonimassalle tapauskohtaisesti haluttu koostumus. Suhteituksessa määritetään massaan tulevat osa-aineiden määrät kilogrammoina betonikuutiometriä kohden. Vesi mitataan punnitsemalla vaakastiassa. Se on sähköisesti toimiva ja automaattisesti

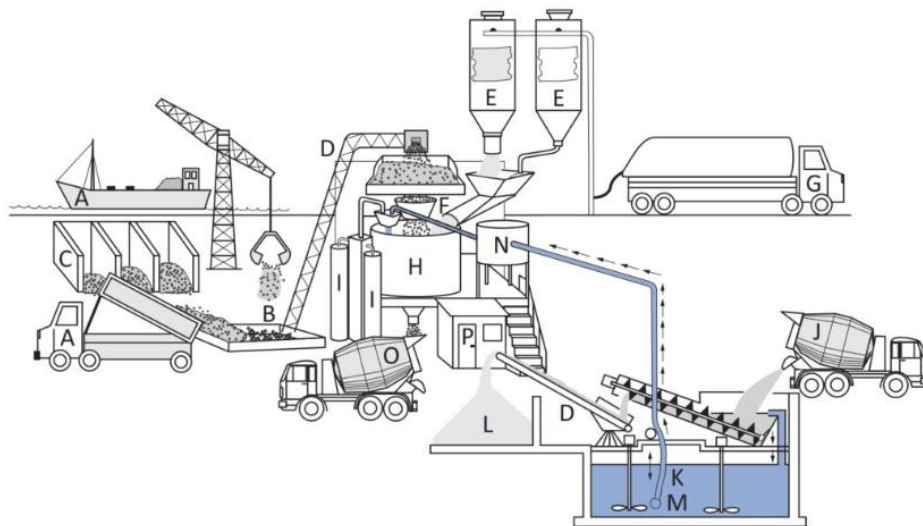
annosteleva astia, joka on ripustettu voima-antureiden varaan. Massa tehdään haluttuun notkeuteen sekoittimen ottaman tehon avulla. Koska raaka-aineet tunnetaan tarkasti, saavutetaan haluttu notkeus annostelemalla reseptin mukainen vesimäärä massaan. Tässä täytyy huomioida myös kiviaineksen kosteuspitoisuus sekä vedenimu. Notkeus saadaan tarkasti halutulle tasolle hienosäätämällä. Se tapahtuu siten, että laitetaan ensin esimerkiksi 90 % halutusta vesimäärästä massaan, jonka jälkeen annostellaan loput vedestä sekoittimen ottotehooon perustuvan notkeusmittarin avulla. Annostellun vesimäärän ja käytetyn lisäveden tulee näkyä annostelun tulostusraportissa. Sen avulla voidaan halutessa laskea massan vesi-sementtisuhte. Nykyisin betonimassan notkeuden säätelyyn on olemassa tietokoneohjatut järjestelmät, jotka säätävät betonimassan notkeuden automaattisesti kohdalleen. (Betonin valmistus) Nestemäiset lisäaineet annostellaan punnitsemalla niiden määrä. Tämä prosessi on automatiikan ohjaama.

Betonin runkoaineena toimivan kiviaineksen mittaukseen on erilaisia keinoja betoniaseman tyypistä riippuen. Siihen voidaan käyttää joko vaaka-astiaa tai hihnavaakaa. Molemmissa tapauksissa vaaka on sähköisten mittaustureiden varassa ja punnitus tapahtuu automaattisesti. Massa tulevat kiviaineslajit punnitaan kukin kerrallaan samalla vaa'alla. Lopuksi vaaka tyhjenetään joko syöttökouruun ja sieltä sekoittimeen, tai suoraan sekoittimeen. Tässä käytetään usein apuna paineilmaohjattuja jakoluukkuja. Betonimassaan tuleva sementti punnitaan vaaka-astialla hyvin samankaltaisesti kuin siihen tuleva vesi. (Betonin valmistus)

Betonin valmistus kannattaa suorittaa lämpimässä tilassa, että saadaan osa-aineiden sisältämä lämpö hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Tämä ei ole niin oleellista valmisbetonitehtaissa, koska energiankäyttö niissä on usein hallittua eikä energiaa pääse hukkaan. Mikäli valmistettavaa betonia täytyy lämmittää, nousevat valmistuskustannukset selkeästi. (Betonin valmistus) Betonimassan lämpötilan on tärkeää olla riittävän korkea, koska massan ollessa liian kylmää voi betonin lujuuden kehitys jäädä suunniteltua heikommaksi. Tällöin rakenne ei kestä suunnitellusti. Myös liian korkea lämpötila voi vaikuttaa betonin lujuuden kehittymiseen negatiivisesti, mutta näin tapahtuessa puhutaan huomattavan korkeista lämpötiloista ja pidemmistä vaikutusajoista. Merkittävin tekijä betonimassan lämpötilaan on kiviaineksen lämpötila. Tämä johtuu puhtaasti siitä, että kiviaineksen osuus on noin 70–85 % betonin massasta. (Betonin valmistus) Lämpimillä keleillä betonin osa-aineita ei tarvitse lämmittää, mutta jäähdyttämiselle voi olla tarvetta. Tämä hoituu yleensä sillä, että käytetään kylmää vettä massan notkistamisessa. Äärimäisissä tilanteissa voi olla tarvetta jäähdyttää käyttämällä jäämurskaa tai nestemäistä tyyppiä. Tämä on kuitenkin todella harvinaista.

Talvella puolestaan massaa voidaan joutua lämmittämään erityisesti, jos kiviaineksen mukana on jäätä tai lunta. Tämä tapahtuu usein lämpimän veden avulla, koska sen lämmitys on helppoa. Vedellä on myös suuri ominaislämpökapasiteetti, mikä on eduksi tällaisessa tilanteessa. Joskus joudutaan kuitenkin lämmittämään myös kiviainesta, koska siten voidaan vaikuttaa tehokkaimmin betonimassan lämpötilaan. Kiviainesta lämmitetään joko siiloissa tai maataskuissa. Lämmitykseen käytetään usein höyryä (Betonin valmistus).

Betonimassan tulee olla homogeenistä, jotta voidaan varmistua sen kestävydestä rakenteessa. Tästä voidaan varmistua riittävällä massan sekoittamisella. Vaadittavaan sekoitusaikaan vaikuttaa myös käytetyn sekoittimen tyyppi. Yleensä massaa on sekoitettava vähintään 60 sekuntia, että massasta tulee riittävän homogeenistä. Tästä pidempi sekoitusaika ei oleellisesti paranna normaalin betonimassan tasalaatuisuutta, mutta erikoisbetoneilla pidemmät sekoitusajat voivat olla tarpeellisia. Riittävä sekoitusaika tulee selvittää ennakkokokeilla. Erityisesti kuitubetoneja käytettäessä tulee massa sekoittaa erityisen hyvin. Teräskuitubetonin rakenteellinen toiminta riippuu oleellisesti mitoitetun kuitumäärän tasaisesta sekoittumisesta. Tyypillisesti kuitubetonin sekoitusaika on noin 1,5–2 kertaa pidempi normaaliin betoniin verrattuna. Mikäli sekoitusaika on liian lyhyt, massan laatu heikkenee nopeasti. (Betonin valmistus)

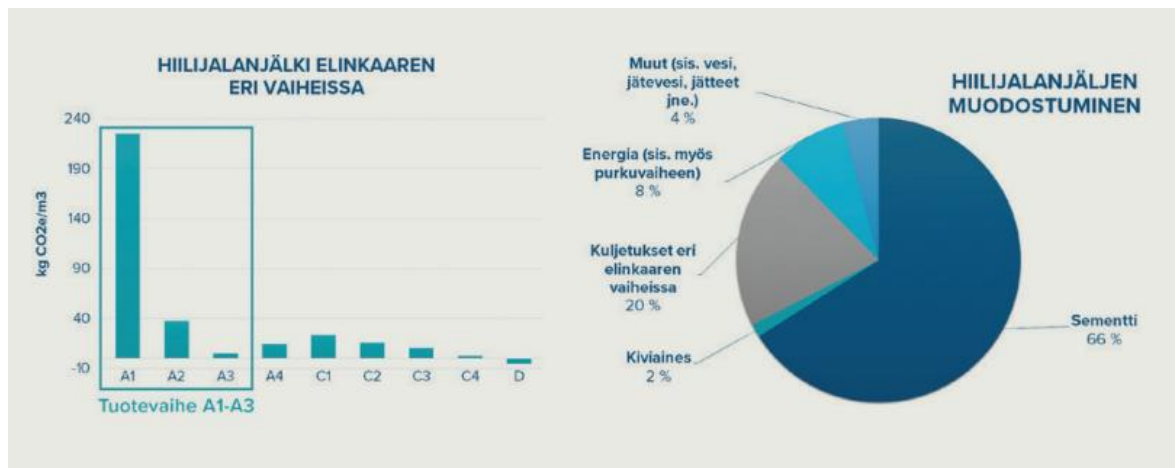


- |  |   |
|--|---|
| A Kiviaineksen toimitus (laiva, auto)                    | J Työmaalta palautuneen ylijäämäbetonin purku kierrätykseen |
| B Kiviaineksen vastaanotto tehtaalle                     | K Kierrätysvesi   |
| C Kiviaineksen varastointi tehtaalla (siilot, maataskut) | L Kierrätysrunkoaine  |
| D Hihnakuuljetin   | M Kierrätysveden pumppu                                     |
| E Sementtisiilot   | N Veden varastointi   |
| F Osa-aineiden punnitus                                  | O Betonin kuormausta betoninkuljetusautoon                  |
| G Sementin toimitus tehtaalle                            | P Prosessin ohjaus  |
| H Sekoitin   |   |
| I Lisäaineet   |   |

**Kuva 5.** Betonin valmistuskaavio, materiaalivirrat ja tuotannossa syntyvien materiaalien kierrätys (Betonin valmistus).

### 3. BETONIN UUSIOKÄYTTÖ

Betonin valmistamiseen kuluu suuri määrä energiaa ja siinä syntyy merkittävästi hiilidioksidipäästöjä, vaikka valmistusprosessi on pyritty optimoimaan mahdollisimman tehokkaaksi. Betonin valmistuksessa syntyy päästöjä useista eri lähteistä, joista merkittävin on sementti. Lisäksi betonin raaka-aineiden ja siitä valmistettujen tuotteiden kuljetuksessa syntyvien päästöjen osuus on merkittävä. Alla olevassa kuvassa on nähtävillä, miten rakennebetonin C30/37 päästöt jakautuvat tuotevaiheissa A1-A3. Tuotevaihe A1 sisältää raaka-aineiden hankinnassa ja käsittelyssä syntyvät päästöt, tuotevaihe A2 sisältää raaka-aineiden kuljetuksesta syntyvät päästöt ja A3 sisältää betonin tuotannossa syntyvät päästöt. (Salminen 2021) Päästöjen jakautumisessa on eroja eri betonimassojen ja -tuotteiden välillä. Päästöjen elinkaariarviointi perustuu Betoniteollisuus ry:n jäsenyrityksiltään keräämään lähdeaineistoon, joka on vuodelta 2020. (Salminen 2021)



**Kuva 6.** Normaalin rakennebetoni C30/37 hiilijalanjäljen muodostuminen sen elinkaaren eri vaiheissa (Salminen 2021).

Betoniteollisuus ry:n mukaan maailmalla valmistetaan joka vuosi noin 13 miljardia kuutiometriä betonia. Samalla tiedon määrä betonin ympäristövaikutuksista ja kiinnostus korvaavia materiaaleja kohtaan on lisääntynyt. Myös betonin valmistuksessa tärkeiden maa-ainesten saatavuus on paikoittain ehtynyt tai niihin ei päästä enää käsiksi. Kaikki nämä tekijät vaikuttavat lopulta siihen, että betonin uusiokäyttö on entistä tärkeämpää ja sitä pyritään lisäämään jatkuvasti.

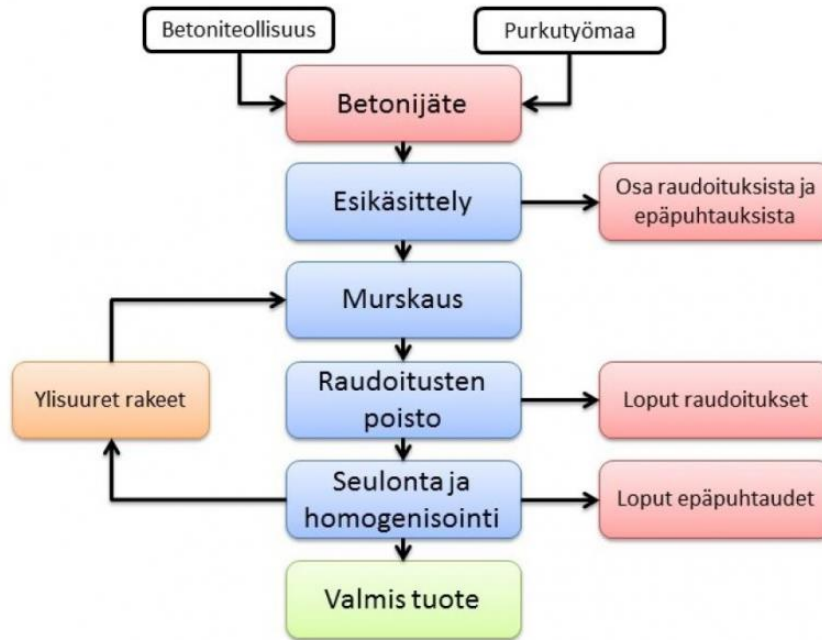
### 3.1 Betonimurskeen kierrätys ja uusiokäyttö

Betonijätettä syntyy vuosittain noin 2,5 miljoonaa tonnia Suomessa (Kiertotalous). Betonia käytetään niin paljon, että luonnollisesti siitä syntyy myös valtava määrä jätettä. Nykyään betonin kierrätysaste ylittää 80 % ja se kasvaa jatkuvasti. Kierrätysasteen kasvuun on vaikuttanut kierrätettävän aineksen hyvä laatu, sen halpa hinta ja lyhyet kuljetusetäisyydet. (Kiertotalous)

Suurin osa betonijätteestä syntyy rakennusten purkamisen kautta. Jonkin verran jätettä tulee myös uusien betonointien kautta ylijäämäbetonin muodossa. Se voidaan kierrättää saman tien tehokkaasti. Tämä tukee kiertotalouden periaatteita, koska jätettä voidaan muuttaa suoraan materiaalivirraksi. Tämä edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. (Kiertotalous) Lisäksi betoni sitoo hiilidioksidia itseensä kun se karbonatisoituu (Hyödyt ja kehityskohteet). Uudelleenkäytetty betoni voi siis toimia myös hiilinieluna, mikä tekee betonin uudelleenkäytöstä vielä edullisempää ympäristön kannalta. Tulevaisuudessa kannattaa pyrkiä hyödyntämään betonin hiilinielumuinaisuutta mahdollisimman tehokkaasti.

Betonin kierrätys voidaan tehdä monilla eri tavoilla. Niistä yleisin on kuitenkin kierrättäminen murskeena. Kun betoni saavuttaa elinkaarensa pään, se usein murskataan koneellisesti. (Kiertotalous) Murskattu massa voidaan hyödyntää esimerkiksi maanrakentamisessa tai infrahankkeissa, jossa se korvaa neitseellistä raaka-ainesta. (Kiertotalous ja betonin kierrätys)

Betonimurskeen valmistus tapahtuu siten, että purkutyömailta kerätään betonijäte ja se lajitellaan erilleen muusta jätteestä. Sitten se kuljetetaan työmaalta kierrätysasemalle esikäsittelyyn, jonka jälkeen se murskataan koneellisesti. Murskatusta massasta poistetaan raudoitus ja se sulatetaan metalliromuna uudelleen käytettäväksi materiaaliksi. Tämän jälkeen se seulotaan, että saadaan jaoteltua betonimurske raekoon mukaisesti, jolloin sen uudelleenkäyttö helpottuu. Murskeesta poistetaan prosessin aikana mahdollisimman tarkasti kaikki epäpuhtaudet, kuten puumateriaali tai eristeet. Valmis murske voi kuitenkin sisältää pieniä määriä epäpuhtauksia käyttökohteesta riippuen. Betonimurske valmistetaan tuotestandardien mukaisesti, jolloin se saa CE-merkinnän. Kierrätysasemalla varmistetaan betonimurskeen ympäristökelpoisuus ennen sen uudelleenkäyttöä. (Kiertotalous ja betonin kierrätys)



**Kuva 7.** Tyypillinen betonimurskeen tuotantoprosessi (Tuotanto ja luvat).

Betonimursketuotteet jaotellaan eri luokkiin. Jaottelu tapahtuu betonimurskeen raaka-aineiden ja materiaaliominaisuuksien perusteella. Perinteisesti betonimurskeelle on käytetty neljää eri laatuluokkaa. Nämä ovat BeM I, BeM II, BeM III ja BeM IV. Luokittelu on kuitenkin muuttunut valtioneuvoston EEJ-asetuksen astuessa voimaan. EEJ, eli ei enää jätettä, viittaa sellaisiin materiaaleihin, jotka ovat esimerkiksi kierrätyksen kautta lakanneet olemasta jätettä ja ovat jälleen käytettökelpoisia. Myöskään jätelain säännöksiä ei enää sovelleta jätteeksi luokittelun päättymisen jälkeen. (Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa) Nykyään betonimurskeen laatuluokitus kertoo suoraan tuotteen jätetatuksen. Luokat BeM I ja BeM II on jaettu kahteen osaan BeM Ia ja BeM Ib, sekä BeM Iia ja BeM Iib. A-luokat ovat murskeille, jotka eivät ole EEJ:n mukaan enään jätettä. BeM III ja BeM IV laatuluokkien osalta ei ole tapahtunut muutosta. (Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa)

Sekä BeM Ia, että BeM Ib -luokkien betonimursketta valmistetaan vain betonijätteestä, jota jää ylijäämänä käyttämättä betoniteollisuudessa. Kaikkien muiden luokkien betonimursketta voidaan valmistaa myös rakennustyömaiden purkujätteestä. BeM III ja BeM IV -luokkien betonimurske on uudelleenlujittumisensa osalta epävarmaa, joten sitä voidaan käyttää valikoidummin kuin luokkien BeM I ja BeM II betonimurskeita. (Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa)



**Taulukko 2.** Betonimurskeluokkien tekninen soveltuvuus väylärakentamisessa (Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa).

<b>Rakennekerros</b>	<b>BeM I(a/b)</b>	<b>BeM II(a/b)</b>	<b>BeM III</b>
Päällystekerros	-	-	-
Sitomaton kantava kerros	++/ +(1)	++ / +(1)	+(3)/-
Jakava kerros	++	++	+
Suodatinkerros (2)	++	++	++
Liikennekuormitettu maapenger	+	+	+
Ei liikennekuormitettu maapenger (3)	+	+	+
Ratojen huoltotiet	++	++	++

Yllä olevassa taulukossa ++ tarkoittaa sitä, että kyseisen laatuluokan betonimurske soveltuu rakennusosassa hyvin, + tarkoittaa sitä että soveltuu kohtalaisesti ja – tarkoittaa sitä, ettei sovellu lainkaan. Lisäksi taulukossa olevat numerot (1), (2) ja (3) määrittävät olosuhteita tarkemmin. (1) Tarkentaa, että ”+” astuu voimaan silloin, kun tiedetään että rakennetta kaivetaan auki huoltotöiden takia, (2) määrittää, että suodatinkerros voi koostua suodatinkerroksesta, suodatin kankaasta tai molemmista, kuten on mainittu InfraRYL 2017:ssä. Lisäksi Suodatinkerroksessa käytettävä betonimurske tulee valita raekoon mukaan siten, että hankekohtaiset- tai InfraRYL:n mukaiset vaatimukset täyttyvät. Betonimurskeen alla oleva suodatinkangas ei myöskään saa olla polyesteriä. (3) määrittää esimerkkikäyttökohteeksi kevyesti kuormitetut väylät ja huoltotiet. (Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa) BeM IV laatuluokan betonimursketta voidaan käyttää pelkästään sellaisissa kohteissa, joissa sen käytöstä on sovittu erikseen tilaajan kanssa (Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa).

Mursketta voidaan käyttää uuden betonin runkoaineena varsin hyvin. Jos uuden betonin kiviaineksesta korkeintaan 20 % on betonimursketta, betonin ominaisuudet ovat lähes samat luonnonkiviaineksesta tehtyyn betoniin verrattuna (Betonirakenteet kierrätetään). Tällä tavoin valmistettua betonia voidaan käyttää käytännössä samalla tavalla kuin neitseellisistä luonnonkiviaineksista valmistettua betonia. Esimerkiksi Rudus Oy on kehittänyt uuma-betonia, eli uusiomateriaali-betonia, jossa on mahdollista korvata jopa 30 % luonnonkiviaineksesta kierrätyskiviaineksella. Uuma-betonia voidaan käyttää kaikessa tavallisessa rakentamisessa. (Uuma-betoni)

### 3.2 Betonin uudelleenkäyttö muuten kuin murskeena

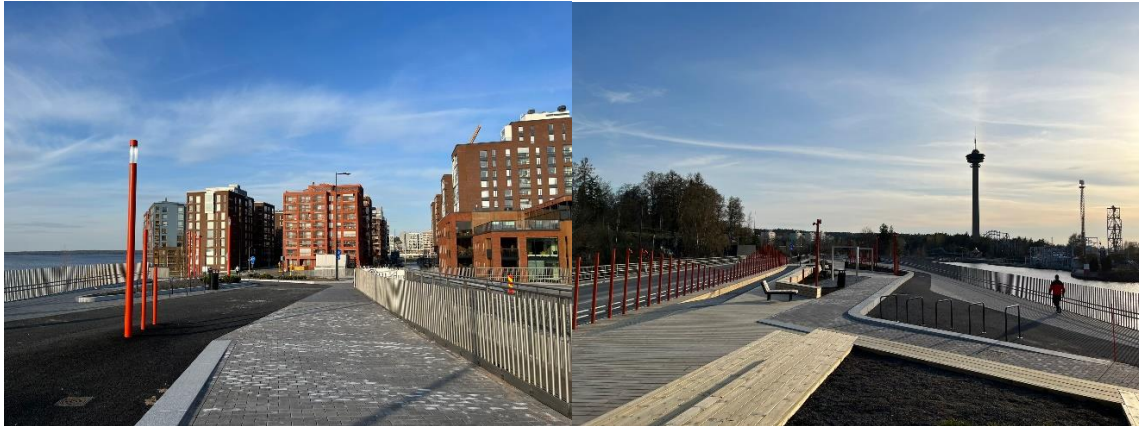
Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti on sitä parempi mitä vähemmän alkuperäistä betonirakennetta joudutaan jatkojalostamaan. Näin säästetään energiaa ja voidaan pitää hiilidioksidipäästöt mahdollisimman pieninä. Rakennuksille ja rakenteille on mahdollista kehittää uusia käyttökohteita sellaisenaan niiden elinkaaren päässä. Tällöin uudelleenkäytöstä syntyvät päästöt saadaan minimoitua, mutta rakennus tai rakenne voi tuottaa kuitenkin arvoa käyttäjilleen vielä pitkän aikaa.

Hyvä esimerkki sellaisenaan hyödynnetystä rakenteesta on Yhdysvaltojen New Yorkissa sijaitseva High Line Park. Kyseessä on aluksi ollut betonirakenteinen junarata, joka rakennettiin 1930-luvulla lihan ja siipikarjan kuljetusta varten. Junarata mahdollisti junien siirtymisen pois Manhattanin kaduilta, koska se kulkee noin 9 metrin korkeudessa katujen päällä. (History) Radan käyttö lakkasi kuitenkin kokonaan 1980-luvun alussa, mikä aloitti keskustelun radan hyödyntämisestä muilla tavoilla. 2000-luvun alussa päätettiin, että junarata säilytetään ja että siitä tehdään puistoaluetta. Projekti jaettiin kahteen osaan, joista ensimmäinen valmistui vuonna 2009 ja toinen vuonna 2012. Lopulta puistoa päätettiin jatkaa vielä pidemmälle vanhan raidepihan alueelle. Projektin kolmas osa valmistui vuonna 2014 vieden koko hankkeen päätökseen. Puisto on nykyään noin 2 300 metriä pitkä ja siellä kasvaa yli 500 eri kasvi- ja puulajia. Puisto on kaikille avoin ja erittäin suosittu. Esimerkiksi vuonna 2015 siellä kävi noin 7,6 miljoonaa vierailijaa. (Ganser 2017)



**Kuva 8.** High Line Park – puisto (Ng, A).

Toinen hyvä esimerkki vastaavanlaisesta rakenteen uudelleenhyödyntämiskohteesta löytyy hieman lähempää, eli Tampereelta. Vanha Näsinsilta uudistettiin Näsinsillaksi kun siinä aiemmin kulkenut Valtatie 12 siirtyi Rantatunneliin (Näsinsillat). Pohjoinen Näsinsilta muuttuu kävelypainotteiseksi virkistysalueeksi ja eteläinen silta jatkuu autoilun ja pyöräilyn reittinä. Näsinsillat avattiin jalankulkijoille huhtikuussa 2023 mutta puiston istutuksia ja viimeistelyjä jatketaan vielä toukokuun 2023 loppuun asti. (Tampereen kaupunki)



**Kuva 9.** Itse ottamissani kuvissa vasemmalla on näkymä Näsinsillalta Ranta-Tampellaan ja oikealla Särkänniemeen päin. Kuvat on otettu 9.5.2023.

Rakenteiden uudelleenkäyttö sellaisenaan on usein melko kallista ja haastavaa. Se vaatii paljon suunnittelu- ja rakennustyötä, mikä rajoittaa tällaisten hankkeiden tekemistä. Lisäksi on vaikea löytää sellaisia kohteita, joita olisi mahdollista käyttää sellaisenaan uudelleen. Hankkeita vaikeuttaa usein vanhalle rakenteelle suunnitellun käyttöikänsä loppuminen ja vanhojen rakenteiden heikoksi mennyt kunto. Usein on helpompaa purkaa vanha rakenne murskeeksi ja hyödyntää se siten, kuin että rakenne säilytettäisiin ja sille kehitettäisiin uusi käyttökohde.

Betonielementtien hyödyntäminen sellaisenaan tulee todennäköisesti lisääntymään tulevaisuudessa. Kuten jo aiemmin mainitsin, betonia on usein helpompi murskata ja hyödyntää murskeena. Suurin haaste betonielementtien hyödyntämisessä on se, että elementtiä on vaikea purkaa ehjänä vanhasta rakenteesta. Elementit juotetaan usein betonilla kiinni, jolloin niiden irrottaminen täysin ehjänä ei käytännössä onnistu. Jos elementit on asennettu paikalleen pultti- tai hitsausliitoksilla, niitä voidaan helpommin purkaa ehjänä ja sitä kautta hyödyntää sellaisenaan. (Betonirakenteet kierrätetään)

Vuonna 2021 toteutettiin pilottihanke, jonka tavoitteena oli testata kantavien rakenteiden purkamista ja uudelleenkäyttöä. Pilottihankkeen toteuttivat Peikko, Consolis Parma ja

Työtehoseura, eli TTS. Hankkeessa asennettiin betonielementeistä koostuva kantava runko, joka myöhemmin purettiin osiin ja lopulta asennettiin uudelleen pystyyn. Hankkeessa onnistuttiin keräämään uutta tietoa betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuuksista. (Betonielementtien uudelleenkäyttöpilotti)

Tampereen yliopisto koordinoi ReCreate – hanketta, jossa tutkitaan keinoja käytettyjen betonielementtien ehjänä irrottamiseksi ja uudelleenkäytettäväksi. Lisäksi he pohtivat miten prosessi voitaisiin muuttaa taloudellisesti kannattavaksi yritystoiminnaksi. Hankkeessa on mukana Tampereen yliopiston lisäksi useita eri rakennusalalla toimivia liikkeitä. Neljä vuotta kestäväälle hankkeelle on myönnetty Euroopan Unionin ”Horizon 2020” -ohjelman rahoitus. (ReCreate)

Betonia voidaan hyödyntää myös erikokoisina murrettuina tai leikattuina paloina, jonka jälkeen niitä voidaan käyttää esimerkiksi maisemoinnissa tai meluvälleissa.

## 4. CASE: KIERTOTALOUSTALO TAMPEREELLE

Tampereen kaupunginhallitus on määrittänyt kaupungin tavoitteeksi olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä (Hiilineutraali Tampere 2030). Kaupungeilla on suuri vastuu kasvihuonepäästöjen hillitsemisessä, koska suuri osa päästöistä syntyy kaupungeissa ja rakennetussa ympäristössä. Tampereen kaupunki pyrkii vähentämään rakennetusta ympäristöstä syntyviä hiilidioksidipäästöjä esimerkiksi siten, että he järjestivät Suomen ensimmäisen ”vähähiilinen kiertotaloustalo” -konseptikilpailun. Kyseessä on pilottihanke, jossa pyritään minimoimaan sekä rakentamisessa, että rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät hiilipäästöt. Konseptikilpailu järjestettiin tontinluovutuksen yhteydessä.

Tonttihakemuksessa oli oltava liitteenä konseptisuunnitelma siitä, miten tontille tulevassa hankkeessa hyödynnetään kiertotalouden mukaisia rakennusosia ja -materiaaleja. Tonttihakemuksia tuli 18 kappaletta, joista yhdestä puuttui konseptikuvaus. (Asunto- ja kiinteistölautakunta 2022) Tampereen kaupungin asettama asiantuntijaraati arvioi konseptisuunnitelmat ja voittajaksi valikoitui Pohjola Rakennus Oy Suomi. Kiertotaloustalon konseptin toteuttamisessa Pohjola Rakennus Oy Suomella on kumppaneinaan AFRY, joka on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyhtiö ja Spolia Desing Oy, joka on purettujen materiaalien uudelleenkäyttöön erikoistunut asiantuntijaorganisaatio.

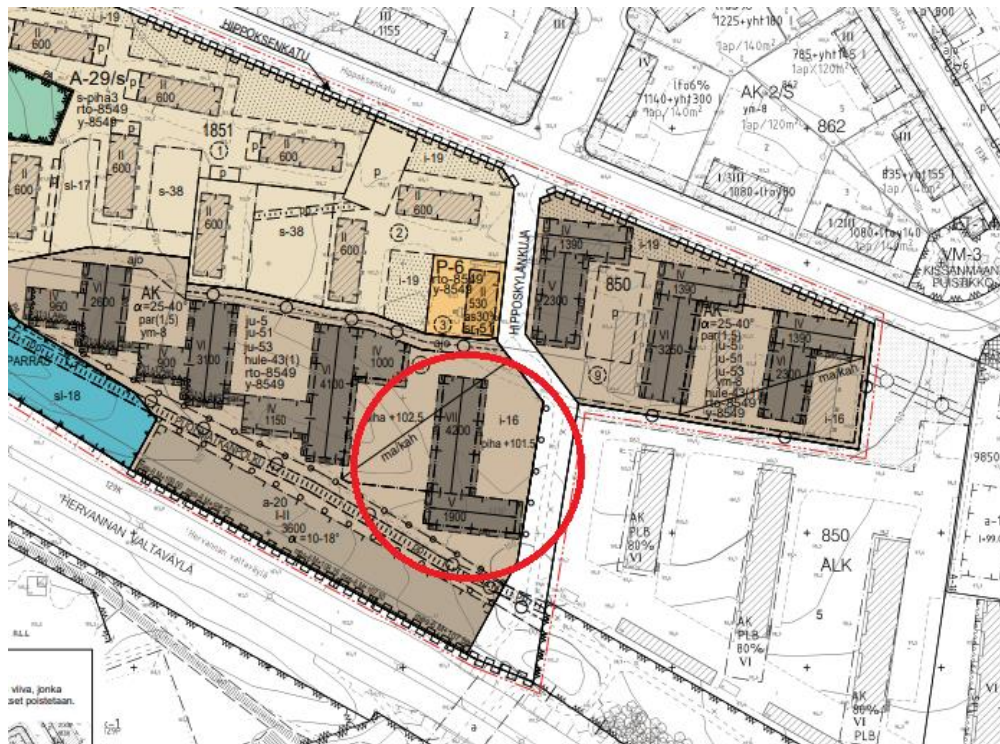
Yleisesti rakentamisen kiertotalouteen kiinnitetään jatkuvasti aiempaa enemmän huomiota, koska rakentamisesta aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat globaalisti hyvin merkittävät. Rakentamisen kiertotaloutta voidaan tarkastella hyvinkin laaja-alaisesti esimerkiksi rakenneratkaisuiden, materiaalihankintojen ja työmaa-aikaisen toiminnan kautta. Hankkeen aikana ja sen jälkeen voidaan vaikuttaa kiertotalouteen vielä monella tavalla, kuten erilaisilla energiaratkaisuilla, rakennuksen huollettavuudella ja rakennetun ympäristön biodiversiteetillä.

Tein tutkimukseni kiertotaloudesta osittain kirjallisuustutkimuksena ja osittain haastatteluna. Haastattelin Teams-sovelluksen välityksellä Pohjola Rakennus Oy Suomen Lauri Piirista, joka toimii kiertotaloudesta hankkeen projektipäällikkönä. Olen viitannut kirjallisuuslähteisiin normaalisti myös tästä eteenpäin, mutta seassa on haastattelusta saatua tietoa johon en ole erikseen viitannut.

## 4.1 Tietoa projektista

Tontti sijaitsee Tampereen Kissanmaalla ja se rajautuu pohjoisessa Hippoksenkatuun, idässä Hipposkylänkujaan ja etelässä Hervannan valtavyhlään. Tontti on aiemmin ollut rakentamatonta metsäaluetta. Tontilta on noin 600 metriä matkaa Hakametsän jäähallille ja noin 1,5 kilometriä Tampereen ammattikorkeakoulun kampukselle sekä Tampereen yliopistolliselle sairaalalle. Kulkuyhteydet ovat hyvät, sillä raitiotie menee kävelymatkan päässä ja Hervannan valtavyhly on aivan tontin vieressä. Tampereen keskustaan on alle neljä kilometriä matkaa.

Tontilla on rakennusoikeutta  $6\ 100\ k\text{-}m^2$  ja siihen rakennetaan kaksi taloyhtiötä. Talo A on 7-kerroksinen ja talo B on osittain 7-kerroksinen ja osittain 5-kerroksinen. Molemmat talot ovat asuinkerrostaloja. Talojen katolle asennetaan aurinkopaneelit. Lisäksi tontille tehdään polkupyöräkatos ja viherhuone. Taloihin tulee yhteensä 104 asuntoa, joiden koko vaihtelee  $25\ m^2$  ja  $91\ m^2$  välillä. Asunnoissa on yhdestä neljään huonetta, keittiö sekä mahdollisesti sauna. Taloilla on yhteiset piha-alueet ja pysäköintilaitos, joka rakennetaan erilliselle tontille.



**Kuva 10.** Hankkeen tontti ympyröity punaisella (Kissanmaan asemakaava 2020).

Molemmat taloyhtiöt toteutetaan RS-hankkeena mikä tarkoittaa sitä, että asuntoja myydään ennakkomarkkinoinnissa jo ennen rakentamisvaiheen alkua tai sen aikana. Hankkeen rakennuslupaa on tarkoitus hakea ennen vappua 2023, jonka jälkeen

aloitetaan asuntojen ennakkomarkkinointi. Hankkeen rakennusvaihe on tarkoitus aloittaa alkusyksystä 2023, kunhan asuntomyynti saavuttaa vaadittavan varausasteen ja rakennuslupa tulee lainvoimaiseksi.

## 4.2 Betonin käyttö hankkeessa

Hankkeessa tullaan käyttämään uudelleenkäytettyjä betonielementtejä vähintään viisi kappaletta. Kyseessä on pilottihanke, joten tarkoituksena ei ole pelkästään tehdä uutta asuinkerrostaloa, vaan myös saada oppia tulevia hankkeita varten. Vaikka uudelleenkäytettävien betonielementtien määrä onkin kohtuullisen pieni, niistä tullaan saamaan tärkeää tietoa tulevaisuutta varten. Keskeisin ero kiertotaloustalon suunnittelussa ja toteutuksessa verrattuna perinteiseen uudiskohteeseen on CE-merkintöjen puuttuminen. Tämä johtaa siihen, että rakennuspaikkakohtainen tuotteiden hyväksyntä vaatii enemmän työtä kuin normaalissa uudiskohteessa. Vanhoissa tuotteissa ei ole välttämättä CE-merkintöjä ollenkaan.

Elementtien uudelleenkäyttöprosessi tulee vielä tarkentumaan hankkeen edetessä. Tällä hetkellä suunnitelman on toimia siten, että ensin tutkitaan rakennettavan talon suunnitelmista sellaiset paikat, joihin uudelleenkäytettävä elementti sopii hyvin. Tässä on oleellista saada selvitettyä tarvittavien elementtien dimensiot. Sen jälkeen selvitetään purku-urakoitsijoilta ja erilaisten verkostojen kautta, että mistä voisi löytyä uudelleen käytettäviä elementtejä. Kun ollaan löydetty sopiva elementti, se tutkitaan alkuperäisten elementtisuunnitelmien avulla tarkasti läpi. Oleellisia kysymyksiä elementtien tutkimisessa ovat esimerkiksi:

- Millainen rakenne on kyseessä?
- Miten elementti on raudoitettu?
- Miten elementti on asennettu paikalleen?
- Millaiset liitosdetaljit ovat?
- Onko elementti vaurioitunut purettaessa tai siirrettäessä?

Seuraavaksi täytyy tehdä tarkka purkusuunnitelma, jonka avulla elementti saadaan mahdollisimman ehjänä ja turvallisesti irti vanhasta kohteesta. Kun elementti on saatu irti, sille täytyy tehdä vaadittavat testit ja kokeet, että voidaan varmistua tuotteen olevan tarpeeksi hyvässä kunnossa uudelleenkäytettäväksi. Testit tulevat tarkentumaan vielä tulevaisuudessa. Seuraavaksi uudelleen käytettäville elementeille täytyy tehdä korjaus- ja asennussuunnitelma. Sen avulla voidaan varmistua siitä, että se on kunnossa ja että se pystytään asentamaan turvallisesti paikalleen uuteen kohteeseen. Vastaava

rakennesuunnittelija antaa lausunnon siitä, että elementti on kunnossa käytettäväksi. Myös elementin välivarastoinnista täytyy huolehtia. Tämän jälkeen rakennusvalvonnalle toimitetaan tarvittavat dokumentit ja vastaavan rakennesuunnittelijan lausunto.

Prosessi rakennusosien uudelleenkäyttöön pyritään suunnittelemaan ja kehittämään jo etukäteen mahdollisimman tarkasti, että siitä ei aiheutuisi rakennusvaiheessa haasteita. Tätä on pyritty tekemään yhteistyössä rakennusvalvonnan kanssa ennakkoneuvotteluiden avulla. Palaverissa ollaan käyty läpi mitä dokumentteja ja testausaineistoja tullaan esittämään ja vaatimaan mihinkin rakenneosaan liittyen.

Tässä hankkeessa käytetään ns. vihreää betonia uusia betonointeja tehtäessä. Vihreän betonin hiilijalanjälki on noin 15 % - 60 % tavallisesti käytettyä betonia pienempi. Hiilidioksidipäästöjen määrä riippuu käytyn vihreän betonin laadusta. Pienempi hiilijalanjälki johtuu siitä, että vihreässä betonissa korvataan sementtiä muun teollisuuden sivuvirroista saatavilla sideaineilla. Lujuudeltaan vihreä betoni vastaa normaalia betonia, mutta se kovettuu hitaammin ja saavuttaa lopullisen lujuutensa myöhemmin normaaliin betoniin verrattuna. (Vihreä betoni) Vihreän betonin kustannukset ovat toistaiseksi hieman korkeammat kuin normaalilla betonilla. Lisäksi normaalia hitaampi kovettumisaika täytyy huomioida aikataulujen ja työn suunnittelussa.

### **4.3 Hankkeen kiertotalous**

Tässä hankkeessa kiertotalous huomioidaan koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Eniten on painotettu rakenne- ja materiaaliratkaisuja. Myös elementtien liitosdetaljit pyritään suunnittelemaan siten, että rakennuksen elinkaaren päättymisen jälkeen elementtejä voitaisiin hyödyntää mahdollisuuksien mukaan järkevästi. Kiertotalous on kuitenkin oleellisena asiana mukana koko hankkeen elinkaarta suunniteltaessa. (Kiertotalouden konsepti)

Tässä hankkeessa on tavoitteena hyödyntää laaja-alaisesti kiertotalouden mukaisia uudelleenkäytettäviä- ja erittäin korkean kierrätysasteen rakennustuotteita. Lisäksi pyritään käyttämään mahdollisimman paljon uusiutuvia materiaaleja. Hankkeessa tulee olemaan paljon uusia ratkaisuja, mutta perinteisiäkin ratkaisuja käytetään. Osa käytettävistä rakenteista ja materiaaleista vaativat vielä kehitystyötä, mutta ne ovat kuitenkin täysin realistisesti toteutettavissa. Hankkeessa käytetyistä ratkaisuista pyritään saamaan mahdollisimman paljon oppia sekä kansallisesti, että kansainvälisesti. Tämä toteutetaan siten, että hankkeen tukena toteutetaan useita tutkimus- ja kehityshankkeita yhdessä kumppaniverkoston kanssa. Näistä pyritään jakamaan kokemuksia ja tuloksia kaikkien toimijoiden hyödynnettäväksi. (Kiertotalouden konsepti)



Tässä kiertotaloustalohankkeessa valitut uusiokäyttöratkaisut on tarkoitus toteuttaa enimmäkseen hyödyntämällä Pohjola Rakennus Oy Suomen omia purkutyömaita. Materiaalien hankinta pyritään suorittamaan mahdollisimman läheltä Tamperetta, mutta voidaan hyödyntää myös pääkaupunkiseudulla sijaitsevia purkutyömaita. Tällä pyritään minimoimaan materiaalien kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Hankkeessa pyritään hyödyntämään merkittävästi esimerkiksi Santalahden Tikkutehtaan ja Kaukajärven seurakuntatalon purkutyömailta saatavia tiiliä ja muita materiaaleja. Suunnitelmat menivät seurakuntatalon osalta uusiksi, koska rakennus paloi ennen purkutöiden aloitusta. Uudelleenkäytettäviä materiaaleja ei valitettavasti jäänyt jäljelle.

Rakennuksen runko tehdään vähähiilisestä ja uudelleenkäytetystä betonista. Kuten jo aiemmin käsittelin, hankkeessa tullaan uudelleenkäyttämään vähintään viisi betonielementtiä. Uudet betonielementit tullaan valmistamaan vihreästä betonista. Myös kaikki muu uusi betonointi tässä hankkeessa tullaan tekemään vähähiilisemmällä betonilla. Hankkeessa selvitetään, saadaanko maatäydyksissä käyttää betonimursketta. Myös betonin runkoaineena käytetään mahdollisesti murskattua betonia tai muuten uudelleen käytettävää materiaalia. Pihaan tulevat betonikivetykset on tarkoitus tehdä uudelleenkäytetyistä materiaaleista.

Rakennuksen julkisivut tulee olemaan osittain tiilestä, osittain puuverhoiltuna ja osittain rapattuna. Puuverhoilu ja muurattu osa pyritään tekemään uudelleenkäytettävistä materiaaleista mahdollisuuksien mukaan. Käyttöaste tulee tarkentumaan hankkeen edetessä. Esimerkiksi puuverhoilun osalta kiertotalouden mukainen ideaalutilanne olisi se, että voitaisiin ottaa purkukohteesta julkisivuna ollut puuverhous ja asennettaisiin se sellaisenaan paikalleen uuteen kohteeseen. Käytännössä se ei kuitenkaan ole mahdollista uudisrakennusta tehtäessä, koska lopputuloksesta täytyy saada siistin näköinen ja sille pitää pystyä lupaamaan suunnitelmien mukainen käyttöikä ja muut tekniset vaatimukset. Lisäksi aina puumateriaaleja käytettäessä täytyy varmistua rakenteiden palosuojauksesta.

Hankkeessa käytettävät eristeet tulevat olemaan korkean kierrätysasteen tuotteita, jolloin ne ovat kiertotalouden periaatteiden mukaisia. (Kiertotalouden konsepti) Ikkunoissa on tarkoitus hyödyntää uudelleen käytettyjä ikkunoita, mutta hankintakohde täytyy vielä selvittää. Aiemmin oli suunniteltu, että pystyttäisiin hyödyntämään Kaukajärven seurakuntatalon ikkunoita, mutta rakennuksen palon takia ne joudutaan hankkimaan muualta.

Rakennuksen parvekkeet tehdään kiertotalouden periaatteiden mukaisesti puusta, koska se on uusiutuva materiaali. Myös piharakennukset, eli pyöräkatos ja viherhuone

tehdään pääosin uudelleenkäytettävästä puusta. Niiden rungot ja muut rakenteet tulevat olemaan uudelleenkäytettyä puuta. Tässä oli tarkoitus hyödyntää Kaukajärven seurakuntatalosta saatavia liimapuupalkkeja ja -pilareita. Tulipalon takia täytyy etsiä uusi hankintakohde runkorakenteille. Polkupyöräkatoksen seinät tehdään tiilestä uudelleenkäytettynä pitsimuuraamalla. Viherhuoneen ikkunat tulevat olemaan uudelleenkäytettyjä. Piharakenteissa ja -kalusteissa tullaan uudelleenkäyttämään esimerkiksi Kaukajärven seurakuntatalon pihalaattoja. Muuten hyödynnetään mahdollisimman paljon korkean kierrätysasteen tuotteita. Autohalliin menevän ajoluiskan seinät tehdään muurattuna. Siihen käytetään uudelleenkäytettyjä tiiliä. Pyöräkatokseen, viherhuoneeseen ja ajohallin ajoluiskaan tehdään viherkatto. (Kiertotalouden konsepti)

Pohjola Rakennus Oy Suomen kiertotalouden konseptissa luvataan, että harjakattoisen vesikaton rakenteissa hyödynnetään uudelleenkäytettyä puuta vähintään 10 %. Tässä oli tarkoitus hyödyntää osittain Kaukajärven seurakuntatalon liimapuupalkkeja ja -pilareita. Tämä vaatii tulipalon takia uudelleen suunnittelua, mutta uudelleenkäytettyä puuta tullaan kuitenkin hyödyntämään. Vesikate tehdään punaisesta pellistä, joka on pääosin kierrätysmateriaalia. Lisäksi yläpohjan lämmöneristys tulee olemaan puhallettua tekovillaa joka on valmistettu lähes täysin kierrätetystä materiaalista.

Rakennukseen tulee monitoimitila asukkaiden yhteiseen käyttöön. Pohjola Rakennus Oy Suomen kiertotalouden konseptin mukaan monitoimitilaan tulee savilattiat ja savirapatut seinät. Niissä pyritään hyödyntämään erittäin korkean kierrätysasteen materiaaleja. Tarkoituksena on myös selvittää, että voidaanko tähän hyödyntää rakennuspaikan kaivuumassoja. Märkätilakalusteissa käytetään tuotteita, joiden valmistuksessa käytettävästä muovista noin 30 % on kierrätysmuovia ja jotka ovat elinkaarensa lopussa täysin uudelleen kierrätettäviä. Rakennuksen taloteknisissä ratkaisuissa pyritään hyödyntämään uudelleenkäytettyjä komponentteja erityisesti ilmanvaihdon osalta. (Kiertotalouden konsepti)

Rakennuksen kevyet seinät tehdään kipsilevystä, joka sisältää kierrätysmateriaalia. Sisäänkäyntikatokseen ja portaikkoon tulevissa teräsosissa kuten ovissa ja kaiteissa hyödynnetään täysin uudelleenkäytettyjä tuotteita tai korkean kierrätysasteen tuotteita. Rakennuksessa hyödynnetään aurinkoenergiaa, jota tuotetaan katolle asennettavien aurinkopaneelien avulla. Katon muoto ja suuntaus on suunniteltu siten, että se tukee aurinkopaneelien tehokkuutta mahdollisimman hyvin. Talotekniikka optimoidaan mahdollisimman tarkasti, mikä säästää energiaa koko rakennuksen käyttöiän ajan. Rakennus tehdään A-energialuokkaan. (Kiertotalouden konsepti)



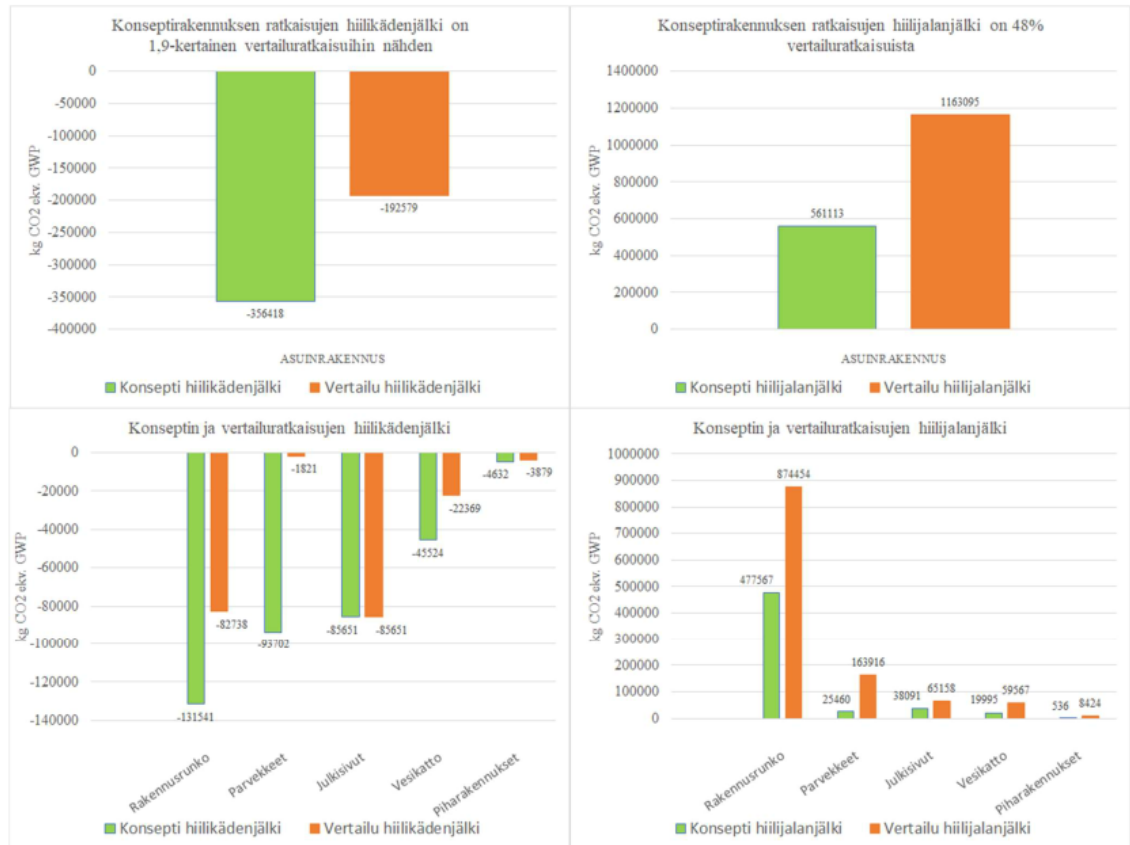
**Kuva 11.** Uudelleenkäytettävien rakennusosien hyödyntämisprosessi (Kiertotalouden konsepti).

#### 4.4 Hankkeen päästöt

Hankkeen konseptisuunnitelmassa on asetettu tietyt tavoitteet hankkeessa syntyville hiilidioksidipäästöille. Hanke pyritään tekemään mahdollisimman ympäristöystävällisesti ja syntyviä päästöjä seurataan tarkasti hankkeen aikana, mikä helpottaa tavoitteessa pysymistä. Suunnitelmien tarkentuessa suoritetaan lisää laskelmia, että saadaan mahdollisimman tarkkaa tietoa hankkeen päästöistä kokonaisuutena. Hankkeen valmistuessa suoritetaan vielä loppulaskenta, jossa selvitetään toteutuneiden päästöjen määrä.

Konseptisuunnitelman mukaan hankkeessa käytettävien ratkaisujen päästövähennykset on laskettu vertaamalla ratkaisuja tyypillisesti käytettyihin rakenneratkaisuihin. Näin pystytään vertailemaan tuloksia mahdollisimman tarkasti. Laskelmissa on tarkasteltu vain suunnitelmassa esitetyt ratkaisut, mutta ei rakennusta kokonaisuutena. Rakennustuotteiden päästöt on huomioitu moduulien A1-A3 osalta. Tämä sisältää raaka-aineiden hankinnassa ja käsittelyssä syntyvät päästöt, niiden kuljetuksesta syntyvät päästöt ja tuotteen valmistuksessa syntyvät päästöt.

Laskelmien mukaan arvioidaan, että konseptisuunnitelmassa esitettyjen ratkaisujen ja rakennustuotevalintojen avulla saavutetaan noin  $610 \text{ tkgCO}_2\text{eGWP}$  säästö tyypillisesti käytettyihin kohteisiin verrattuna hiilijalanjäljen osalta. Hiilikädenjälki puolestaan on noin  $165 \text{ tkgCO}_2\text{eGWP}$  suurempi kuin vertailukohteissa.  $\text{tkgCO}_2$  tarkoittaa tuhatta kilogrammaa hiilidioksidia ja  $\text{eGWP}$  on indeksi, joka kertoo lämmityspotentiaalilin globaalilla skaalalla (Darment Oy). Alla olevasta kuvasta nähdään, että suurimmat edut sekä hiilijalanjäljen, että hiilikädenjäljen osalta saavutetaan rakennuksen rungon, parvekkeiden ja vesikaton ratkaisulla.



**Kuva 12.** Konseptisuunnitelman mukaiset rakennustuotteiden päästövaikutukset hankkeessa (Kiertotalouden konsepti).

## 4.5 Pohdintaa mahdollisuuksista

Kiertotaloustalojen rakentaminen tulee menemään eteenpäin tulevaisuudessa ja niitä tullaan tekemään aiempaa enemmän. Tietoisuus ja kiinnostus aiheeseen liittyen lisääntyy ja ratkaisut materiaalien ja rakennusosien uudelleenkäyttämiseksi kehittyvät. Tämä madaltaa kynnystä kiertotaloustalojen tekemiseksi. Oleellista kiertotaloustalojen määrän kasvuun tulevaisuudessa on se, että rakennusosien uudelleenkäyttö huomioidaan jo uutta rakennuskantaa tehtäessä. Jos uudisrakennusten suunnittelussa huomioidaan rakennusosien käyttö rakennuksen elinkaaren päässä, pystytään niitä varmasti hyödyntämään helpommin ja isommalla volyymillä.

Tuotevalmistajilla on iso rooli tällaisten hankkeiden yleistymisessä. He voivat vaikuttaa siten, että he tekevät tuotteensa jo alusta asti niiden uudelleenkäyttö huomioiden mahdollisimman tehokkaasti. Tällöin saadaan markkinoille ja rakennuskantaan enemmän vaihtoehtoisia tuotteita uudelleenkäytettäväksi. Tilaajien kiinnostus vaikuttaa merkittävästi sekä tuotteiden kehitykseen, että urakoitsijoiden kiinnostukseen tällaisia

hankkeita kohtaan. Lähtökohtaisesti rakennusala pyrkii vastaamaan asiakkaan kysyntään mahdollisimman hyvin, minkä seurauksena kiertotaloustalot voisivat yleistyä. Jos asiakkaat haluavat kiinnittää tulevaisuudessa vieläkin enemmän huomiota kiertotalouteen ja ympäristöasioihin, niin silloin tullaan tekemään paljon innovaatioita ja investointeja kiertotaloustaloihin liittyen.

Tätä hanketta vastaavat kiertotaloushankkeet eivät lähde itsestään lisääntymään laajalla rintamalla, vaan ne tarvitsevat paljon lisää pilottihankkeita ja testikohteita. On tärkeää saada hyviä kokemuksia, onnistumisia, tutkimusta, kehitystä ja lisää osaamista että kiertotaloushankkeet yleistyvät. Näitä asioita voidaan saada useista lähteistä, kuten viranomaisten taholta erilaisten säädösten kautta, tällaisista pilottihankkeista saatavan käytännön kokemuksen kautta ja tuotetoimittajien uusien innovaatioiden avulla. Lisäksi tilaajien panostus asiaan lisää markkinaehtoista kehitystä kiertotalouden suuntaan.

Hankkeiden on oltava myös taloudellisesti kannattavia, että ne lisääntyvät. Toistaiseksi vaikuttaisi siltä, että kiertotaloustalon rakentaminen on hieman kalliimpaa normaaliin rakennukseen verrattuna. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että käytännöt eivät ole vakiintuneet ja prosessit ovat vielä hieman kankeita. Käytäntöjen ja prosessien kehittämiseen joudutaan käyttämään enemmän resursseja kuin perinteisessä talossa, mikä osaltaan lisää hankkeen kustannuksia. Uudelleen käytettävien rakenneosien kokonaiskustannukset saattavat olla toistaiseksi kalliimpia, kuin täysin uusien. Tässä kohteessa esimerkiksi uudelleen käytettävät tiilet voivat lopulta olla hieman kalliimpia kuin täysin uudet tiilet olisivat, koska vanhat tiilet joudutaan purkamaan ehjinä, puhdistamaan, välivarastoimaan ja lopulta asentamaan uuteen kohteeseen. Vanhojen tiilien kustannuksiin vaikuttaa suurelta osin purkamisen kustannukset. Mikäli ne pystytään irrottamaan koneellisesti ehjänä, säästeään huomattavasti aikaa ja rahaa. Tämä tarkentuu vielä hankkeen edetessä.

Maailmassa on rajallinen määrä raaka-aineita ja materiaaleja, joten näkisin tällaisten hankkeiden olevan tulevaisuudessa hyvinkin yleisiä. Hiilidioksidipäästöt voivat olla kiertotaloushankkeissa merkittävästi pienemmät kuin perinteisissä kohteissa. Maailmalla ja Suomessa ilmastopolitiikka tulee ottamaan entistä enemmän kantaa rakennetusta ympäristöstä syntyviin päästöihin. Näkisin kiertotaloustalojen konseptin olevan merkittävä tekijä päästöjen vähentämisessä ja ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Omasta näkökulmastani on mielenkiintoista seurata kiertotaloustalojen kehitystä ja yleistymistä esimerkiksi oman työurani aikana. Ne tulevat kehittymään valtavasti.

## 5. YHTEENVETO

Betonin kiertotaloudella on valtava potentiaali ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Päästöjä voidaan pienentää todella paljon käyttämällä betonia aiempaa tehokkaammin sen ensimmäisen käyttökohteen elinkaaren loputtua. Tutkimukseen ja erilaisiin pilottihankkeisiin tullaan varmasti laittamaan tulevaisuudessa paljon resursseja, mikä osaltaan auttaa ratkaisujen kehittämisessä.

Toistaiseksi betonin uudelleenkäyttöön liittyvät innovaatiot ovat olleet suhteellisen mielikuvituksettomia. Suurin osa betonin kierrätyksestä tapahtuu murskaamalla massa betonimurskeeksi, minkä jälkeen se käytetään maanrakennus- ja infrahankkeissa. Rakennusliikkeet pyrkivät tietysti tuottamaan voittoa omistajilleen, mikä selittää vähäiset innovaatiot muihin betonin uudelleenkäyttämahdollisuuksiin liittyen.

Erilaiset ilmastopoliittiset tavoitteet ja tilaajien kiinnostus kestävästä rakentamisesta kohtaan ovat kuitenkin vieneet alaa eteenpäin viime vuosina, eikä vauhti ole ainakaan hidastumassa. Tämän työn puitteissa perehdyttiin perinteiseen betonimurskeen hyödyntämiseen, sekä perinteisesti vähemmän käytettyihin keinoihin betonielementtien ja -rakenteiden uudelleenkäyttämiseksi. Lisäksi työssä tehtiin tutkimus Tampereelle rakennettavasta kiertotaloustalosta.

Betonin hyödyntäminen murskeena on fiksua, koska prosessit sen valmistamiseksi ja käyttämiseksi on tehostettu vuosien saatossa todella hyvin. Tulevaisuudessa voisi olla järkevää kiinnittää enemmän huomiota siihen, että betonimursketta voitaisiin hyödyntää hiilinieluna karbonatisoitumisen ansiosta. Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti olisi kuitenkin järkevämpää uudelleenkäyttää rakenteet mahdollisimman vähäisellä jatkojalostuksella.

Betonielementtien ja kokonaisten rakenteiden laajempi hyödyntäminen vaatii vielä tutkimuksia ja kokemusta erilaisista pilottihankkeista. Tuotevalmistajat voivat nopeuttaa muutosta suunnittelemalla tuotteensa alusta alkaen siten, että niiden hyödyntäminen rakenteen elinkaaren loppuvaiheessa olisi helpommin mahdollista. Lisäksi erilaisten säädösten avulla voidaan vaikuttaa hankkeiden ja niissä käytettyjen materiaalien ja rakenteiden päästöihin kokonaisuutena.

On mielenkiintoista seurata, miten betonin kiertotalous ja kiertotaloustalot tulevat kehittymään ja yleistymään tulevaisuudessa. Rakentamisessa syntyvien päästöjen vähentäminen on valtavan monen eri tekijän kokonaisuus, jota tässäkin työssä käsitellyt asiat voivat osaltaan ratkaista.

# LÄHTEET

Asunto- ja kiinteistölahtakunta. Kokouspöytäkirja 12.10.2022. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.5.2023) [https://tampere.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Asunto\\_ ja\\_ kiinteistoumllautakunta/Kokous\\_ 12102022/Asuntotontin\\_ 837\\_ 133185110\\_ Kissanmaa\\_ vara\(284858\)](https://tampere.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Asunto_ ja_ kiinteistoumllautakunta/Kokous_ 12102022/Asuntotontin_ 837_ 133185110_ Kissanmaa_ vara(284858))

Betoni rakennusmateriaalina. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2023) <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/>

Betonielementtien uudelleenkäyttöpilotti. RakentajaPro. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023) <https://rakentaja.pro/artikkelit/betonielementtien-uudelleen%C3%A4ytt%C3%B6pilotti-onnistui/>

Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa. Väylävirasto. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023) [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_ 2022-43\\_ Betonijate\\_ web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_ 2022-43_ Betonijate_ web.pdf)

Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa. Ohje. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023) <https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>

Betonin lujuus. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2023) <https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/betonin-lujuus/>

Betonin valmistus. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.4.2023) <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

Betonin valmistus. Suomen Betoniyhdistys ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.4.2023) <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/betonin-valmistus.html>

Betonin valmistus. Suomen Betoniyhdistys ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.4.2023) <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus.html>

Betonirakenteet kierrätetään. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023) <https://betoni.com/perustietopaketti/ekologisuus/purettavuus-ja-uusiokaytto/>

BY65 (2021). Betoninormit. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 157 s.

Darment Oy. Kylmäaineiden ympäristövaikutusten tunnusluvut. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.5.2023) <https://darment.fi/kylmaaineiden-ymparistovaikutusten-tunnusluvut-odp-gwp-tewi/>

EU:n ilmastopolitiikka. Ympäristöministeriö. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.5.2023) <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

Ganser, A. (2017). The High Line. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023) <https://www.thehighline.org/blog/2017/01/18/high-line-magazine-b1g-daa-and-parks/>

Heidelberg Materials. Cement. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.4.2023) <https://www.heidelbergmaterials.com/en/cement>

Hiilineutraali Tampere 2030. Kestävä kaupunki -ryhmä. (2020). Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.5.2023) [https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-05/hiilineutraali\\_tampere\\_2030\\_tiekartta.pdf](https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-05/hiilineutraali_tampere_2030_tiekartta.pdf)

History. The High Line. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023) <https://www.thehighline.org/history/>

Hyödyt ja kehityskohteet. Suomen betonitieto ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023) <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/ymparisto/kiertotalous-ja-betonin-kierratys/hyodyt-ja-kehityskohteet.html>

Kalliomurske. KallioBetoni Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.4.2023) <https://kalliobetoni.fi/kalliomurske/>

Kiertotalouden konsepti. Pohjola Rakennus 2022. Asunto- ja kiinteistölautakunta. Kokouspöytäkirja 12.10.2022. Pöytäkirjan liite. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.5.2023) [https://tampere.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Asunto\\_ ja\\_kiinteistoumllautakunta/Kokous\\_12102022/Asuntotontin\\_837\\_133185110\\_Kissanmaa\\_vara\(284858\)](https://tampere.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Asunto_ ja_kiinteistoumllautakunta/Kokous_12102022/Asuntotontin_837_133185110_Kissanmaa_vara(284858))

Kiertotalous. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023) <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>

Kiertotalous ja betonin kierrätys. Suomen betonitieto ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023) <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/ymparisto/kiertotalous-ja-betonin-kierratys.html>

Kissanmaan asemakaava. Kaupunginvaltuusto. Kokouspöytäkirja 17.8.2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.5.2023) [https://tampere.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Kaupunginvaltuusto/Kokous\\_1782020/Asemakaava\\_8549\\_Kissanmaa\\_Hipposkyla\(155495\)](https://tampere.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Kaupunginvaltuusto/Kokous_1782020/Asemakaava_8549_Kissanmaa_Hipposkyla(155495))

Kiviaines. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.4.2023) <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>

Kuitubetoni. Suomen Betoniyhdistys ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.4.2023) <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/kuitubetoni.html>

Kuitubetonit. Rudus Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.4.2023) <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/kuitubetonit>

Lisäaineet. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.4.2023) <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/lisaaineet/>

Ng, A. The High Line. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023) <https://www.thehighline.org/photos/by-photographer/anita-ng/>

Näsinsillat. Maanlumo Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023) <https://www.maanlumo.fi/projektit/nasinsillat>

Ominaisuudet ja käyttö. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2023) <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>



Pozzolaani. Suomen Betoniyhdistys ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.4.2023)  
<https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/pozzolaani.html>

Punkki, J., Ojala, T. (2018). Vesi-sementtisuhde 100 vuotta. Betoni-lehti. 1/2018.  
[https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/03/BET1801\\_78-83.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/03/BET1801_78-83.pdf)

ReCreate. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023)  
<https://recreate-project.eu/>

Salminen, E. (2021). Suomalaisen betonin hiilijalanjälki. Betoni-lehti. 1/2021.  
[https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101\\_86-91.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101_86-91.pdf)

Tampereen kaupunki. Uutinen. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.5.2023)  
<https://www.tampere.fi/ajankohtaista/2023/04/21/nasin-puistosilta-on-avautunut-jalankululle>

Tuotanto ja luvat. Suomen betonitieto ry. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023)  
<https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/ymparisto/kiertotalous-ja-betonin-kierratys/tuotanto-ja-luvat.html>

Uuma-betoni. Rudus Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.5.2023)  
<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/uuma-betoni>

Vihreä betoni. Rudus Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.5.2023)  
<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni>