



Betonielementtien uudelleen- käytön potentiaaliselvitys

Joel Aho

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

AHO, JOEL:

Betonielementtien uudelleenkäytön potentiaaliselvitys

Opinnäytetyö 64 sivua, joista liitteitä 14 sivua
Toukokuu 2023

Purkubetonista kierrätetään Suomessa tällä hetkellä noin 80 prosenttia pääosin murskeena. Kierrätysasteen kasvuun tarvitaankin yhä uusia kierrätystapoja, kuten purkuelementtien uudelleenkäyttöä suoraan uudisrakennuksen osina.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli selvittää Pohjola Rakennus Oy Suomen toimeksiantona betonielementtien uudelleenkäytön potentiaali. Konkreettisina osatavoitteina oli selvittää uudelleenkäytettävien betonielementtien työvaiheet, menetelmät ja kustannukset uudelleenasennusvalmiuteen asti, verrata uudelleenkäytettävien elementtien kokonaiskustannusta vastaavien uusien elementtien kustannuksiin sekä laatia työn tilaajalle arviointityökalu purkukohteen betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin määrittämiseen.

Opinnäytetyössä selvitettiin uudelleenkäytettävien betonielementtien työvaiheet, menetelmät ja kustannukset uudelleenasennusvalmiuteen asti sekä kirjallisuusselvityksenä että asiantuntijahaastatteluin. Lisäksi työssä toteutettiin kohdevierailu purkukohteeseen kokonaisuuden konkretian hahmottamiseksi.

Työn ensimmäisenä tuloksena muodostettiin betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi päävaiheineen, alivaiheineen sekä toimenpiteineen ja menetelmineen. Työn toisena tuloksena luotiin kustannusarviot tarkennetun prosessin päävaiheille, alivaiheille ja niiden toimenpiteille perustuen asiantuntijahaastatteluista ja Rakennustiedon RT-kustannuslaskenta palvelusta saatuihin kustannustietoihin. Työn kolmantena tuloksena laadittiin työn tilaajalle Excel-arviointityökalu purkukohteen betonielementtien uudelleenkäytön kustannusarvion ja potentiaalin määrittämiseen. Työ on toisen ja kolmannen tuloksen sisällön osalta luottamuksellinen.

Asiantuntijahaastattelujen perusteella betonielementtien uudelleenkäyttö asuinrakennuskohteissa ja näiden kohteiden toteuttaminen on vielä uutta rakentamisessa joitakin kehitysprojekteja lukuun ottamatta. Tästä johtuen vakiintuneet käytännöt ja jälkilaskentamateriaali taloudellisen potentiaalin arviointiin vielä puuttuvat. Erityisesti toimijoiden väliset sopimukset ja vastuiden jakautuminen toimijoiden kesken tarvitsevat vielä lisäselvitystä. Myös arvojen sekä asenteiden muutosta tarvitaan edelleen. Johtopäätöksenä on, että uudelleenkäyttöä aletaan suosia laajamittaisesti vasta, kun siitä tulee varmuudella taloudellisesti kannattavaa tai lainsäätäjän puolelta vaadittua liiketoimintaa. Tämä on työn julkinen versio, eikä sisällä luottamuksellisia liitteitä 3, 4 ja 6.

Asiasanat: kierrätys, uudelleenkäyttö, betonielementti, potentiaali

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Production

AHO, JOEL:
Analysis of the Potential of Reusing Concrete Units

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 14 pages
May 2023

The main objective of this thesis was to investigate the potential of reusing precast concrete units on behalf of Pohjola Rakennus Oy Suomi. The goals were to determine the working steps and costs of reusable precast concrete units up to the point of re-installation, to compare the total costs of reusable units with the costs of corresponding new units, and to develop an evaluation tool for the client to determine the reuse potential of precast concrete units.

The data for this study was collected by literature survey and expert interviews. The literature turned out to be limited in terms of methods and cost information related to the reuse of concrete units. This information was supplemented by expert interviews.

The first result of the thesis was a refined description of the process for reusing precast concrete units, its main stages, sub-stages, measures, and methods. The second result was the creation of cost estimates for the stages and their measures. The third deliverable result was an Excel tool to determine the cost estimation and potential for the reuse of precast concrete units.

As a result, it was found that re-using precast concrete units can only be widely promoted when it is economically viable or required by the legislator. This is the public version of the work and thus excludes the confidential appendices 3, 4 and 6.

Key words: recycling, reuse, concrete units, potential

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Tausta	7
1.2	Tavoite	7
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	8
1.4	Rajaukset	8
2	BETONIELEMENTTIEN UUDELLEENKÄYTÖN SELVITYSMENETELMÄT	9
2.1	Kirjallisuusselvitys menetelmänä.....	9
2.2	Haastattelut menetelmänä	10
3	BETONIELEMENTTIEN UUDELLEENKÄYTÖN SELVITYKSEN TOTEUTUS.....	11
3.1	Kirjallisuusselvityksen toteuttaminen.....	11
3.2	Koehaastattelujen toteuttaminen.....	11
3.3	Asiantuntijahaastattelujen toteuttaminen.....	12
3.4	Kohdevierailun toteuttaminen.....	13
4	BETONIELEMENTTIRAKENTEET	15
4.1	Betoni rakennusmateriaalina.....	15
4.1.1	Betonin tuotanto ja päästöt.....	15
4.1.2	Betonin kierrätys.....	16
4.2	Betonielementtirakentaminen.....	17
4.3	Asuinrakennusten betonielementtijärjestelmät.....	17
4.3.1	Betonisen asuinkerrostalon runkojärjestelmät	17
4.3.2	Betonisen asuinkerrostalon mittajärjestelmä	19
4.3.3	Betonielementtien liitokset.....	21
5	BETONIELEMENTTIEN UUDELLEENKÄYTTÖ KIRJALLISUUDEN VALOSSA	23
5.1	Rakennusosien uudelleenkäyttö	23
5.2	Rakennusosien uudelleenkäytön prosessi	24
5.3	Betonielementtien uudelleenkäytön prosessi	25
5.4	Betonielementtien uudelleenkäytön nykytilanne.....	28
6	BETONIELEMENTTIEN UUDELLEENKÄYTTÖ HAASTATTELUIJEN VALOSSA	29
6.1	Koehaastattelujen tulokset	29
6.2	Asiantuntijahaastattelujen tulokset.....	30
6.2.1	Betonielementtien uudelleenkäytön nykytila ja tulevaisuusnäkymät.....	30
6.2.2	Betonielementtien uudelleenkäytön vaiheet ja potentiaali ..	33

6.3 Asiantuntijahaastattelujen tulosten yhteenveto	35
7 BETONIELEMENTTIEN UUDELLEENKÄYTÖN TARKENNETTU PROSESSI JA POTENTIAALI	36
7.1 Betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi	36
7.2 Betonielementtien uudelleenkäytön potentiaali	42
8 TULOSTEN TARKASTELU	45
9 POHDINTA	46
9.1 Tulosityhteenveto.....	46
9.2 Päätelmät ja suositukset	47
9.3 Jatkotutkimusehdotukset.....	47
LÄHTEET	48
LIITTEET.....	51
Liite 1. Koehaastattelun kysymykset.....	51
Liite 2. Asiantuntijahaastattelun saatekirje kysymyksineen.....	54
Liite 3. Koehaastattelun purku (luottamuksellinen).....	61
Liite 4. Asiantuntijahaastattelun purku (luottamuksellinen)	62
Liite 5. Referenssikohteen SUNTIONPUISTO B pohjakuvat	63
Liite 6. Excel-arviointityökalun rakenne ja käyttö (luottamuksellinen)..	64

LYHENTEET JA TERMIT

Hyötykäyttöaste: Hyötykäyttöaste eroaa kierrätysasteesta (määritelty alempana) siten, että hyötykäytöksi lasketaan lajittelun lisäksi myös jätteen poltto. Kun jätettä ohjataan polttoon, siitä saadaan energiaa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennusten lämmittämiseen. (Lassila & Tikanoja 2020)

Kierrätys: Jäte valmistetaan tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen; jätteen kierrätyksenä ei pidetä jätteen hyödyntämistä energiana eikä jätteen valmistamista polttoaineeksi tai maantäyttöön käytettäväksi aineeksi. (Jätelaki 646/2011)

Kierrätysaste: Kierrätysaste kertoo, kuinka suuri osuus syntyvästä jätteestä ohjataan kiertoon hyödynnettäväksi materiaalina polttamisen sijaan. Mitä enemmän materiaalia saadaan kiertämään, sitä korkeampi aste. Tässä tärkeässä roolissa on lajittelu: jos jätteitä ei lajitella, niitä ei myöskään voi hyödyntää uudelleen materiaalina. (Lassila & Tikanoja 2020)

S-pisteet: Betoniseinäelementtien alareunaan tehtyjä koloja, joissa kulkee vaakasuoraan kaksi harjaterästä, joiden väliin asennetaan pystysuuntainen tartuntatappi, ns. S-pistetappi. Tämä estää elementin alapään asennuksen jälkeisen liikkumisen.

Tappinosto: Elementin nosto, joka toteutetaan terästappien avulla. Tapit asennetaan reikiin, jotka on porattu elementtien ylänurkkien lähelle.

Uudelleenkäyttö: Tuotteen tai sen osan käyttäminen uudelleen samaan tarkoitukseen kuin mihin se on alun perin suunniteltu. (Jätelaki 646/2011)

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Suomen tavoitteena on hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Tämä kunnianhimoinen tavoite edellyttää ilmastonmuutosta hidastavien keinojen ja toimintatapojen käyttöönottoa enenevässä määrin myös rakentamisessa. Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali ja erityisesti betonin sideaineen sementin valmistus on merkittävä hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja maailmassa. Siksi juuri betonin kierrätykseen on kiinnitetty erityistä huomiota ja keskeiseksi tavoitteeksi on asetettu betonin täydellinen kierrätys eri tavoin hyödynnettynä. Purkubetonista kierrätetään nykyisin Suomessa noin 80 prosenttia, uudelleenkäytön ollessa pääosin betonin hyödyntämistä murskeena. Tarvitaankin yhä uusia kierrätystapoja, kuten purkuelementtien uudelleenkäyttöä suoraan uudisrakennuksen elementteinä, mikä on tarkastelun kohteena tässä opinnäytetyössä.

1.2 Tavoite

Opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää betonielementtien uudelleenkäytön mahdollisuudet ja kustannukset eli betonielementtien uudelleenkäytön potentiaali. Opinnäytetyön konkreettisina osatavoitteina on selvittää uudelleenkäytettävien betonielementtien työvaiheet, niiden menetelmät ja kustannukset uudelleenasennusvalmiuteen asti sekä verrata uudelleenkäytettävien elementtien kokonaiskustannusta vastaavien uusien elementtien kustannuksiin toimittajan tehtaalta. Lisäksi viimeisessä osatavoitteessa laaditaan työn tilaajalle, Pohjola Rakennus Oy Suomelle arviointityökalu purkukohteen betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin määrittämiseen.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä ovat työn viitekehystä taustoittava ja tavoitteessa asetettuja tuloksia suuntaava kirjallisuusselvitys, koehaastattelu ongelmanasettelun tarkentamiseksi ja rajaamiseksi sekä varsinainen asiantuntijahaastattelu työn tavoitteiden asettamien osa-alueiden tarkempaan selvittämiseen. Lisäksi työssä toteutetaan toimintatutkimuksellinen tutustumiskäynti kerrostalon purkukohteeseen. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät ovat esitelty tarkemmin seuraavassa luvussa 2 ja menetelmien toteutus luvussa 3.

1.4 Rajaukset

Asuinkerrostalon yleisin runkojärjestelmä Suomessa perustuu vuosina 1968–1970 kehitettyyn ja käyttöön otettuun avoimeen betonielementtistandardi järjestelmään eli BES-järjestelmään (Kivifaktaa n.d.).

Edellisestä johtuen työssä rajaudutaan 1970-luvun jälkeisiin BES-järjestelmän mukaisiin asuinkerrostaloihin ja teettäjän toiveesta ensisijaisesti niiden betoniin väliseinäelementteihin, koska niissä nähdään suurin potentiaali tällä hetkellä.

Betonielementtien purkamisen, uudelleen käytön ja rakentamisen vaiheet ovat yleensä erillisiä hankekokonaisuuksia (Zhu & Tähtinen 2022). Tämä opinnäytetyö kartoittaa purettavien kerrostalojen betonielementtien uudelleen käytön taloudellista potentiaalia purkamisen ja uudelleen käytön suunnittelun vaiheissa. Rakentamisen vaihetta ei käsitellä tässä työssä. Uudelleen käytöstä johtuvaa purkukohteen tilaajan aikataulun pidentymistä ei myöskään huomioida kustannuslaskennassa.

2 BETONIELEMENTTIEN UUDELLLEENKÄYTÖN SELVITYSMENETELMÄT

Opinnäytetyön tutkimuksessa käytettiin kahta eri menetelmää kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin betonielementtien purkamisen liiketoimintaympäristöä ja eri vaiheita, menetelmiä sekä kustannuksia yleisesti kirjallisuusselvityksenä. Toisessa vaiheessa selvitettiin betonielementtien purkamisen eri vaiheita, menetelmiä ja kustannuksia tarkennetuilla puolistrukturoiduilla asiantuntijahaastatteluilla. Asiantuntijahaastatteluja valmisteltiin koehaastatteluilla. Osana toista vaihetta tutustuttiin myös Tampereella sijaitsevan kerrostalon purkutyöhön yhteistyössä purku-urakan toteuttajan kanssa.

2.1 Kirjallisuusselvitys menetelmänä

Kirjallisuusselvitystä kutsutaan myös kirjallisuuskatsaukseksi. Kirjallisuusselvitykset ovat tärkeä osa akateemista tutkimusta, jossa uuden tiedon kehittäminen rakentuu aina vanhan tiedon päälle. Kirjallisuusselvityksen pitää aina olla myös luotettava ja toistettavissa. Kirjallisuusselvityksen keskeisenä perustana on tutkimuksen tavoitteet ja niistä muodostetut tutkimuskysymykset. (Nummelin 2021).

Kirjallisuusselvityksen tehtävänä on auttaa tutkimusta lukevaa aiheen ymmärtämisessä ja toisaalta osoittaa, miten tutkimus sijoittuu alansa tutkimuskenttään ja miksi esiteltävä uusi tutkimus on tärkeä ja millä tavoin se täydentää aiempia tutkimuksia (Energiaa 2021).

Tutkielmassa viitattavan kirjallisuuden tulee olla luotettavaa ja useimmiten tuotettua tietoa. Hyviä lähteitä ovat tieteelliset julkaisut, viralliset raportit ja muut pysyvät tietolähteet, jotka voidaan yksiselitteisesti tunnistaa esim. julkaisusarjan numeron avulla. Toissijaisia tietolähteitä ovat nettisivut, koska niissä esitettyä tietoa ja myös nettiosoitetta voidaan muuttaa. (Jyväskylän yliopisto n.d.).

Tutkimuskysymyksistä muodostetaan sopivat hakusanat ja määritetään perusteet, joilla tekstit tulevat valituiksi lopulliseen aineistoon. Valikoidut tekstit arvioidaan laadullisesti ja vertaillaan sekä pyritään löytämään tutkimuskysymyksen

kannalta olennaisimmat lähteet, joiden tietoa voidaan käyttää perustana johtopäätöksille. Lopuksi löydetty tulokset raportoidaan. (Nummelin 2021).

Tässä työssä kirjallisuusselvityksellä haettiin vastausta tutkimuskysymykseen ”Mitä olemassa olevaa tietoa löytyy betonielementtien uudelleenkäytöstä, sen vaiheista ja markkinapotentiaalista?”. Kirjallisuusselvityksen toteutus on kuvattu tarkemmin luvussa 3.1.

2.2 Haastattelut menetelmänä

Haastattelu on yksi laadullisen tiedonhankinnan käytetyimpiä menetelmiä ja hyvä keino saada tietoa esimerkiksi ihmisten mielipiteistä, kerätä heistä tietoa tai tutkia heidän käyttäytymistään. Haastateltavat suostuvat tavallisesti henkilökohtaiseen haastatteluun, koska he pitävät sitä miellyttävänä kokemuksena. Kun haastatteluun on valmistauduttu hyvin, haastateltava yleensä tietää miten haastattelu etenee ja haastattelija tietää miten haastattelusta saadaan kerättyä mahdollisimman paljon tietoa. Haastatteluaineiston analysointi on hyvä aloittaa välittömästi haastattelun jälkeen, kun haastattelutilanne on vielä tuoreessa muistissa ja epäselvät tai tarkennusta vaativat seikat on helppo tarkentaa haastateltavalta. (Hirsjärvi & Hurme 2011).

Hirsjärvi ja Hurme (2011) erottelevat strukturoidun haastattelun muista haastattelulajeista, kuten esimerkiksi strukturoimaton haastattelu, puolistrukturoitu haastattelu, teemahaastattelu, syvähaastatteluja ja kvalitatiivinen haastattelu. Teemahaastattelun etuna on, että se ei sido tutkimusta yksityiskohtiin vaan aihekokonaisuuksia voidaan käsitellä vapaammin erilaisten teemojen varassa, eikä takeruta yksittäisiin kysymyksiin. Tällöin tutkijan näkökulma jää taka-alalle ja haastateltavan ääni tulee kuuluviin. Puolistrukturoidulle haastattelussa haastattelun teemat ovat etukäteen tiedossa, mutta ei kuitenkaan kaikki ja kysymykset ja niiden muoto voivat vaihdella. (Hirsjärvi & Hurme, 2011).

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmäksi koe- ja asiantuntijahaastatteluihin valittiin puolistrukturoitu haastattelu eli teemahaastattelu. Haastattelujen toteutus on kuvattu tarkemmin luvuissa 3.2 ja 3.3.

3 BETONIELEMENTTIEN UUELLEENKÄYTÖN SELVITYKSEN TOTEUTUS

3.1 Kirjallisuusselvityksen toteuttaminen

Opinnäytetyössä toteutettiin viitekehystä ja tavoitteessa asetettujen tavoitteiden saavuttamista tukeva kirjallisuusselvitys, jossa lähteiden avulla selvitettiin betonielementtien purkamisen liiketoimintaympäristöä ja eri vaiheita, menetelmiä sekä kustannuksia. Selvityksessä on käytetty apuna eri kirjallisuus-, internet-, raportti- ja artikkelilähteitä. Teettäjä Pohjola Rakennus Oy Suomen edustaja ja opinnäytetyön ohjaaja ohjasivat osaltaan myös hyödyntämään aihepiiristä ja siihen liittyvistä hankkeista julkaistuja ajankohtaisia lähteitä.

3.2 Koehaastattelujen toteuttaminen

Työn koehaastattelut toteutettiin ongelmanasettelun tarkentamiseksi ja rajaamiseksi lähitapaamisissa puolistrukturoituna haastatteluna eli teemahaastatteluna. Koehaastatteluiden tarkoituksena oli saada täydennyksiä ja korjausehdotuksia betonielementin uudelleenkäytön vaiheisiin ja niihin liittyviin varsinaisille asiantuntijahaastatteluun osallistuville esitettäviin kysymyksiin. Nämä vaiheet ja niihin liittyvät kysymykset suunniteltiin ennen haastatteluja osittain kirjallisuuteen ja tekijän omaan sekä myös teettäjän ja ohjaajan mietintään perustuen.

Haastattelussa edettiin ennalta määriteltyjen, tavoitteiden kannalta tärkeiden aihealueiden pohjalta, joihin kuhunkin liittyi tarkentavia kysymyksiä. Tässä yhteydessä haastattelun vuorovaikutustilanne on tärkeä, koska siinä poimitaan haastateltavalle tärkeitä näkökulmia ja tarkkaillaan miten ne muodostuvat. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 75.)

Osa tarkentavista kysymyksistä otettiin mukaan haastattelutilanteeseen riippuen haastateltavan esille tuomista asioista haastattelun aihealueisiin liittyen. Haastattelurunko toimi siten haastattelutilanteessa osittain myös tukimateriaalina. Haas-

tattelutilannetta johdateltiin siten, että kaikkiin avoimiin kysymyksiin saatiin haastateltavan vastaukset ilman tarkkaa järjestystä etenemisessä. Siten haastattelussa voitiin edetä haastateltavan kannalta tilanteeseen sopivalla tavalla. (Vilkkä 2015, 124.)

Koehaastattelukysymykset on esitetty liitteessä 1. Ne hyväksytettiin työn teettäjällä, Pohjola Rakennus Oy Suomella, ja ohjaajalla ennen koehaastattelujen toteuttamista.

Esihaastateltavia oli yhteensä kolme henkilöä, kaikki TAMKin rakennustekniikan ammattiaineiden opettajia (betonitekniikka, elementtirakentaminen ja elementtisuunnittelu). Kukin koehaastattelu kesti noin tunnin. Työn tekijä kirjasi haastattelujen tulokset talteen keskustelujen aikana. Koehaastattelujen tulokset on esitetty yhteenvetona luvussa 6.1.

3.3 Asiantuntijahaastattelujen toteuttaminen

Asiantuntijahaastattelujen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää työn tehtävänasettelun mukaisesti betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalia. Osatavoitteina selvitettiin betonielementtien uudelleenkäytön vaiheet, niissä sovellettavat vaihtoehtoiset menetelmät sekä eri vaiheissa syntyvät kustannukset. Lisäksi selvitettiin betonielementtien uudelleenkäyttöön liittyviä käytännön mahdollisuuksia ja rajoitteita.

Myös asiantuntijahaastattelut toteutettiin puolistrukturoituna haastatteluna eli teemahaastatteluna. Haastattelut suoritettiin etäyhteydellä Microsoft Teams -soveluksessa. Haastateltavat asiantuntijat opinnäytetyöhön ehdotti teettäjää Pohjola Rakennus Oy Suomi.

Haastatteluille annettiin verrattain suuri painoarvo jo työn alussa, sillä käsiteltävä aihepiiri on luonteeltaan laaja ja kirjallisuuden ohella asiantuntijoiden tämänhetkinen näkemys betonielementtien uudelleenkäytöstä sekä erityisesti uudelleenkäytön potentiaalista on tehokkainta muodostaa haastattelujen avulla. Haastattelut olivat projektiaikataulun mukaan tarkoitus suorittaa aikavälillä helmikuu 2023

– maaliskuu 2023. Haastattelujen järjestäminen osoittautui kuitenkin haastavaksi ja kaikki järjestetyt haastattelut saatiin suoritetuksi maaliskuu 2023 – huhtikuu 2023 aikavälillä.

Asiantuntijahaastattelun kysymykset on esitetty liitteessä 2. Ne hyväksyttiin työn teettäjällä ja ohjaajalla ennen asiantuntijahaastattelujen toteuttamista.

Asiantuntijahaastateltavia oli yhteensä 7 henkilöä. Haastateltavat asiantuntijat valittiin teettäjän suosituksesta seuraavasti: kaksi purkuyrityksen edustajaa (Lotus Demolition Oy ja Purkupiha Oy), suunnittelutoimiston rakennesuunnittelija (Sweco AB), suunnittelutoimiston asiantuntija (Spolia Design Oy), arkkitehtitoimiston arkkitehti (Arkkitehtitoimisto Ahonen ja Kangasvieri Oy), rakennusyrityksen työpäällikkö (Pohjola Rakennus Oy Suomi) ja betonielementtitehtaan edustaja (Parma Oy).

Haastatteluja suorittaessa todettiin haastattelujen apukysymyksineen olevan erittäin kattavia ja haastattelut olivat puolen tunnin mittaisia, joka koettiin mielekkääksi ja tehokkaaksi aikarajaksi haastatteluille. Työn tekijä kirjasi haastattelujen tulokset osittain talteen jo keskustelujen aikana. Asiantuntijahaastattelut myös nauhoitettiin ja litteroitiin täydennettyinä kirjalliseen haastatteluosioon. Asiantuntijahaastattelujen tulokset on esitetty analysoituna luvussa 6.2.

3.4 Kohdevierailun toteuttaminen

Osana asiantuntijahaastatteluja toteutettiin myös kohdevierailu Tampereen Lappiniemessä osoitteessa Rauhaniementie 20 sijaitsevalle kerrostalon purkutyömaalle, jossa purku-urakasta vastasi Purkupiha Oy. Vierailulla tutustuttiin betonikerrostalon purkuvaiheen toteuttamiseen, menetelmiin sekä betonielementtien uudelleenkäyttöön liittyviin käytännön mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin. Työn tekijä tutustui kohteeseen ja kirjasi purkukohteeseen liittyvät keskustelut talteen tutkimisen aikana. Tulokset ovat mukana kappaleen 6 asiantuntijahaastattelutulosten koosteessa.



KUVA 1. Tampereen Rauhaniementie 20 sijaitseva kerrostalon purkutyön vierailukohde (Joel Aho 2023)

4 BETONIELEMENTTIRAKENTEET

4.1 Betoni rakennusmateriaalina

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Kivipohjaisena materiaalina betoni on vähäistä huoltoa vaativa, erittäin kestävä, kustannustehokas ja luja puristukselle, vaikkakaan se ei ole rakennusmateriaaleista ympäristöystävällisin vaihtoehto. Betonin heikkoutena on myös sen alhainen vetokestävyys, joka on vain noin 10 % sen puristuslujuudesta. Tästä syystä betoni vahvistetaan tavallisesti valuvaiheessa teräksillä, joka osaltaan nostaa sen hiilijalanjälkeä teräksen tuottotavasta riippuen. (Betoni n.d.). Betonilla saadaan asuntoihin hyvä ääneristävyys ja paloturvallisuus (Elementtisuunnittelu 2020a).

4.1.1 Betonin tuotanto ja päästöt

Betonin raaka-aineet sementti, kivimateriaali ja puhdas vesi saadaan maaperästä. Hiilidioksidipäästöjä syntyy betonin sideaineen sementin pääraaka-aineen kalkkikiven valmistusreaktion yhteydessä. Reaktiossa noin $+1450^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa syntyy lopputuloksena sementtiä. Kalkki on pakko polttaa sementin muodostamiseksi, jolloin syntyviltä hiilidioksidipäästöiltä ei voida välttyä ja sementin valmistus onkin merkittävä hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja maailmassa. (Betoni n.d.).

Vuonna 2018 suoritettujen mittausten perusteella sementtiteollisuuden hiilidioksidipäästöt muodostivat 1,6 % maailman kokonaishiilidioksidipäästöistä. Sementtitehtaat voivat vaikuttaa ainoastaan valmistusreaktiossa käytettävän lämpöenergian tuottotapaan ja tähän kehitetään uusia tapoja. Erityisesti fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan ympäristöystävällisemmillä vaihtoehdoilla. (Betoni n.d.). Jo nykyisin on mahdollista tilata ympäristöystävällisesti tuotettua betonia, esimerkiksi Ruduksen Vihreää betonia (Rudus 2021). Vähähiilisten ratkaisuiden lisäksi on tärkeä hakea uusia keinoja luonnonvarojen käytön vähentämiseksi.

Betoniteollisuus pystyy myös valmistamaan vähähiilistä betonia korvaamalla osan sementistä pienipäästöisillä seosaineilla, muun teollisuuden muuten jätteeksi menevillä sivutuotteilla, kuten lentotuhka, masuunikuona ja silika. Seosaineita käyttämällä betonin hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää jopa 90 % (Betoni n.d.).

4.1.2 Betonin kierrätys

Kantavat betonirakenteet mitoitetaan tavallisesti joko 50 tai 100 vuoden käyttöiällä ottamalla huomioon rakenteisiin kohdistuvat ympäristörasitukset, kuten betonin karbonatisoituminen, kloridien tunkeutuminen, pakkasrasitus ja kemiallinen rasitus (Punkki, 2017). Kierrätyksessä betonin elinkaari jatkuu myös betonirakenteiden purkamisen jälkeen. Suomen vuosittaisesta miljoonan tonnin kierrätysbetonikertymästä puolet kertyy hukasta tuotannossa ja toinen puoli purkutyömailta. Purkutyömailta betonirakenteet menevät murskaukseen, jonka yhteydessä teräkset ja betonimurske erotetaan toisistaan uusiokäyttöä varten. Suomessa purkubetonista kierrätetään nykyisin noin 80 %, uusiokäytön ollessa pääosin betonin hyödyntämistä murskeena luonnon kalliomurskeen sijaan. (Betoni n.d.).

Suomen jätelaki muutettiin vuonna 2011 EU:n vuoden 2008 jätedirektiivin mukaiseksi. Sen mukaan kokonaisten tuotteiden valmistelu uudelleenkäyttöön on asetettava murskaavan materiaalikierrätyksen edelle (Lahdensivu ym. 2015). Suomen eduskunta hyväksyi vuonna 2022 uuden ilmastolain, jonka keskeinen tavoite on saada Suomi hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä. Purkubetonin osalta tulevaisuuden tavoitteeksi on asetettu betonin täydellinen kierrätys eri tavoin hyödynnettynä. Tarvitaankin yhä uusia kierrätysastetta nostavia keinoja, kuten purkuelementtien käyttöä suoraan uudelleenkäytettävinä elementteinä, mikä on tarkastelun kohteena tässä opinnäytetyössä.

4.2 Betonielementtirakentaminen

Betonielementtejä eli betonisia valmisosia käytetään nykyisin laajasti rakentamisessa. Betonielementeistä kooten toteutetaan omakoti- ja rivitaloja, asuinkerrostaloja, toimisto-, liike- ja julkisia rakennuksia sekä teollisuuden ja maatalouden halleja. (Kivifaktaa n.d.).

Betonielementtirakentamisen etuja ovat muun muassa kohteen toteutuksen tarkka aikataulutus etukäteen, oikea-aikaiset toimitukset, lyhyt rakennusaika, korkea materiaalitehokkuus minimaalisella hukalla ja vakioidut työmaatoiminnot (Elementtisuunnittelu 2020b).

Vuonna 2020 betonielementtien osuus kaikista runkorakenteista Suomessa oli noin 40 % ja julkisivuista noin 15 % (Betoni n.d.). Runkojärjestelmät ovat pitkälle vakioituja ja yleisimmät niistä ovat pilarit-palkit-laatat- järjestelmä sekä kantavat seinät-laatat- järjestelmä. Betonisilla seinäelementeillä saadaan toteutettua kestäviä ja muihin materiaaleihin verrattuna edullisia julkisivuratkaisuja. Betoniset väliseinät voidaan suunnitella täyttämään suoraan ilman lisäeristyksiä nykyiset sekä palo- että äänitekniset vaatimukset. Betonielementtien laatu ja mittatarkkuus ovat erittäin korkealla tasolla, johtuen osaltaan laatuvalvottujen raaka-aineiden kuten sementin, kiviaineksen, betoniteräksen ja teräsosien käytöstä. (Kivifaktaa n.d.).

4.3 Asuinrakennusten betonielementtijärjestelmät

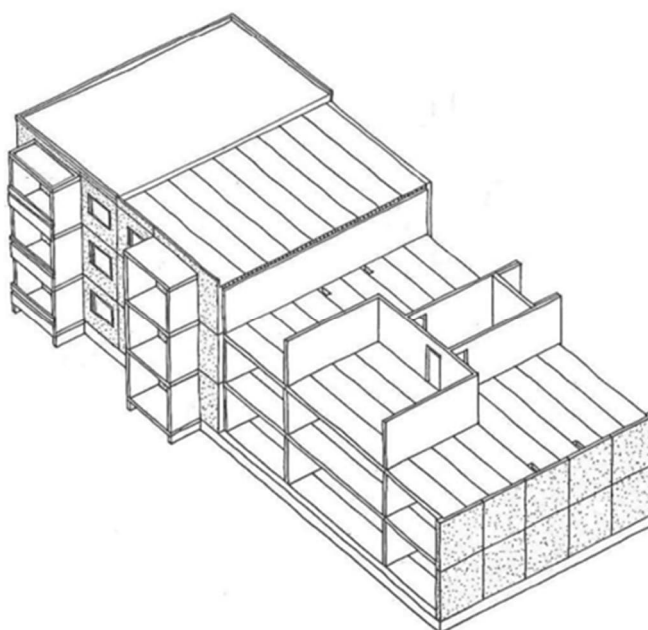
4.3.1 Betonisen asuinkerrostalon runkojärjestelmät

Runkojärjestelmällä tarkoitetaan tapaa, jolla rakennuksen kantava runko muodostetaan. Pilari-palkkijärjestelmässä runko muodostetaan pilareista ja palkeista, jolloin kantavat vaakarakenteet, esimerkiksi erilaiset laatat, asennetaan palkkien varaan. Kantavat seinät -järjestelmässä taas kantavat pystyrakenteet muodostuvat seinäelementeistä, joiden varaan kantavat vaakarakenteet asennetaan. (RIL 115 1977, s. 15).

Runkojärjestelmä määrittää siis kantavina pystyrakenteina toimivat rakenteet, vaakarakenteet ja rakenteen jäykistystavan. Runkojärjestelmät ovat vakioituneet pääosin suunniteltavan rakennuksen käyttötarkoituksen ja tyyppin mukaan. Asuinrakennuksen runkojärjestelmän perustan muodostavat kantavat seinäelementit ja välipohjalaatat sekä muut rakennuselementit, kuten sandwich-ulkoseinäelementit, väliseinäelementit, ontelolaatat, massiivilaatat, porrashuone-elementit ja parveke-elementit. (Lahdensivu ym. 2015).

Eurooppalaisittain tarkasteltuna Suomen rakennuskanta on varsin nuorta, noin 70 prosenttia rakennuskannasta on rakennettu 1960-luvulla tai sen jälkeen (Zhu ym. 2022). Asuinkerrostalon yleisin runkojärjestelmä Suomessa perustuu vuosina 1968–1970 kehitettyyn ja käyttöön otettuun avoimeen betonielementtistandardi järjestelmään eli BES-järjestelmään. BES-järjestelmä standardoi betonielementit ja niiden liitosdetaljit niin, että samaan rakennukseen voidaan hankkia betonisia valmisosia useilta eri toimittajilta. (Kivifaktaa n.d.).

Asuinrakennuksen BES-järjestelmän mukainen runkojärjestelmä rakentuu kuviossa 1 esitetysti kantavista pääty- ja väliseinistä, ei-kantavista sandwich-ulkoseinistä sekä kantaville väli- ja päätyseinille tukeutuvista välipohjalaatoista (Mäkiö 1994). Välipohjalaattojen jännevälit ovat yleensä 3 ja 5 m välillä, minkä takia yleensä lähes kaikki väliseinät ovat kantavia (RIL 115 1977, s. 151). Ontelolaatta on yleisin betonirunkoisen rakennuksen välipohjan elementtityyppi, jonka vakioleveys on 1200 mm (Elementtisuunnittelu 2023a, Parma 2018). Rakennusten välipohjaelementtien suuntaiset julkisivut ovat tyypillisesti ei-kantavia eli kantavat vain oman painonsa. Kantavina pystyrakenteina toimivat teräsbetoniset väliseinät ja päätyjen julkisivuelementtien kantavat sisäkuoret (Lahdensivu ym. 2015).



KUVIO 1. Tyypillinen asuinkerrostalon rakennejärjestelmä, jossa väliseinät toimivat kantavana rakenteena. (Mäkiö 1994)

Asuinkerrostalon alimman kerroksen runkojärjestelmä koostetaan usein myös pilari-palkkirungon ja kantava seinät-laatat järjestelmien yhdistelmästä, koska tällöin alimman kerroksen tiloja voidaan käyttää vapaammin. Runko jäykistetään tyypillisesti pystysuunnassa ulokkeena toimivilla perustuksiin tukeutuvilla betoni-seinillä ja porrashuoneella. Lisäksi elementtirakenteiset välipohjat jäykistetään vaakasuuntaan raudoituksella ja saumavaluin. Parvekkeet ripustetaan rakennuksen kantavasta rungosta tai ne rakennetaan omille perustuksilleen parveketorniksi. (Lahdensivu ym. 2015).

4.3.2 Betonisen asuinkerrostalon mittajärjestelmä

Mittajärjestelmä ohjaa voimakkaasti runko- ja elementtirakentamista. BES-järjestelmässä runkorakenteissa otettiin käyttöön 12M-mittajärjestelmä, johon liittyvien rakenteiden tuli käyttää 3M-moduulia (Hytönen & Seppänen 2009). Ennalta asetetut mitat antavat vaatimuksia myös käytettäville rakenteille ja rakennepaksuuksille, koska tietyn kantokyvyn ja jännevälin aikaansaamiseksi on käytettävissä vain rajallinen rakenteen paksuus ja korkeus (Lahdensivu ym. 2015).

Asuinkerrostalon mittajärjestelmä koostuu liittymismitoista, mittapoikkeamista, moduuliverkoista ja mittasuosituksista (Elementtisuunnittelu 2020c).

Jokaiselle esivalmisteiselle rakennusosalle määritetään liittymismitta, jonka sisään rakennusosan tulee mahtua asennettuna. Liittymismittaan sisältyy osan tarvitsema tila, asennuksen ja mittapoikkeamien vaatima tila sekä eri osien välinen sauma. (Elementtisuunnittelu 2020c).

Liittymismittojen käyttö edellyttää riittävää mittatarkkuutta valmistuksessa, asennuksessa ja paikalleen mittauksessa, joissa otetaan huomioon myös rakennusosien muodonmuutokset, kuten kutistuman, viruman, lämpöliikkeet ja kuormitusten aiheuttamat muodonmuutokset. Vaadittu mittatarkkuus eli sallitut mittapoikkeamat esitetään betonielementtien toleransseissa. (Elementtisuunnittelu 2020c).

Moduulimitoituksessa kantamoduuli on 100 mm ja sitä merkitään kirjaimella M. Kertomoduulit ovat kantamoduulin kerrannaisia 3M, 6M, 12M jne. Rakennuksen geometria sovitetaan ensisijaisesti moduulijärjestelmään 12M. Moduulimitoitettujen rakennusosien sidotaan suunnitelmissa rakennuksen päämittoihin sidottuun moduuliverkkoon, joka esitetään piirustuksissa ehjillä moduuliviivoilla. (Elementtisuunnittelu 2020c).

Mittasuosituksia on käsitelty RT-kortissa RT 03-10525 (1993) ja Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (RakMk). RakMk:n asuntosuunnittelua koskevan osan G1 (2004) mukaan asuinkerrostalojen kerroskorkeuden minimi on 3000 mm ja huonekorkeuden minimi on 2500 mm. Asuinkerrostalot suunnitellaan pääsääntöisesti minimikerroskorkeusvaatimuksen mukaisesti. Tällöin välipohjan rakennuskorkeuteen ja tekniikan tilantarpeisiin voidaan käyttää enintään 500 mm. Tämä korkeusmitoitus mahdollistaa kylpyhuoneiden rakenteiden sijoittamisen välipohjalaattaan ja RakMk:n osan F1 (2004) mukaisen enintään 20 mm kynnyksen. (Elementtisuunnittelu 2020c). Myös vanhemmissa, 1970 -lukujen asuinkerrostaloissa huonekorkeus on tavallisesti 2500 mm (Asuinrakennukset 2023).

Betonikerrostaloissa asuntojen väliset seinät ovat betonielementtejä, jotka täyttävät ääni- ja palotekniset vaatimukset. Kantavat väliseinät ovat yleensä raudoittamattomia betonielementtejä, paksuudeltaan joko 180 tai 200 mm. Päädyissä ulkoseinien nykyisin 150 mm sisäkuori toimii kuormia kantavana osana. Porras-huoneiden asuntojen vastaiset seinät samoin kuin hissikuilujen seinät ovat 200 mm paksuja betonielementtejä. Kiertävän portaan sisäkuilun seinät ovat 150 mm paksuja. Kuilut voidaan rakentaa joko erillisistä elementeistä tai kerroksen korkeuksina kuiluelementteinä. Asuntojen sisäiset seinät ovat kevyitä ei-kantavia seinä, jotka mahdollistavat huonetilojen muutokset. (Elementtisuunnittelu 2020c). Vanhemmissa, 1970 -lukujen asuinkerrostaloissa huoneistojen välisten betonielementtiseinien paksuus on tavallisesti 150 mm (Asuinrakennukset 2023).

Ontelolaattojen valmistuspaksuudet ovat 150, 200, 265, 320, 370, 400 ja 500 mm sekä vakioleveys on 1200 mm (Elementtisuunnittelu 2023a).

4.3.3 Betonielementtien liitokset

Betonielementtien liitoksissa käytetään yhtenäistettyjä tai yhtenäistämättömiä vakioteräsosia. Edellisistä ensimmäiset ovat eurokoodien mukaan mitoitettuja yhtenäistettyjä sekä vaihtokelpoisia seuraavia vakioteräsosia:

- SBKL-kiinnityslevyt
- KL-kiinnityslevyt
- JKL-kiinnityslevyt
- RT-vakioteräsosat

(Elementtisuunnittelu 2023b).

Yhtenäistämättömiä vakioteräsosia taasen ovat:

- Kiinnityslevyt ja -osat
- Pilari- ja seinäkengät
- Piilokonsolit
- Pilaripultit
- Nosto- ja vaijerilenkit
- Ansaat ja valuankkurit
- Ontelolaattakannakkeet

- parvekkeiden liitososat

(Elementtisuunnittelu 2023b).

Yhtenäistämättömille teräsosille on luotu vakioliitosten kokoelma valmiita ohjeellisia liitosten piirustuksia. Suunnittelija mallintaa liitoksen, valitsee vakioteräsosat ja varmistaa niiden ominaisuudet ja toimivuuden. Suunniteltavat asiat liittyvät osien kestävyyskykyyn, materiaalivalintoihin, hitsaukseen ja sen lisäaineisiin, liitosten palonkestävyyteen ja lämpöliikkeisiin. Lisäksi varmistetaan osien korroosiosuojaus, käyttöikä ja rakenneosien säilyvyys. Työmaalla toteutettavilla teräsosien hitsauksilla on samat laatuvaatimukset kuin hitsauksilla tehtailla. Samassa liitoksessa suositellaan käytettäväksi saman valmistajan yhtenäistämättömiä vakioteräsosia. (Elementtisuunnittelu 2023b).

5 BETONIELEMENTTIEN UUELLEENKÄYTTÖ KIRJALLISUUDEN VALOSSA

Kirjallisuusselvitystä tehtäessä kävi selväksi, että avoimesta kirjallisuudesta ei löydy vielä tällä hetkellä kustannustietoutta betonielementtien uudelleenkäytön toteutuneista rakennuskohteista. Betonielementtien uudelleenkäytön osalta kirjallisuusselvityksessä keskityttiinkin rakennusosien ja betonielementtien uudelleenkäytön prosesseihin sekä betonielementtien uudelleenkäytön nykytilanteeseen.

5.1 Rakennusosien uudelleenkäyttö

Tässä opinnäytetyössä betonielementtien uudelleenkäytöllä tarkoitetaan purettavasta rakennuksesta vapautuvien betonielementtien tai niiden osien käyttämistä uudelleen rakennustuotteina. Näitä uudelleenkäytettäviä betonielementtejä tai osia kutsutaan kirjallisuudessa myös purkutuotteiksi.

Purkumateriaaleja ovat kaikki purkamisessa syntyvät materiaalit ja rakennusosat. Purkumateriaaleja syntyy sekä kokonaispurkuhankkeissa että korjaamisessa ja niitä voidaan joko uudelleenkäyttää ensisijaisena hyödyntämistapana tai kierrättää purkujätteenä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän ja sen, jonka toiminnasta jätettä syntyy, tulee ottaa huomioon jätelain (646/2011) mukainen jätteiden etusijajärjestyksen noudattaminen rakennus- ja purkuhankkeissa. (Zhu ym. 2022).

Uudelleenkäytön valmistelulla tarkoitetaan jätelaissa jätteen tarkistamiseksi, puhdistamiseksi tai korjaamiseksi toteutettavaa toimintaa, jolla käytöstä poistettu tuote tai sen osa valmistellaan siten, että se voidaan käyttää uudelleen ilman muuta esikäsittelyä. Uudelleenkäytön ja uudelleenkäytön valmistelun keskeinen ero on, että uudelleenkäyttö tapahtuu ennen kuin tuotteesta on tullut jätettä, kun taas uudelleenkäytön valmistelussa on kyse jätteeksi päätyneen tuotteen uudelleenkäytöstä. Kun siis purettavan betonielementin uudelleenkäyttö on suunniteltu jo ennen purkua, ei uudelleenkäytettävä betonielementti muutu lainkaan jät-

teeksi. Jos taas kyseessä on uudelleenkäyttöön valmistelun jälkeen hyödynnettävä materiaali, kyseessä on jätteen käsittely, jota koskevat jätelaista (646/2011 ja 714/2021) johtuvat velvoitteet. Uudelleenkäytön valmistelu ja kierrätys ovat materiaalina hyödyntämistä. (Zhu ym. 2022).

5.2 Rakennusosien uudelleenkäytön prosessi

Zhu ym. (2022) kuvaavat rakennusosien tai purkumateriaalien päätymistä uudelleenkäyttötuotteena uuteen rakennukseen monivaiheiseksi prosessiksi seuraavin päävaihein:

- 1) vapaaehtoinen purkukartoitus tai MRL-uudistuksessa esitetty pakollinen rakennus- ja purkumateriaaliselvitys;
- 2) rakenteellinen kuntotutkimus ja haitta-aineselvitys;
- 3) purkusuunnittelu ja purkutyö;
- 4) kuljetus, varastointi ja jatkojalostaminen;
- 5) uudelleenkäytön suunnittelu käyttökohteen mukaisena;
- 6) tuotehyväksyntä ja kelpoistaminen.

(Zhu ym. 2022).

Zhu ja Tähtinen (2022) tarkentavat edellisiä rakennusosien uudelleenkäytön prosessin vaiheita erityisesti uudelleenkäytettävien rakennusosien ominaisuuksien todentamisen, niiden kohteeseen soveltuvuuden ja kelpoisuuden osoittamisen näkökulmasta seuraavasti:

1. Lähtötiedot, esiselvitys ja potentiaalisimpien uudelleenkäytettävien rakennusosien tunnistaminen
2. Rakenteellinen kuntotutkimus ja haitta-ainetutkimus ottaen huomioon materiaalien raaka-aineet, epäpuhtaudet ja muu kontaminoituminen
3. Purkusuunnittelu ja purkutyö
4. Kuljetus, varastointi ja jatkojalostaminen
5. Uudelleenkäytön suunnittelu käyttökohteen mukaisena
6. Tuotteen kelpoisuuden ja soveltuvuuden osoittaminen rakennuskohteeseen.

(Zhu & Tähtinen 2022, 8).

Zhu ja Tähtinen (2022) esittävät edelliset rakennusosien uudelleenkäytön prosessin vaiheet rakennusosien ominaisuuksien todentamisen, niiden kohteeseen soveltuvuuden ja kelpoisuuden osoittamisen näkökulmasta myös seuraavana prosessikuviona (kuvio 2).



KUVIO 2. Rakennusosien uudelleenkäytön prosessin vaiheet erityisesti uudelleenkäytettävien rakennusosien ominaisuuksien todentamisen, niiden kohteeseen soveltuvuuden ja kelpoisuuden osoittamisen näkökulmasta. (Zhu & Tähtinen 2022, 8)

5.3 Betonielementtien uudelleenkäytön prosessi

Erityisesti uudelleenkäytettävän betonielementin osalta, Zhu ja Tähtinen (2022) kuvaavat edellisen kuvion 2 mukaiset ominaisuuksien todentamisen, kohteeseen soveltuvuuden ja kelpoisuuden osoittamisen vaiheet sekä toimenpiteet niissä tarkemmin seuraavan taulukon 1 muodossa.

TAULUKKO 1. Uudelleenkäytettävän betonielementin ominaisuuksien todentaminen sekä kelpoisuuden osoittamisen vaiheet ja toimenpiteet. (Zhu & Tähtinen 2022, 8)

VAIHEET	TOIMENPITEET
1) LÄHTÖTIEDOT JA ESI-SELVITYS	<ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen suunnitelma-asiakirjojen tarkistaminen: rakennusvuosi/vuodet, elementtityypit, dimensiot, reiät, elementtien liitokset, rasi- tusluokat, betonin puristuslujuus, raudoitus • Raaka-aineet ja (pinta)käsittelyt, muut rakenteeseen liittyvät materiaalit (saumaussmassat yms.) • Käyttöhistoria ja toiminta tiloissa, joilla vaikutus materiaaleihin • Haitta-aineiden ja muiden epäpuhtauksien kartoitus • Haitta-aine ja epäpuhtauksien tutkimussuunnitelman laadinta sekä uudelleenkäytettävien materiaalien tunnistaminen
2) RAKENTEELLINEN KUNTOTUTKIMUS, HAITTA-AINEIDEN JA EPÄPUHTAUKSIEN TUTKIMUS	<ul style="list-style-type: none"> • Rakenteellinen toiminta (kantavat rakenteet, jäykistys), näytteenotto (betonin puristuslujuus), raudoitteiden peitepaksuudet ja laatu, sijainti sekä määrä Silmämääräinen tarkastelu: kaikki elementit, näkyvät vauriot pintakäsittelyt tai rakenteisiin liittyvät muut materiaalit (esim. saumaussmassat) • Haitta-aineiden ja muiden epäpuhtauksien tutkiminen: näytteenotto ja analyysi sekä tulosten tulkinta
3) PURKUSUUNNITTELU JA PURKUTYÖ	<ul style="list-style-type: none"> • Turvalliset nostot; nostoelimet, työnaikainen tukeminen

<p>4) KULJETUS, VARASTOINTI JA JATKOJALOSTAMINEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Silmämääräinen tarkastus purkamisen jälkeen: näkyvät vauriot, vauriot kiinnitysosissa, jänneterästen määrä, sijainti, luistaminen • Haitta-aineiden (piilossa olleet rakennuksen osat) ja muiden epäpuhtauksien havainnointi ja tarvittavien toimenpiteiden suunnittelu Tarvittavat puhdistus ja muut toimenpiteet sekä laadunvarmistus • Varastointisuunnitelma, määritellyt ja suunnitellut jatkokäsittelyt
<p>5) SUUNNITTELU JA UUDEN KÄYTTÖTARKOITUKSEN ASETTAMAT VAATIMUKSET</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelu: eurokoodin ja kansallisen rakentamisen lainsäädännön mukaan (rakenteellinen toiminta, paloturvallisuus, akustiikka, rakennusfysiikka, energiatehokkuus, terveellisyys ja käyttöturvallisuus) ja soveltuvuuden arviointi aiottuun käyttötarkoitukseen ja kohteeseen • Suunniteltu ja tavoiteltu sekä vaadittu käyttöikä sekä säilyvyys (määrittäminen) Täyden mittakaavan koestus: palkit, ontelolaatat Uudet kiinnikkeet: tarvittaessa testaus
<p>6) KELPOISUUDEN OSOITTAMINEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kelpoisuuden osoittaminen esimerkiksi rakennuspaikkakohtaisella varmentamisella

Purkamisen, uudelleenkäytön ja rakentamisen vaiheet ovat yleensä erillisiä hankekokonaisuuksia. Siten näiden vaiheiden liittäminen saumattomasti yhteen vaatii uudenlaisia käytäntöjä, erilaisten työvaiheiden, urakkarajapintojen ja vastuiden tunnistamista sekä niiden selkeyttämistä ja ohjeistamista tulevaisuudessa. Ensivaiheessa kriteerien kehittämistä suositellaan kohdennettavaksi niihin rakennusosiin, joilla tunnistetaan tai ennakoidaan olevan markkinoilla ja rakentamisessa kysyntää, sekä koko rakentamisen prosessiin ja siinä toimijoille. (Zhu ym. 2022).

5.4 Betonielementtien uudelleenkäytön nykytilanne

Kirjallisuusselvityksen mukaan purettuja rakennusosia, erityisesti betonielementtejä, käytetään Suomessa uudelleen hyvin vähän. Asuinkerrostalon uudisrakennuskohdetta, jossa on uudelleenkäytetty betonielementtejä kantavissa rakenteissa, ei ole vielä Suomessa ainuttakaan, sen sijaan sekundäärirakenteissa uudelleenkäytettyjä betonisia rakennusosia on jo hyödynnetty. Erilaisia selvityksiä betonielementtien uudelleenkäyttöön on kuitenkin jo tehty useita ja myös meneillään muun muassa ReCreate-hankkeessa (RakentajaPro 2022). Selvitysten mukaan rakennukset eivät pääosin ole purkuhetkellä olleet vielä teknisen käyttöikänsä päässä, joten potentiaalisesti uudelleenkäytettävillä rakennusosilla on vielä runsaasti käyttöikää jäljellä (Zhu & Tähtinen 2022).

Zhu & Tähtisen (2022) mukaan keskeinen haaste rakennusosien uudelleenkäytölle on rakennusosien kelpoisuuden osoittaminen uudessa rakennuskohteessa. Heidän mukaansa edelleen muita haasteita ovat testaus- ja varmennusmenetelmien sekä kriteerien kehittäminen rakennusosan kelpoisuuden osoittamiseen; sekä tietopohjan vahvistaminen ja osaamisen kehittäminen.

6 BETONIELEMENTTIEN UDELLEENKÄYTTÖ HAASTATTELUJEN VALOSSA

6.1 Koehaastattelujen tulokset

Koehaastattelukysymysten (liite 1) vastausten koosteen (luottamuksellinen liite 3, jota ei esitetä työn julkisessa versiossa) perusteella betonielementtien uudelleenkäytön päävaiheet ja menetelmät niissä ovat seuraavat:

Uudelleenkäytettävien betonielementtien kartoitus ja purkuvaiheen valmistelu:

- Vanhojen elementtikaavioiden ja suunnitelmien hyödyntäminen
 - Elementtityypit, elementtien käyttöikä ja dimensiot sekä raudoitukset ja lujuudet
 - Suunnitelma uudelleen käytettävistä elementeistä
- Haitta-aineselvitys (mm. asbesti, PAH-yhdisteet, PCB, lyijy, raskasmetallit, mineraaliöljy ja kvartsi)
- Elementtien visuaalinen tarkastus murtumien tms. varalta
- Elementtien mahdollisten haitta-aineiden poisto ennen purkua
- Nostotappien reikien poraus uudelleen käytettävien elementtien kulmiin "tappinostoa" varten

Uudelleenkäytettävien betonielementtien purkuvaihe:

- Säästettävien elementtien varovainen irrotus (vaativa ja aikaa vievä työvaihe)
 - Tuenta purun aikana: Tuetaan jokainen irrotettava elementti vähintään kahdella elementtituella. Lisäksi varmistetaan, ettei ympärillä olevat rakenteet pääse kaatumaan.
 - Irrotuksen toteutus: Timanttisahalla sauma poikki, s-pistetappi poikki, nostomenetelmää käyttäen nostetaan elementti pois. Pyritään säästämään ainakin s-pistekolon pielet, mahdollisesti myös pystysaumavaijerilenkit.
- Säästettävien elementtien puhdistus purun aikana hiekkapuhaltamalla
- Leikkaus säästettävään kokoon purkutyömaalla

- Leikkaus timanttisauhauksella
- Nosto kuljetuskaluston kyytiin ”tappinostona” tai liinoilla nostamalla
- Siirto välivarastoon
 - Välivarastointi: tiedot kerättynä systemaattisesti varastoiduista elementeistä suunnitteluvaiheeseen

Betonielementtien uudelleenkäyttövaiheen valmistelu:

- Valmistelu uudelleen asennukseen
 - Aukotukset, leikkaus timanttisauhauksella

Koehaastattelun tulosten pohjalta asiantuntijahaastattelun liitteen 2 kysymyksiä voitiin tarkentaa vastaamaan paremmin määritettyihin tavoitteisiin.

6.2 Asiantuntijahaastattelujen tulokset

Seuraavissa luvuissa on esitetty asiantuntijahaastattelun kuhunkin kysymykseen (liite 2) saatujen vastausten yhteenveto teema-alueiden ”B Betonielementtien uudelleenkäytön nykytila ja tulevaisuusnäkymät” ja ”C Betonielementtien uudelleenkäytön vaiheet ja potentiaali” osalta (samat kuin lukujen 6.2.1–6.2.2 otsikot) sisältäen myös vierailukohteen keskustelujen tulokset. Edellisten teema-alueiden vastausten tarkempi purku on luottamuksellisena liitteenä 4. Samassa liitteessä 4 on myös teema-alueiden ”D1 Purkuvaiheen tarkentavat kysymykset”, ”D2 Uudelleenkäytön suunnitteluvaiheen tarkentavat kysymykset” ja ”D3 Uudelleenkäytön valmisteluvaiheen tarkentavat kysymykset” tarkempi purku ja yhteenvedot. Näitä ei esitetä työn julkisessa versiossa.

6.2.1 Betonielementtien uudelleenkäytön nykytila ja tulevaisuusnäkymät

Seuraavassa on liitteen 2 mukaisen asiantuntijahaastattelun teema-alueen ”B Betonielementtien uudelleenkäytön nykytila ja tulevaisuusnäkymät” kukin kysymys ja saatujen vastausten yhteenveto. Kyseisen teema-alueen vastausten tarkempi purku on luottamuksellisessa liitteessä 4, jota ei esitetä työn julkisessa versiossa.

B1: Onko betonielementtien uudelleenkäyttö tuttua ja miten paljon sitä on toiminassanne mukana?

B1 yhteenveto: Betonielementtien uudelleenkäyttö on vielä uutta rakentamisessa, asiasta on tehty selvityksiä, mutta betonisten seinäelementtien uudelleenkäyttö asuinrakennuskohteissa ja tällaisten kohteiden toteuttaminen ei ole tuttua. Meneillään olevien kehitysprojektien tiimoilta asia on tuttu, käytännöt ja toteutuneiden projektien jälkilaskentamateriaalit kuitenkin puuttuvat. Muualla Euroopassa on toteutuneita kohteita.

B2: Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset mahdollisuudet?

B2 yhteenveto: Betonielementtien uudelleenkäytön mahdollisuuksia ovat muun muassa rakentamisen hiilijalanjäljen pienentäminen, betonielementtien hyvä kierrätettävyyys sekä se, että betoni on paljon tutkittu ja hyvin tunnettu materiaali. Betonielementtien kierrätys sellaisenaan uusissa kohteissa on tähän asti ollut mahdollista vain muissa kuin asuinrakennuksissa, esimerkiksi autokatokset, tukimuurit, piharakenteet ja maanalaiset rakenteet, siis tiloissa, joissa ei jatkuvasti oleskella.

B3: Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset haasteet?

B3 yhteenveto: Betonielementtien uudelleenkäytön haasteita ovat muun muassa käytettyjen elementtien heikot markkinat ja uudelleenkäyttöön liittyvät sopimukset ja vastuut, kustannushaasteet, työturvallisuus- ja terveellisyystekijät sekä uudelleenkäytön prosessointi kaikille toimijoille selkeäksi. Elementtien kierrätys sellaisenaan uuteen käyttökohteeseen ei arvioiden mukaan toistaiseksi ole taloudellisesti kannattavaa.

B4: Miten arvioitte betonielementtien uudelleenkäytön kehittyvän vuoteen 2030 mennessä?

B4 yhteenveto: Pääosa vastaajista arvioi betonielementtien uudelleenkäytön lisääntyvän vuoteen 2030 mennessä alkaen varovaisilla kokeiluilla. Arvioidaan, että vuonna 2030 on olemassa selkeä uudelleenkäytön prosessi ja rakennuksissa on uudelleenkäytettyjä osia. Uudelleenkäytön lisääntyminen vaatii alatutkimusta, koulutusta ja arvojen sekä asenteiden muutosta. Uudelleenkäyttöä aletaan suosia, kun siitä tulee kannattavaa ja jopa vaadittua liiketoimintaa.

B5: Mitä erityisesti pitäisi ratkaista teknisestä näkökulmasta, jotta betonielementtien uudelleenkäyttö lisääntyisi?

B5 Yhteenveto: Teknisestä näkökulmasta tulisi ratkaista muun muassa menetelmät elementtien kantavuuden varmistukseen, turvalliseen irrotukseen, elementtien mahdollinen riittämätön korkeus ja ääneneristävyys sekä elementtien aukotukset tulisi vastata nykyisyyttä. Mahdottomia esteitä elementtien uudelleenkäytölle ei kuitenkaan ole.

B6: Mitä erityisesti pitäisi ratkaista toimijoiden yhteistyön näkökulmasta, jotta betonielementtien uudelleenkäyttö lisääntyisi?

B6 Yhteenveto: Toimijoiden yhteistyön näkökulmasta tulisi vakiinnuttaa vastuut ja oikeat menetelmät betonielementtien uudelleenkäytön eri vaiheisiin. Menetelmät vakiintuvat kokemusten myötä, joita vielä ei juurikaan ole. Toimijaketjuun tulisi löytää sopiva porukka, jotka ymmärtävät prosessin omalta osaltaan.

6.2.2 Betonielementtien uudelleenkäytön vaiheet ja potentiaali

Seuraavassa on liitteen 2 mukaisen asiantuntijahaastattelun teema-alueen “C Betonielementtien uudelleenkäytön vaiheet ja potentiaali” kukin kysymys ja saatujen vastausten yhteenveto. Kyseisen teema-alueen vastausten tarkempi purku on luottamuksellisessa liitteessä 4, jota ei esitetä työn julkisessa versiossa.

C1: Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset vaiheet?

C1 yhteenveto: Betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset vaiheet ovat: uudelleenkäytön suunnittelu, purettavien elementtien kunnon kartoitus ja tarkastelu sekä aiemman dokumentaation hankkiminen, haitta-aineselvitykset, uudelleenkäyttöön hyväksytyjen elementtien varovainen irrotus, nostaminen kuljetuskaluston kyytiin, kuljetus välivarastointiin, modifiointi, elementtien uudelleenasennus.

C2: Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön eri vaiheissa (C1) käytetyt keskeiset menetelmät?

C2 yhteenveto: Uudelleenkäytön eri vaiheissa käytettyjä keskeiset menetelmät ovat paljolti hankekohtaisia. Uudelleenkäytettävistä elementeistä tulee ottaa näyttekappaleita ja ne tulee testata haitta-aineiden osalta. Elementtien ominaisuudet tulee määritellä sopivaksi suunniteltuun rakennukseen ja hyväksyä rakennuspaikkakohtaisesti.

C3: Mitkä osapuolet toteuttavat em. vaiheita (C1)?

C3 yhteenveto: Uudelleenkäytön vaiheita toteuttaa useat eri toimijat, muun muassa suunnittelijat, arkkitehdit, rakennesuunnittelijat, kuntotutkijat, viranomaiset, hankekehityksen parissa työskentelevät henkilöt sekä purku- ja rakennusurakoitsijat. Prosessissa tulisi hyödyntää mahdollisimman paljon niitä toimijoita, jotka ovat osana prosessia jo nykyisin. Heille tulee tarjota tarvittavat lisäkoulutukset sekä kokonaisuuden hallintaan valita oma toimija tai konsultti.

C4: Millaista eri osapuolten välistä yhteistyötä betonielementtien uudelleenkäytön eri vaiheissa (C1) tarvitaan?

C4 yhteenveto: Osapuolten välinen yhteistyö uudelleenkäytön eri vaiheissa tulee olla avointa ja uudelleenkäyttö tulee huomioida hankkeen aikaisessa vaiheessa. Toimijoiden tulee sitoutua uudelleenkäyttöön ja kysymykset sekä mahdolliset haasteet tulee käsitellä osapuolten kesken avoimesti. Viranomaisille tulee voida osoittaa elementtien kelpoisuus uuteen rakennukseen ja viranomainen määrittää mahdolliset helpotukset tilaajalle. Uudelleenkäyttö vaatii myös arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan yhteistyötä, jossa rakennesuunnittelija kertoo arkkitehdille muun muassa uudelleenkäytettävien elementtien rajoitteet.

C5: Miten vastuut ja takuut pitäisi jakautua eri osapuolten välillä em. vaiheissa (C1)?

C5 yhteenveto: Uudelleenkäytöstä johtuvat vastuut ja takuut tulisi jakautua siten, että hankkeeseen ryhtyvä vastaa kokonaisuudesta, rakennesuunnittelija vastaa kantavuuksista ja teknisistä asioista ja käytettyjen elementtien myyjä vastaa elementtien kunnosta ja tiedoista elementtien aiemmasta elämästä. Vastuut ja takuut tulisi siis jakautua nykyisten vastuiden mukaisesti ja siten, että jokaiselle toimijalle määritellään työsisältö etukäteen sekä siihen liittyvät vastuut.

C6: Mitä työturvallisuustekijöitä on huomioitava eri vaiheissa (C1)?

C6 yhteenveto: Huomioitavia työturvallisuustekijöitä on muun muassa elementtien irrotuksessa niiden ja ympärillä olevien rakenteiden tuennassa sekä purettavien elementtien nostoissa. Lisäksi elementtien mahdolliset haitta-aineet tulee olla selvitettyinä ennen purkua. Hyvin tehdyt tehtäväsuunnitelmat sekä asianmukaisesti perehdytetyt työntekijät ovat äärimmäisen tärkeitä.

C7: Mitä terveysriskejä on huomioitava eri vaiheissa (C1)?

C7 yhteenveto: Elementtien sisältämät mikrobit ja haitta-aineet tulee olla selvillä sekä eri työvaiheissa syntyvät pölyt on pidettävä hallinnassa. Nämä asiat on huomioitava uudelleenkäytön eri vaiheissa.

6.3 Asiantuntijahaastattelujen tulosten yhteenveto

Asiantuntijahaastattelujen perusteella betonisten seinäelementtien uudelleenkäyttö asuinrakennuskohteissa ja tällaisten kohteiden toteuttaminen on vielä uutta rakentamisessa joitakin kehitysprojekteja lukuun ottamatta. Kokemuksen puutteen lisäksi asiantuntijoilla on vielä paljon avoimia kysymyksiä paitsi itse betonielementtien uudelleenkäytön prosessiin, vaiheisiin ja menetelmiin, myös projektien vastuukysymyksiin ja taloudelliseen potentiaaliin liittyen. Vakiintuneet käytännöt betonielementtien uudelleenkäyttöprojekteissa puuttuvat samoin kuin julkisesti saatavilla olevat jälkilaskentamateriaalit taloudellisen potentiaalin arviointiin. Myös sopimukset ja vastuiden jakautuminen toimijoiden kesken vaativat vielä lisäselvitystä.

Asiantuntijat tuntevat hyvin betonielementtien uudelleenkäytön merkittävän ympäristöpotentiaalin rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämisessä. Pääosa haastatelluista arvioikin betonielementtien uudelleenkäytön lisääntyvän asteittain vuoteen 2030 mennessä, jolloin on jo olemassa selkeä uudelleenkäytön prosessi ja rakennuksissa on uudelleenkäytettyjä betoniosia. Uudelleenkäytön lisääntymisen vaatii kuitenkin lisää tutkimusta, koulutusta ja arvojen sekä asenteiden muutosta. Pääviesti on, että uudelleenkäyttöä aletaan suosia laajamittaisesti vasta, kun siitä tulee varmuudella taloudellisesti kannattavaa tai lainsäätäjän puolelta vaadittua liiketoimintaa.

Kokonaisuutena asiantuntijahaastattelut nostivat esille monia betonielementtien uudelleenkäytön vaiheisiin ja menetelmiin liittyviä lisätietoja ja yksityiskohtia, joiden pohjalta saatiin hyvä kokonaiskuva betonielementtien uudelleenkäytön prosessista ja potentiaalista. Seuraavassa luvussa 7 asiantuntijahaastattelujen tulokset yhdistetään Zhun ja Tähtisen (2022) luvussa 5.3 uudelleenkäytettäville betonielementeille kuvaamien ominaisuuksien todentamisen, kohteeseen soveltuvuuden ja kelpoisuuden osoittamisen vaiheisiin. Tuloksena on betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi ja potentiaali.

7 BETONIELEMENTTIEN UDELLEENKÄYTÖN TARKENNETTU PROSESSI JA POTENTIAALI

7.1 Betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi

Seuraavassa on yhdistetty edellisten lukujen 6.2.1 ja 6.2.2 asiantuntijahaastattelujen tulokset Zhun ja Tähtisen (2022, 8) luvussa 5.3 uudelleenkäytettäville betonielementeille kuvaamien ominaisuuksien todentamisen, kohteeseen soveltuvuuden ja kelpoisuuden osoittamisen vaiheisiin. Tuloksena on seuraava betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi, jossa on päävaiheet A, B ja C sekä niiden alivaiheet A1-A2, B1-B2 ja C1-C3 toimenpiteineen:

A. Uudelleenkäytettävien betonielementtien kartoitus ja tutkimus

A1. Kartoitus: Lähtötiedot, esiselvitys ja potentiaalisimpien uudelleenkäytettävien rakennusosien tunnistaminen

- Kohteen suunnitelma-asiakirjoihin tutustuminen
- Elementtityypit ja niiden dimensiot
- Raaka-aineselvitys, käyttöluokkatiedot ja raudoitteet
- Kuormitustieto- ja käyttöhistoriaselvitys
- Haitta-aineiden ja muiden epäpuhtauksien kartoitus

A2. Tutkimus: Rakenteellinen kuntotutkimus ja haitta-ainetutkimus ottaen huomioon materiaalien raaka-aineet, epäpuhtaudet ja muu kontaminoituminen

- Elementtien silmämääräinen eheystarkastelu
- Raudoitteiden peitepaksuudet ja laatu, sijainti sekä määrä
- Näytteenotto (betonin puristuslujuus)
- Haitta-ainetutkimus: näytteenotto ja analyysi sekä tulosten tulkinta

B. Uudelleenkäytettävien betonielementtien purkusuunnittelu ja purkutyö

B1. Purkusuunnitelman laadinta

- Purkusuunnitelman laadinta (sisältää menetelmien valinnan) uudelleenkäytettäville elementeille huomioiden purettavuus, varovainen irrotus, turvalliset nostot, nostoelimet ja työnaikainen tukeminen

B2. Purun toteutus

- Uudelleenkäytettävien elementtien varovainen irrotus
- Leikkaus säästettävään (yli)kokoon purkutyömaalla
- Haitta-aineiden (piilossa olleet rakennuksen osat) ja muiden epäpuhtauksien havainnointi ja tarvittavien toimenpiteiden suunnittelu
- Puhdistus purun jälkeen
- Silmämääräinen tarkastus purkamisen jälkeen

C. Betonielementtien uudelleenkäyttövaiheen suunnittelu ja valmistelu rakennuskohteeseen

C1. Kuljetus, varastointi ja jatkojalostaminen

- Varastointisuunnitelman laadinta käsittäen määritellyt ja suunnitellut jatkokäsittelyt
- Nostaminen kuljetuskaluston kyytiin, kuljetus välivarastointiin ja jatkokäsittelyyn
- Tehdaskunnostus tarvittavin modifikaatioin
- Välivarastointi: tiedot kerättynä varastoiduista elementeistä systemaattisesti suunnitteluvaiheeseen

C2. Uudelleenkäytön suunnittelu käyttökohteen mukaisena

- Elementtien sopivuustarkastelu suunniteltuun rakennukseen ja rakennuspaikkakohtainen hyväksyminen
- Suunnittelu eurokoodin ja kansallisen rakentamisen lainsäädännön mukaan sekä soveltuvuuden arviointi aiottuun käyttötarkoitukseen ja kohteeseen
- Suunniteltu, tavoiteltu ja vaadittu käyttöikä sekä säilyvyys (määrittäminen)
- Uudet kiinnikkeet ja niiden testaus tarvittaessa

C3. Tuotteen kelpoisuuden ja soveltuvuuden osoittaminen rakennuskoh- teeseen

- Kelpoisuuden osoittaminen rakennuspaikkakohtaisella varmentamisella
- Elementtien litteroinnit, elementtikohtaisten tietojen tallennus

Edellinen betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi päävaihei-
neen, alivaiheineen sekä toimenpiteineen ja menetelmineen niissä on avattuna
tarkemmin seuraavaan taulukkoon 2 nimenomaan haastatteluissa esille tulleiden
menetelmien osalta tarkemmin.

TAULUKKO 2. Uudelleenkäytettävän betonielementin tarkennettu prosessi pää-
vaiheineen ja alivaiheineen sekä toimenpiteineen ja menetelmineen (yhdistellen
Zhu ja Tähtinen (2022, 8) ja asiantuntijahaastattelujen tulokset).

PÄÄVAIHEET	TOIMENPITEET JA MENETELMÄT ALIVAIHEISSA
A. Uudelleenkäytettävien betonielementtien kartoitus ja tutkimus	<p>A1. Kartoitus: Lähtötiedot, esiselvitys ja potenti- aalisimpien uudelleenkäytettävien rakennusosien tunnistaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen suunnitelma-asiakirjoihin tu- tustuminen: rakennusvuosi/vuodet, ele- menttityypit, dimensiot, reiät, aukotukset, elementtien liitokset, rasitusluokat, betonin puristuslujuus, raudoitus • Raaka-aineet ja (pinta)käsittelyt, muut ra- kenteeseen liittyvät materiaalit (saumaus- massat yms.) • Käyttöhistoria ja toiminta tiloissa, joilla vai- kutis materiaaleihin • Haitta-aineiden ja muiden epäpuhtauksien kartoitus (mm. asbesti, PAH-yhdisteet, PCB, lyijy, raskasmetallit, mineraaliöljy ja kvartsi)

<p>B. Uudelleenkäytettävien betonielementtien purkusuunnittelu ja purkutyö</p>	<p>A2. Tutkimus: Rakenteellinen kuntotutkimus ja haitta-ainetutkimus ottaen huomioon materiaalien raaka-aineet, epäpuhtaudet ja muu kontaminoituminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Haitta-aine ja epäpuhtauksien tutkimussuunnitelman laadinta sekä uudelleenkäytettävien elementtien tunnistaminen • Rakenteellinen toiminta (kantavat rakenteet, jäykistys), näytteenotto (betonin puristuslujuus), raudoitteiden peitepaksuudet ja laatu, sijainti sekä määrä • Silmämääräinen tarkastelu: kaikki elementit, näkyvät vauriot, pintakäsittelyt tai rakenteisiin liittyvät muut materiaalit (esim. saumaussmassat) • Haitta-aineiden ja muiden epäpuhtauksien tutkiminen: näytteenotto ja analyysi sekä tulosten tulkinta <p>B1. Purkusuunnitelman laadinta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Purkusuunnitelman laadinta (sisältää menetelmien valinnan) uudelleenkäytettäville elementeille huomioiden purettavuus, varovainen irrotus, turvalliset nostot, nostoelimet ja työnaikainen tukeminen <p>B2. Purun toteutus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uudelleenkäytettävien elementtien varovainen irrotus (varovaiseen irrotukseen avuksi kaksi purkutyöntekijää, henkilönostin ja ajoneuvonosturi kuljettajineen): <ul style="list-style-type: none"> ○ Timanttisahalla sauma poikki, s-pistetappi poikki, nostomenetelmää käyttäen nostetaan elementti pois,
---	--

<p>C. Betonielementtien uudelleenkäyttövaiheen suunnittelu ja valmistelu rakennuskohteeseen</p>	<p>Pyritään säästämään ainakin s-pistekolon pielet ja elementin kehäraudoitus, mahdollisesti myös pystysaumavaijerilenkit.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tuenta purun aikana: Tuetaan jokainen elementti vähintään kahdella elementtituella. Lisäksi varmistetaan, ettei ympärillä olevat rakenteet pääse kaatumaan. ○ Poraukset elementtien nurkkiin ja tapitus sekä nosto maahan “tapinostolla” irrotuksen jälkeen <ul style="list-style-type: none"> • Leikkaus säästettävään (yli)kokoon purkutyömaalla timanttisauhauksella • Haitta-aineiden (piilossa olleet rakennuksen osat) ja muiden epäpuhtauksien havainnointi ja tarvittavien toimenpiteiden suunnittelu • Puhdistus purun jälkeen hiekkapuhaltamalla (tai kohdassa C1) • Silmämääräinen tarkastus (laadunvarmistus) purkamisen jälkeen: näkyvät vauriot, vauriot kiinnitysosissa, jänneterästen määrä, sijainti, luistaminen <p>C1. Kuljetus, varastointi ja jatkojalostaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Varastointisuunnitelman laadinta käsittäen määritellyt ja suunnitellut jatkokäsittelyt • Nostaminen kuljetuskaluston kyytiin “tapinostona”, kuljetus välivarastointiin ja jatkokäsittelyyn • Tehdaskunnostus pitäen sisällään tarvittavat modifikaatiot, muun muassa mittaan sahaamiset, kolotukset ja tapitukset.
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kerrosten saumoissa vetoteräksset, koheesiolla saumat, karhennetut päät, jolloin ei välttämättä tarvita elementtien päässä olevia pys- tysauman tartuntarautoja eli “kar- voja”. ○ On mahdollista porata ja injektoida elementtien päätyihin uudet “kar- vat” tarvittaessa. • Välivarastointi: tiedot kerättynä systemaattisesti varastoiduista (peittelyt) elemen- teistä suunnitteluvaiheeseen <p>C2. Uudelleenkäytön suunnittelu käyttökoh- teen mukaisena</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementtien sopivuustarkastelu suunnitel- tuun rakennukseen ja rakennuspaikkakoh- tainen hyväksyminen • Suunnittelu eurokoodin ja kansallisen ra- kentamisen lainsäädännön mukaan (ra- kenteellinen toiminta, paloturvallisuus, akustiikka, rakennusfysiikka, energiatehok- kuus, terveellisyys ja käyttöturvallisuus) sekä soveltuvuuden arviointi aiottuun käyt- tötarkoitukseen ja kohteeseen • Suunniteltu, tavoiteltu ja vaadittu käyttöikä sekä säilyvyys (määrittäminen) • Uudet kiinnikkeet: tarvittaessa testaus • Täyden mittakaavan koestus: palkit, onte- lolaatat <p>C3. Tuotteen kelpoisuuden ja soveltuvuuden osoittaminen rakennuskohteeseen</p>
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Kelpoisuuden osoittaminen esimerkiksi rakennuspaikkakohtaisella varmentamisella • Elementtien litteroinnit, elementtikohtaisten tietojen tallennus
--	---

7.2 Betonielementtien uudelleenkäytön potentiaali

Opinnäytetyössä tutkittiin uudelleenkäytettävien betonielementtien taloudellista potentiaalia soveltaen kustannusarviolaskentaa edellisessä luvussa 7.1 esitettyyn betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettuun prosessiin päävaiheineen, alivaiheineen, toimenpiteineen ja menetelmineen. Prosessin eri vaiheille (A, B ja C) ja alivaiheille (A1, A2, B1, B2, C1, C2, ja C3) laadittiin uudelleenkäyttökohteesta riippuvat kustannusarviot niiden sisältämien toimenpiteiden ja menetelmien perusteella. Kullekin uudelleenkäytön tarkennetun prosessin alivaiheen toimenpiteelle luotiin kustannusarvio perustuen asiantuntijahaastattelujen (liite 4, luottamuksellinen) ja Rakennustiedon RT-kustannuslaskenta (2023) palvelun kustannusarvioihin.

Uudelleenkäyttökohteen betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin arviointilaskentaa varten tuotettiin työssä Excel-arviointityökalu ”Betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin arviointityökalu”, jonne tallennettiin uudelleenkäytön tarkennetun prosessin eri alivaiheiden kustannusarvotiedot ja laskettavan uudelleenkäyttökohteen tiedot elementtitietoineen. Lähtökohdaksi kustannusarvioinnissa otettiin, että vaiheiden A (Uudelleenkäytettävien betonielementtien kartoitus ja tutkimus) ja B (Uudelleenkäytettävien betonielementtien purkusuunnittelu) alivaiheiden kustannukset ovat purkukohdekohtaisia kustannuksia ja vaiheen C (Betonielementtien uudelleenkäyttövaiheen suunnittelu ja valmistelu rakennuskohteeseen) alivaiheiden kustannus on elementtikohtainen kustannus.

Koska vaiheiden A ja B kustannusarviot ovat purkukohdekohtaisia, valittiin arviointityökaluun referenssikohde, jolle arvioitiin vaiheiden A ja B alivaiheiden kustannusarviot (vaiheet A1, A2, B1 ja B2). Referenssikohteeksi valittiin olemassa oleva asuinkerrostalo SUNTIONPUISTO B (n.d.), joka edustaa tyypillistä 1970-

luvun BES:in mukaista kerrostaloa. Kohteen asemakuva ja pohjapiirustukset ovat myös julkisesti nähtävillä internetissä ja myös liitteessä 5. Referenssikohteen tarkemmat tiedot ovat:

Kerrosala: noin 1700 m²

Rakennusvuosi: 1973

Kerrokset: 4 kpl, 1 kellarikerros (1. kerros) ja 3 asuinkerrosta (kerrokset 2.-4.)

Rappujen lukumäärä: 2 kpl

Huoneistojen lukumäärä kussakin kerroksen portaassa: 3 kpl (kerrokset 2.-4.)

Väliseinä ja sokkelielementtien lukumäärä: 88 kpl yhteensä

Arviointityökalusta tehtiin skaalautuva niin, että kun työkaluun syötetään laskettavan purkukerrostalokohteen tiedot uudelleenkäytettävien elementteineen, skaalautuvat vaiheiden A ja B kustannukset kerrosten, portaiden ja huoneistojen suhteessa referenssikohteeseen nähden. Vaiheen C kustannukset lasketaan aina syötettyjen uudelleenkäytettävien elementtien suhteessa.

Excel-arviointityökalun rakenne kustannusarvioineen on esitetty liitteessä 6, jota ei esitetä työn julkisessa versiossa. Myös itse arviointityökalu toimitetaan luottamuksellisena vain opinnäytetyön tilaajalle.

Arviointityökalusta saadaan lopputuloksena uudelleenkäytettävien betonielementtien kustannusarvioinnin tulokset koko kohteelle, elementille ja elementtinelölle vaiheista A, B ja C ja näiden alivaiheista seuraavan kuvion 3 mukaisesti. Kuvion lukuarvot ovat keksittyjä, koska todelliset luvut ovat luottamuksellisia.

Uudelleenkäytettävien elementtien kustannusarvioinnin tulokset	Kustannukset kohteelle	Kustannukset elementille	Kustannukset ele- menttiniölle
	€	€	€/m ²
Uudelleenkäytettävien elementtien kustan- nukset	115 000	1150	115
Kartoitus- ja tutkimusvaiheet (A1-A2)	15 000	150	15
Purku (B1-B2)	80 000	800	80
Suunnittelu ja valmistelu kohteeseen (C1-C3)	20 000	200	20

KUVIO 3. Arviointityökalusta lopputuloksena uudelleenkäytettävien betonivälisei-
näelementtien kustannusarvioinnin tulokset koko purkukohteelle, elementille ja
elementtiniölle.

Kun työkaluun syötetään myös uuden elementin tilaushinta, saadaan lopputulok-
sena uudelleenkäytettävien betonielementtien markkinapotentiaalin tulokset
koko purkukohteelle, elementille ja elementtiniölle. Tämä purkukohteen beto-
nielementtien uudelleenkäytön potentiaalin määrittäminen oli tavoitteena tässä
opinnäytetyössä.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Työn ensimmäisenä tuloksena muodostettiin betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi päävaiheineen, alivaiheineen sekä toimenpiteineen ja menetelmineen yhdistäen kirjallisuusselvityksen ja asiantuntijahaastattelujen tulokset. Kirjallisuus tunsu jo melko hyvin betonielementtien uudelleenkäytön prosessin keskeiset vaiheet ja toimenpiteet, mutta ne vaativat vielä tarkennuksia ja erityisesti toimenpiteiden menetelmiä on kuvattu kirjallisuudessa rajallisesti johtuen aiheen uutuudesta rakentamisessa. Siksi niitä oli tarvetta tarkentaa perustellusti asiantuntijahaastatteluin, mikä osoittautui tehokkaaksi keinoksi saada lisätarkennuksia vaiheisiin ja menetelmiin. Koska vakiintuneet käytännöt betonielementtien uudelleenkäyttöprojekteissa puuttuvat, toi tämä osaltaan haasteita myös asiantuntijoille joidenkin työmenetelmien määrittämiseen.

Työn toisena tuloksena luotiin kustannusarviot tarkennetun prosessin päävaiheille, alivaiheille ja niiden toimenpiteille perustuen asiantuntijahaastatteluista ja Rakennustiedon RT-kustannuslaskenta (2023) palvelusta saatuihin kustannustietoihin. Kustannustietojen laskennassa jouduttiin tekemään soveltavaa arviointia, koska toteutetuista betonielementtien uudelleenkäyttökohteista julkisesti saatavilla oleva jälkilaskentamateriaali taloudellisen potentiaalin arviointiin puuttuu. Tämä tuo virhettä nykyiseen laskentaan, mutta kustannuslaskenta-arviota voidaan tarkentaa, kun saadaan lisää kokemuksia ja jälkilaskenta-aineistoa toteutuneista uudelleenkäyttökohteista.

Työn kolmas vaihe oli suoraviivainen ensimmäisen ja toisen tuloksen hyödyntäminen Excel-ohjelmallisesti purkukohteen betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin arviointityökaluksi. Ohjelman data-aineisto suojattiin salasanalla, jotta virheellisen tiedon syöttäminen vältetään. Käyttöliittymästä tehtiin mahdollisimman helppokäyttöinen, jotta laskennan tulokset ovat helposti ja nopeasti saatavutettavia.

9 POHDINTA

9.1 Tulosityhteenveto

Työn päätavoitteena oli Pohjola Rakennus Oy Suomen toimeksiannosta selvittää betonielementtien uudelleenkäytön mahdollisuudet sekä kustannukset eli betonielementtien uudelleenkäytön potentiaali. Aihe on erittäin ajankohtainen, sillä purkubetonista kierrätetään tällä hetkellä Suomessa noin 80 prosenttia pääosin murskeena ja kierrätysasteen kasvuun tarvitaankin yhä uusia kierrätystapoja, kuten purkuelementtien uudelleenkäyttöä suoraan uudisrakennuksen osina.

Opinnäytetyössä selvitettiin uudelleenkäytettävien betonielementtien työvaiheet, niiden menetelmät ja kustannukset uudelleenasennusvalmiuteen asti yksityiskohtaisesti sekä kirjallisuusselvityksenä että asiantuntijahaastatteluin. Työssä toteutettiin myös kohdevierailu purkukohteeseen kokonaisuuden konkretian hahmottamiseksi.

Työn ensimmäisenä tuloksena saatiin betonielementtien uudelleenkäytön tarkennettu prosessi päävaiheineen, alivaiheineen sekä toimenpiteineen ja menetelmineen. Asiantuntijahaastattelujen perusteella betonielementtien uudelleenkäyttö asuinrakennuskohteissa ja tällaisten kohteiden toteuttaminen on vielä uutta rakentamisessa joitakin kehitysprojekteja lukuun ottamatta.

Työn toisena tuloksena luotiin kustannusarviot tarkennetun prosessin päävaiheille, alivaiheille ja niiden toimenpiteille perustuen asiantuntijahaastatteluista ja Rakennustiedon RT-kustannuslaskenta (2023) palvelusta saatuihin kustannustietoihin.

Työn kolmantena tuloksena laadittiin työn tilaajalle skaalautuva Excel-arviointityökalu purkukohteen betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin määrittämiseen. Arviointityökalulla voidaan laskea uudelleenkäytettävien betonielementtien kustannusarvioinnin tulokset koko asuinkerrostalon purkukohteelle, yksittäi-

selle elementille ja elementtinelölle tarkennetun prosessin eri vaiheissa. Kun työkaluun syötetään myös uuden elementin tilaushinta, saadaan lopputuloksena uudelleenkäytettävien betonielementtien markkinapotentiaali.

Työ on toisen ja kolmannen tuloksen sisällön osalta luottamuksellinen. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että betonielementtien uudelleenkäytön potentiaali tulee tulevaisuudessa kasvamaan, kun toiminta arkipäiväistyy. Betonielementtien uudelleenkäytön ympäristöpotentiaali on huima, koska betonielementtien merkittävin hiilidioksidipäästöjä tuottava vaihe, valmistus jää pois.

9.2 Päätelmät ja suositukset

Opinnäytetyö onnistumisesta voidaan todeta, että työn tavoitteet saavutettiin erinomaisesti laaditussa aikataulussa. Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön aihepiiri osoittautui haastavaksi johtuen useista eri tahoista, joihin betonielementtien uudelleenkäyttö liittyy sekä sen monista vielä kehittyvistä osa-alueista. Positiivista on, että ainakin haastatellut asiantuntijat tuntevat jo hyvin betonielementtien uudelleenkäytön merkittävän ympäristöpotentiaalin rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämisessä. Pääviesti asiantuntijoilta on, että uudelleenkäyttöä aletaan suosia laajamittaisesti vasta, kun siitä tulee varmuudella taloudellisesti kannattavaa tai lainsäätäjän puolelta vaadittua liiketoimintaa.

9.3 Jatkotutkimusehdotukset

Betonielementtien uudelleenkäytön lisäämiseen liittyy useampia jatkotutkimus ja -kehitystarpeita. Muun muassa elementtien liitososat tulisi uusien betonielementtirakennusten osalta suunnitella uudelleenkäyttöä varten ja betonielementtien uudelleenkäytön eri vaiheisiin liittyviä menetelmiä sekä sopimuksia ja vastuiden jakautumista toimijoiden kesken on syytä selvittää vielä tarkemmin. Myös arvojen sekä asenteiden muutos vaatii edelleen uutta tietoa ja koulutusta.

LÄHTEET

- Asuinrakennukset. 2023. Asuinrakennukset.fi. Luettu 02.05.2023.
<https://www.asuinrakennukset.fi/rakennukset/1970-luvun-kerrostalo/>
- Betoni. n.d. betoni.com. Luettu 01.03.2023. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/>
- Elementtisuunnittelu. 2020a. Betoni rakennusmateriaalina. Luettu 02.03.2023.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuu-det/betoni-rakennusmateriaalina>
- Elementtisuunnittelu. 2020b. Valmisosarakentaminen. Luettu 05.3.2023.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen>
- Elementtisuunnittelu. 2020c. Asuinrakennukset. Luettu 06.3.2023.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/asuinrakennukset>
- Elementtisuunnittelu. 2023a. Ontelolaatat. Luettu 15.3.2023.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>
- Elementtisuunnittelu. 2023b. Teräsosien suunnittelu. Luettu 25.3.2023.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/terasosien-suunnittelu>
- Excel. 2023. Microsoft Corporation. Luettu 24.2.2023.
<https://www.microsoft.com/fi-fi/microsoft-365/excel>
- Energiaa. 2021. Kirjallisuuskatsaus opinnäytetyön muotona. energiaa.vamk.fi. Luettu 02.05.2023. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202102114568>
- Hirsijärvi, S. & Hurme, H. 2011. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki. University Press Oy. Yliopistokustannus. HYY yhtymä.
- Hytönen, Y. & Seppänen, M. 2009. Tehdään elementeistä – Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Julkaisija Betonitieto Oy. Luettu 24.2.2023.
<https://betoni.com/wpcontent/uploads/2020/06/Tehdaan-Elementeista.pdf>
- Jyväskylän yliopisto. n.d. Pro gradu -tutkielma. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. https://www.jyu.fi/science/fi/ohjeita-opiskelijalle/opiskelu/opinnaytetyo/laitosten-opinnaytetyoohjeita/bio-ja-ymparistotieteiden-laitos/bioenv_graduohje.docx
- Jätelaki 17.6.2011/646.
- Kivifaktaa. n.d. Puheenvuoroja kestävästä rakentamisesta. Betonielementit. Luettu 02.03.2023. <https://kivifaktaa.fi/suomea-rakentamassa/betonielementit/>
- Lahdensivu, J., Huuhka, S., Annala, P., Pikkuvirta, J., Köliö, A. & Pakkala, T. 2015. Betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuudet. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 03.03.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3461-4>

Laki Jätelain muuttamisesta 15.7.2021/714.

Lassila & Tikanoja. 2020. Luettu 01.05.2023.
<https://lassikko.lt.fi/kiertotalouden-termit-tutuksi>

Mäkiö, E. 1994. Kerrostalot 1960-1975. 1. painos. Helsinki. Rakennustieto Oy. 288 s.

Nummelin, T. 2021. Abduktiivinen päättely insinöörisuunnittelussa. Systemaattinen kirjallisuusselvitys. Kandidaattityö. Tampereen Yliopisto. Luettu 02.05.2023.
<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/133089/NummelinToni.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Parma. 2018. Parman ontelolaatatot. Suunnitteluohje. Luettu 01.03.2023.
https://parma.fi/userassets/uploads/2018/12/parma_ontelolaatatot_suunnitteluohje_2018-1.pdf

Punkki, J. 2017. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Luettu 01.03.2023.
[BET1702_66-71.pdf \(betoni.com\)](https://betoni.com/BET1702_66-71.pdf)

RakentajaPro. 2022. Vanha betonielementti irti ja uudelleen käyttöön. Luettu 10.04.2023. [Vanha betonielementti irti ja uudelleen käyttöön \(rakentaja.pro\)](https://rakentaja.pro/vanha-betonielementti-irti-ja-uudelleen-kayttöön)

RakMk F1. 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Esteetön rakennus, määräykset ja ohjeet. Säännös Ympäristöministeriön www-sivulla. Luettu 10.03.2023. <https://www.finlex.fi/data/normit/28203-F1su2005.pdf>

RakMk G1. 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asuntosuunnittelu, määräykset ja ohjeet. Säännös Ympäristöministeriön www-sivulla. Luettu 10.03.2023. <http://www.finlex.fi/data/normit/28204/G1su2005.pdf>

RIL 115 (1977). Betonielementtirakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 03-10525. Rakennusten ja rakennusosien mittajärjestely. 1993. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT-kustannuslaskenta. 2022. Rakennustieto. www-sivut. Luettu 23.04.2023.
https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/rt_kustannuslaskenta.html

Rudus. 2021. Vihreä Betoni pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä. Luettu 01.03.2023. <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2021/06/29/vihrea-betoni-pienentaa-rakentamisen-hiilijalanjalkea>

SUNTIONPUISTO B. n.d. Keminmaan Vuokra-asunnot Oy. Luettu 20.04.2023.
<https://www.keminmaanvuokra-asunnot.fi/suntionpuisto.html>

Tuomi, J & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Tammi.

Vilkkä, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4 uud.p. Jyväskylä: PS-kustannus.

Zhu, Y., Lonka, H., Tähtinen, K., Anttonen, M., Isokääntä, P., Knuutila, A., Lahdensivu, J., Mahiout, S., Mäntylä, A-M., Raimovaara, M., Rantio, T., Santonen T. & Teittinen, T. 2022. Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisuuden näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:15. Luettu 01.04.2023. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163832/VN_Teas_2022_15.pdf

Zhu, Y.& Tähtinen, K. 2022. Rakennusosien uudelleenkäytön edellytykset Suomessa. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:20. Luettu 01.04.2023. [Rakennusosien uudelleenkäytön edellytykset Suomessa \(tietokayttoon.fi\)](#)

LIITTEET

Liite 1. Koehaastattelun kysymykset

Opinnäytetyö esiselvitys ja haastattelukysymyksiä **Esiselvityskysymyksiä varsinaisten haastattelukysymysten suunnittelua varten**

Väliseinäelementin uudelleenkäytön päävaiheet:

Onko seuraavassa kaikki elementin uudelleenkäytön vaiheet mukana vai kuuluuko muitakin vaiheita?

- Elementin dimensioiden ja haitta-aineiden mittauss + visuaalinen tarkastus
- Irrotus
- Puhdistus
- Nosto kuljetuskaluston kyytiin
- Siirto välivarastoon
- Valmistelu uudelleen asennukseen
 - aukotukset
 - leikkaus oikeaan kokoon
 - saumavaijeri- ja nostolenkkien kiinnitys
 - lisäraudoitus
 - sähköjen roilotus

Mitä vaihtoehtoisia menetelmiä käytetään eri vaiheissa?

Ennen purkua:

Mittaus:

- Miten mittaukset tehdään?
- Hyödynnetäänkö vanhoja elementtikaavioita?

Muuta:

- Mitä selvityksiä tehdään?
- Tehdäänkö haitta-aineselvitys ennen purkua?

Purun aikana:**Irrotus:**

- Miten tuennat tehdään purun aikana?
- Miten irrotus toteutetaan?

Muuta:

- Kuinka helposti elementit irtoavat ehjänä?
- Yritetäänkö säästää elementtien tartuntaraudat?
- Puhdistetaan elementit purun aikana vai välivarastolla?

Purun jälkeen:**Nosto:**

- Millä menetelmällä purettavat elementit nostetaan?

Välivarastointi:

- Mitä tietoja elementeistä kerätään ja miten tiedot jaetaan suunnitteluvaiheessa sellaiseen kohteeseen, jossa harkitaan uudelleenkäyttöä?
- Laaditaan käytetyistä elementeistä jonkinlaiset piirustukset?
- Laserskannataan elementit jossain vaiheessa?

Aukotukset:

- Millä menetelmällä tehdään? Onko muita menetelmiä kuin timanttisahaus?

Leikkaus oikeaan kokoon:

- Millä menetelmällä tehdään?
- Tarvitaanko lisäraudoituksia?

Nostolenkkien kiinnitys:

- Tarvitaanko nostolenkkejä, miten kiinnitetään?

Vaijerilenkkien kiinnitys:

- Miten vaijerilenkit kiinnitetään?

Raudoitukset:

- Selvitetäänkö raudoitukset?
 - Jos kyllä, niin millä tavoin?
- Tarvitaanko lisäraudoituksia?
 - Jos kyllä, niin missä tapauksissa?

Sähköjen roilotukset:

- Millä menetelmällä tehdään?

Puhdistus:

- Millä menetelmällä puhdistetaan?
- Tehdäänkö puhdistus irrotusvaiheessa vai jatkokäsittelyvaiheessa?

Muuta:

- Mitä muita asioita pitäisi ottaa huomioon elementtien kierrätyskokonaisuuteen liittyen?

Liite 2. Asiantuntijahaastattelun saatekirje kysymyksineen

Purkukohteen betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalin selvitys - opinnäytetyö

Toteutusaika:	Tammikuu 2023 - toukokuu 2023
Tutkimustahot:	TAMK rakennustekniikka, Pohjola Rakennus Oy Suomi
Yhteyshenkilöt:	Joel Aho (opinnäytetyön tekijä) Eero Nippala (ohjaaja) Janne Kivimäki (teettäjä)

Tampereen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan opinnäytetyössä tutkitaan teettäjän Pohjola Rakennus Oy Suomen toimeksiantoa, joka kehittää kansallista rakennusalan kiertotaloutta. Tavoitteena on selvittää betonielementtien uudelleenkäytön potentiaalia. Alkuasetelmassa betonielementtien uudelleenkäytön päävaiheiksi on ajateltu haastattelukysymysten lopussa esitetyt päävaiheet, joita tarkennetaan myös osana tätä haastattelua. Keskeiseksi menetelmäksi on valittu asiantuntijahaastattelut, joiden tulosten ja saatavissa olevan kirjallisuuden pohjalta opinnäytetyössä muodostetaan kokonaiskuva tehtävänannon tavoitteen muodostamaan pääkysymykseen.

ASIAANTUNTIJAHAASTATTELU:

Seuraavilla sivuilla on esitetty asiantuntijahaastattelun kysymykset. Opinnäytetyön tekijä (jatkossa tutkija) kysyy mahdollisuutta teiltä osallistua hankkeeseen antamalla asiantuntijahaastattelu.

Mikäli se on mahdollista:

- sovitaan ajankohta haastattelutapaamiselle tai haastattelulle puhelussa tai Teamsissä
- toteutetaan haastattelu sovittuna ajankohtana
- tutkija kirjaa vastauksenne muistiin opinnäytetyön käyttöön

Haastattelu on mahdollista antaa myös anonymisti. Tästä sovitaan haastattelun aikana.

Tarkennukset: Haastattelukysymyksissä toistuu betonielementti, tässä selvityksessä sillä tarkoitetaan ensisijaisesti asuinrakennuksen betonisia väliseinäelementtejä. Betonielementtien uudelleenkäytöllä tarkoitetaan jo käytössä olleiden betonielementtien polkua vaiheineen uudelleenkäytettäväksi uusio- tai saneerauskohteessa.

Asiantuntijahaastattelu, versio 20.2.2023 Joel Aho

A Vastaajan tiedot

A1	Yritys-/organisaationimi	
A2	Vastaajan nimi	
A3	Yrityksen toimiala kiertotaloudessa	

B Betonielementtien uudelleenkäytön nykytila ja tulevaisuusnäkymät

B1	NYKYTILA Onko betonielementtien uudelleenkäyttö tuttua ja miten paljon sitä on toiminnassanne mukana?	
B2	Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset mahdollisuudet?	
B3	Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset haasteet?	
B4	TULEVAISUUS Miten arvioitte betonielementtien uudelleenkäytön kehittyvän vuoteen 2030 mennessä?	
B5	Mitä erityisesti pitäisi ratkaista teknisestä näkökulmasta, jotta	

	betonielementtien uudelleen- käyttö lisääntyisi?	
B6	Mitä erityisesti pitäisi ratkaista toimijoiden yhteistyön näkökulmasta, jotta betonielementtien uudelleenkäyttö lisääntyisi?	

C Betonielementtien uudelleenkäytön vaiheet ja potentiaali

C1	Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön keskeiset vaiheet?	
C2	Mitkä ovat betonielementtien uudelleenkäytön eri vaiheissa (C1) käytetyt keskeiset menetelmät?	
C3	Mitkä osapuolet toteuttavat em. vaiheita (C1)?	
C4	Millaista eri osapuolten välistä yhteistyötä betonielementtien uudelleenkäytön eri vaiheissa (C1) tarvitaan?	
C5	Miten vastuut ja takuut pitäisi jakautua eri osapuolten välillä em. vaiheissa (C1)?	
C6	Mitä työturvallisuustekijöitä on huomioitava eri vaiheissa (C1)?	
C7	Mitä terveysriskejä on huomioitava eri vaiheissa (C1)?	

D1 Purkuvaiheen tarkentavat kysymykset

D1. 1	Mikä teitä motivoi betonielementtien uudelleenkäyttöön purkuvaiheessa: sopimus, raha, laki, imago?	
D1. 2	Miten elementit saadaan ehjinä irti?	
D1. 3	Miten paljon betonielementtien ehjänä irrottaminen uudelleenkäyttöön tuo kustannuksia (€/jm tai €/m ² tai €/purettu elementti)?	
D1. 4	Miten käytetyt elementit saadaan nostettua kuljetusta varten?	
D1. 5	Miten paljon betonielementtien nosto ja kuljetus uudelleenkäyttöön tuo kustannuksia (€/jm tai €/m ² tai €/purettu elementti)?	
D1. 6	Miten elementit varastoidaan uudelleenkäyttöä varten?	
D1. 7	Miten paljon betonielementtien varastointi uudelleenkäyttöön tuo kustannuksia (€/jm tai €/m ² tai €/purettu elementti)?	
D1. 8	Mitä tietoja betonielementeistä tallennetaan uudelleenkäyttöä varten ja missä vaiheissa?	
D1. 9	Mitä selvityksiä tehdään uudelleenkäytettäville betonielementeille?	
D1. 10	Mitä sopimuksia betonielementtien uudelleenkäyttö tuo purkuvaiheeseen?	

D2 Uudelleenkäytön suunnitteluvaiheen tarkentavat kysymykset

D2. 1	Mikä teitä motivoi betonielementtien uudelleenkäyttöön suunnitteluvaiheessa: sopimus, raha, laki?	käsitteiden läpikäynti, kysymysjärjestys?! Johdattelevat ja tärkeät alkuuun
D2. 2	Miten paljon kustannuksia suunnitteluvaiheeseen tuo betonielementtien uudelleenkäyttö verrattuna uusien elementtien käyttöön (€/jm tai €/m ² tai €/purettu elementti)?	Mitä sopimuksia betonielementtien uudelleenkäyttö tuo suunnitteluvaiheeseen?
D2. 3	Miten vanhat betonielementit poikkeavat teknisesti uudelleenkäytettävistä elementeistä?	
D2. 4	Mitä rajoituksia sekä lisävaiheita ja lisäkustannuksia em. tekniset poikkeavuudet (D2.3) tuovat betonielementtien uudelleenkäytön suunnittelulle?	
D2. 5	Miten betonielementtien uudelleenkäytön suunnittelu toteutetaan huomioiden purettujen elementtien olemassa olevat aukotukset, s-pisteet, nostolenkit, jne. ?	
D2. 6	Mitä tietoja puretuista betonielementeistä tarvitaan uudelleenkäytön suunnitteluun?	
D2. 7	Mitä selvityksiä tulee tehdä uudelleenkäytettäville betonielementeille ennen uudelleenkäyttöä?	

D2. 8	Mitä sopimuksia betonielementtien uudelleenkäyttö tuo suunnitteluvaiheeseen?	
----------	--	--

D3 Uudelleenkäytön valmisteluvaiheen tarkentavat kysymykset

D3. 1	Mikä teitä motivoi betonielementtien uudelleenkäyttöön valmistusvaiheessa: sopimus, raha, laki?	
D3. 2	Miten paljon kustannuksia tuo valmistusvaiheeseen betonielementtien uudelleenkäyttö verrattuna uusien elementtien käyttöön (€/jm tai €/m ² tai €/elementti)?	
D3. 3	Miten käytetyt betonielementit poikkeavat teknisesti uusista elementeistä?	
D3. 4	Mitä rajoituksia sekä lisävaiheita ja lisäkustannuksia em. tekniset poikkeavuudet (D3.3) tuovat betonielementtien uudelleenkäytölle?	
D3. 5	Miten betonielementtien uudelleenkäytön valmistelu toteutetaan huomioiden purettujen elementtien olemassa olevat aukotukset, s-pisteet, nostolenkit, raudoitteet, tulevat nostot, jne. ?	
D3. 6	Mitä selvityksiä tulee tehdä uudelleenkäytettäville betonielementeille ennen uudelleenkäyttöä?	

D3. 7	Mitä tietoja puretuista betonielementeistä tarvitaan uudelleenkäytön valmistusvaiheeseen?	
D3. 8	Mitä sopimuksia betonielementtien uudelleenkäyttö tuo uudelleenasetuksen valmistusvaiheeseen?	

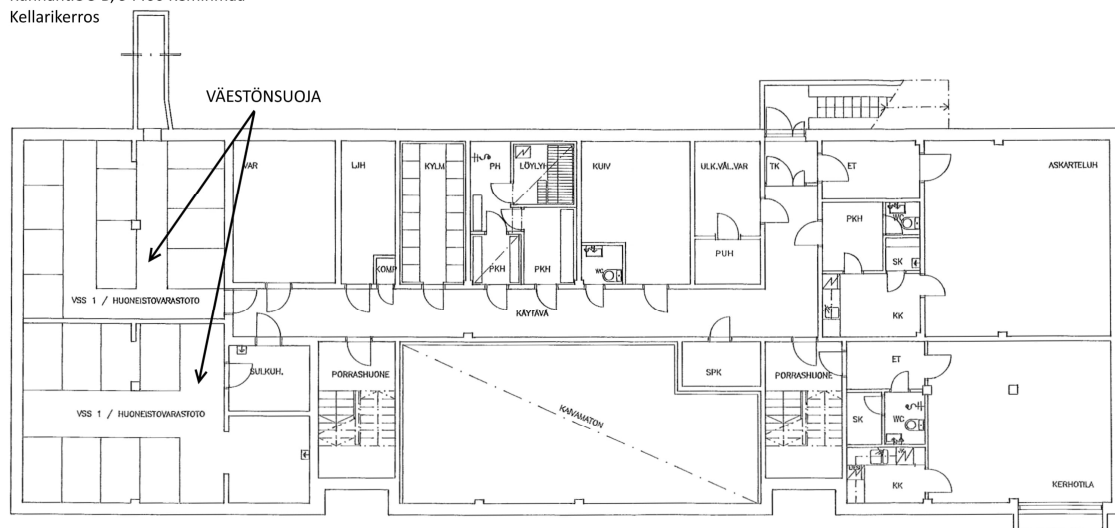
Liite 3. Koehaastattelun purku (luottamuksellinen)

Liite 4. Asiantuntijahaastattelun purku (luottamuksellinen)

Liite 5. Referenssikohteen SUNTIONPUISTO B pohjakuvat

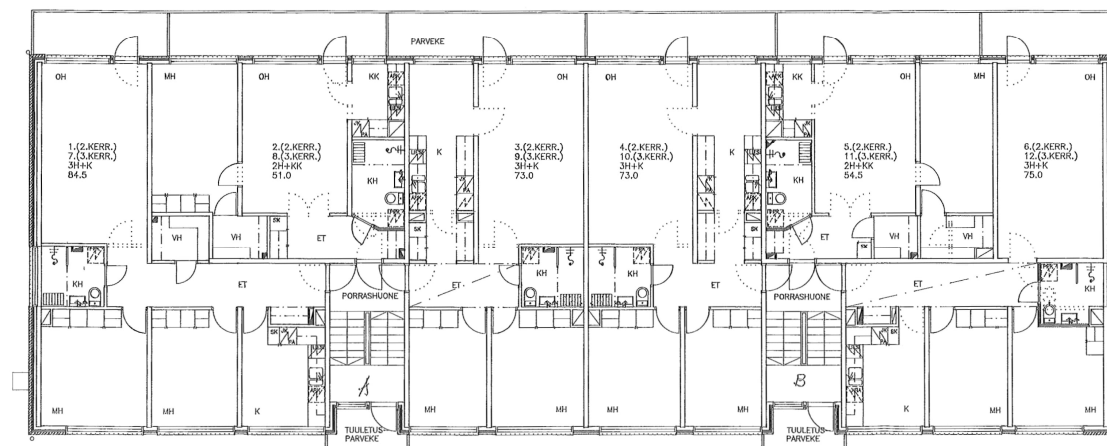
Pohjakuva, kellarikerros (SUNTIONPUISTO B, n.d.):

SUNTIONPUISTO
Kunnantie 5 B, 94400 Keminmaa
Kellarikerros



Pohjakuva, kerrokset 2-4 (SUNTIONPUISTO B, n.d.):

SUNTIONPUISTO
Kunnantie 5 B, 94400 Keminmaa
2.-4. kerros



Liite 6. Excel-arviointityökalun rakenne ja käyttö (luottamuksellinen)