



Kierrätettävän betonimateriaalin määrät, ominaisuudet ja kelpoisuudet

Mikko Mäkinen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

MÄKINEN, MIKKO:

Kierrätettävän betonimateriaalin määrät, ominaisuudet ja kelpoisuudet

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2023

Tämä opinnäytetyö tehtiin RATKI-hankkeelle, joka on Tampereen yliopiston ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhteinen rakennusalan kiertotaloutta edistävä hanke. Hankkeen taustalla vaikuttaa Euroopan unionin asettama 70 % kierrätystavoite rakennusmateriaaleille. Purettavan betonirakennuksen osalta kierrätystavoite saavutetaan, kun betonimurske käytetään uusiomateriaalina, tai kun kokonaiset betonielementit käytetään uudelleen toisessa kohteessa. Työn tavoitteena oli selvittää kierrätettävän betonimateriaalin ominaisuuksia, kelpoisuuksia, sekä määriä Pirkanmaan alueella.

Työ on jaettu kahteen osaan tutkimuksen sujuvuuden vuoksi. Ensimmäinen osa on teoriaosuus, joka käsittelee kierrätettävää betonimateriaalia yleiseltä kannalta. Toisessa osassa arvioidaan betonijätteen vuotuisia määriä Pirkanmaan alueella. Betonijätteen määrän lisäksi arvioidaan myös sen kierrätyskustannuksia.

Teoriaosuus perustuu kattavaan kirjallisuusselvitykseen, jossa tietoa on kerätty pitkälti lakipykälästä, sekä alan isoimpien toimijoiden tiedeartikkeleista. Toisessa osassa dataa on kerätty virallisista tilastoista, ja käyttöön on myös saatu julkaisemattomia lähteitä.

Työn tuloksena saatiin laadittua kattava teoriapaketti kierrätettävästä betonimateriaalista, joka tarjoaa aiheeseen tutustuvalle kaikki oleelliset asiat yhdessä tutkimuksessa. Tuloksena saatiin myös arviot betonijätteen määrästä Pirkanmaan alueelta tarkasteluvuoden ajalta. Betonijättemäärän tutkimus avasi mahdollisuuksia jatkotutkimuksille, jotka ovat helppo toteuttaa.

Asiasanat: purkubetoni, ylijäämäbetoni, betonimurske, betonimateriaali, kiertotalous

ABSTRACT

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

MÄKINEN, MIKKO:
Quantities, Properties and Eligibility of Recycled Concrete Material

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages
May 2023

The objective of this thesis was to research the properties, eligibility, and quantities of recycled concrete material. This thesis was conducted for the RATKI project, a joint effort between Tampere University and Tampere University of Applied Sciences.

The thesis is divided into two parts. The first part provides a general overview of recycled concrete material. The second part estimates the annual amounts of concrete waste in Pirkanmaa region and assesses the recycling costs of the material.

The theoretical part is based on a comprehensive literature review, laws, and scientific articles from the major players in the industry. In the second part, data was collected from official statistics and some unpublished sources.

The study resulted in a comprehensive theoretical package on recycled concrete material. Additionally, relatively accurate estimates were obtained for concrete waste generated in Pirkanmaa region for the year under review. The research of generated concrete waste opens opportunities for further research, which can be easily carried out.

Key words: demolished concrete, surplus concrete, crushed concrete, concrete material, circular economy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta	6
1.2	Tavoitteet	6
1.3	Menetelmät	6
1.4	Rajaukset	7
2	MENETELMIEN ESITTELY	8
2.1	Kirjallisuusselvitys	8
3	TYÖN TOTEUTUS	9
4	KIERRÄTETTÄVÄN BETONIMATERIAALIN LUOKITTELU	10
4.1	Käyttämätön betonimateriaali	10
4.1.1	Ylijäämäbetoni	10
4.1.2	Käyttämättömät betonituotteet	11
4.2	Käytetty betonimateriaali	12
4.2.1	Käyttö maarakentamisessa	12
4.2.2	Puhdistusmenetelmät	14
4.3	Tekniset vaatimukset	15
4.3.1	Käyttöön soveltumaton betonimateriaali	18
5	KÄSITTELYN ONGELMAT	19
5.1	Turvallisuus	19
5.2	Kovettuminen	19
6	BETONIN KIERRÄTYS PIRKANMAALLA	20
6.1	Arvio ylijäämäbetonin määrästä	20
6.2	Arvio purkubetonin määrästä	22
6.3	Kierrätyskustannukset	23
7	TULOSTEN TARKASTELU	26
8	POHDINTA	28
8.1	Tulosten yhteenveto	28
8.2	Suosituksset	28
8.3	Jatkotutkimus-ehdotukset	28
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	32
	Liite 1. Arvio ylijäämäbetonin määrästä Pirkanmaalla vuonna 2021 ...	32
	Liite 2. Arvio purkubetonin määrästä Pirkanmaalla vuonna 2021	33

ERITYISSANASTO

purkubetoni	purku- tai korjaustöiden ohessa syntynyt betonijäte
ylijäämäbetoni	betonin tuotannossa tai työmaalla esimerkiksi valujen ohessa ylijäänyt betoni
betonimurske	murskattua kierrätettävää betonimateriaalia, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi maarakentamisessa tai uuden betonin tuotannossa
BeM-luokat	laatuluokat, jotka ohjaavat betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa
AVCP-luokat	luokat, jotka määrittävät kuinka isossa osassa ilmoitettu laitos osallistuu betonimateriaalin laadunvarmistukseen
kierrätysaste	kertoo, kuinka suuri osuus jätteestä hyödynnetään materiaalina
hyötykäyttöaste	kertoo, kuinka suuri osuus jätteestä hyödynnetään tai poltetaan
uusiokäyttö	tuotteen, esineen tai jätteen kierrättämistä, useimmiten raaka-aineena
uudelleenkäyttö	tuotteen tai esineen käyttämistä uudelleen sellaisenaan tai muokattuna

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen yliopiston ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhteiselle RATKI-hankkeelle (rakentamisen kiertotalous). Hankkeen taustalla vaikuttaa Euroopan unionin säätämä vaatimus, jonka mukaan rakennus- alalta vaaditaan 70 % kierrätystavoitetta rakennusmateriaalien osalta.

RATKI-hankkeen tavoitteena on kehittää Pirkanmaan rakennusalan verkosto- maista toimintaa kiertotalouden edistämiseksi. Hankkeen tuloksena odotetaan mm. selvitettyjä rakennusalan kiertotalouden ongelmia, luotuja yhteistyöverkos- toja, sekä kehitettyjä toimintamalleja, jotka edistävät liiketoimintaa. Hanke keskit- tyi erityisesti Pirkanmaalle, mutta hyviä toimintamalleja pyritään etsimään laajasti (Tuni 2021).

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kokonaiskuva tarjolla olevasta kierrätettä- västä betonimateriaalista. Mahdollisimman tarkan kokonaiskuvan vuoksi kierrä- tettävä betonimateriaali jaetaan eri luokkiin tarkastelua varten. Tuloksena opin- näytetyöstä odotetaan selvitystä eri luokkien ominaisuuksista ja kelpoisuuksista, sekä määristä ja maantieteellisistä sijainneista Pirkanmaan alueella.

1.3 Menetelmät

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuusselvitystä laajasti ja soveltaen.

1.4 Rajaukset

Betonimateriaalin kiertotalouteen kuuluu myös kokonaisten betonielementtien uudelleen käyttö. Tämä aihealue on kuitenkin rajattu pois RATKI-hankkeesta ja näin ollen tästä opinnäytetyöstä. Tampereen yliopisto tutkii kyseistä aihetta erillisessä EU-hankkeessa. Tämän lisäksi betonimateriaalin kierrätystoimissa tarkastellaan vain betonin murskausta, eikä betonijätteen käyttöä sellaisenaan esimerkiksi pohjamateriaalina ole huomioitu.

RATKI-hankkeen tapaan tässä opinnäytetyössä keskitytään Pirkanmaahan, kun tutkitaan betonimateriaalin ja kierrätystoimien maantieteellisiä sijainteja.

Betonijätteen laskennassa on tarkasteltu vain talonrakentamisen ohessa syntynyttä betonijätettä.

2 MENETELMIEN ESITTELY

2.1 Kirjallisuusselvitys

Kirjallisuusselvitys eli kirjallisuustutkimus tarkoittaa tietyn aiheen tutkimuskirjallisuuden kokoamista ja analysoimista. Tutkimuskirjallisuuteen voi kuulua esimerkiksi aiheeseen liittyvät tutkimusartikkelit, kirjat ja lakipykälät. Kirjallisuusselvitystä harjoitetaan lukuisilla eri aloilla tyypillisesti alemman korkeakoulututkinnon aikana (Aalto University 2021).

Opinnäytetöiden kirjallisuusselvitykset tehdään nykyaikana pääosin internetin kautta saatuja aineistoja käyttämällä. Hyviä puolia internetin avulla tehdyssä kirjallisuusselvityksessä ovat:

- saatavuus, sillä tiedonhaulla löytyy useita niin suomenkielisiä, kuin vieras-kielisiä aineistoja
- tehokkuus, sillä nopealla tiedonhaulla saa välittömän pääsyn aineistoon. Tämän lisäksi aineistojen ajantasaisuutta on usein helppo arvioida, sillä niiden julkaisuajankohdat ovat heti näkyvillä.

Internetin avulla tehdyssä kirjallisuusselvityksessä ongelmaksi saattaa muodostua salasanan tai maksumuurin takana oleva aineisto. Tämän lisäksi jotkut aineistot saattavat olla vanhentuneita tai misinformaatiota. Tärkeää on, että kirjallisuusselvitys tehdään luotettavia aineistoja käyttämällä.

3 TYÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyö on jaettu kahteen aihealueeseen tutkimuksen sujuvuuden vuoksi. Ensimmäinen aihealue koostuu kierrätettävän betonimateriaalin yleisestä teoriaosuudesta. Teoriaosuudessa selvitettiin kierrätettävän betonimateriaalin käsitteilyä, ominaisuuksia, käyttövaatimuksia, hyötyjä, ongelmia, sekä sen määrälliset arviot koko Suomen alueelta. Toinen aihealue koostuu arvioiduista kierrätettävän betonimateriaalin määristä ja kierrätyskustannuksista Pirkanmaan alueella.

Opinnäytetyössä on käytetty kirjallisuusselvitystä laajasti ja soveltaen. Teoriaosuudessa isossa osassa on viime vuonna voimaantullut valtioneuvoston asetus, joka säätelee betonimurskeen käyttöä. Betonijätteen määräarvioihin data on kerätty useasta lähteestä, kuten Tilastokeskuksen taulukoista ja julkaisemattomista lähteistä.

4 KIERRÄTETTÄVÄN BETONIMATERIAALIN LUOKITTELU

Jotta opinnäytetyössä saatiin mahdollisimman tarkka kokonaiskuva kierrätettävästä betonimateriaalista, oli oleellista jakaa se eri luokkiin. Kierrätettävä betonimateriaali luokiteltiin käyttämättömään ja käytettyyn betonimateriaaliin. Käyttämätön betonimateriaali tarkoittaa pääasiassa ylijäämäbetonia ja käytetty betonimateriaali pääasiassa purkubetonia. Suomessa murskataan yli 800 000 tonnia betonijätettä vuosittain, josta suurin osa on peräisin purkubetonista, sillä ylijäämäbetonin ja betonilietteen vuosittainen määrä on noin 200 000 tonnia, joka vastaa kahta prosenttia betonin vuosituotannossa. Betonimurskeesta yli 90 prosenttia menee käyttöön maarakentamiseen (Heilä 2010). Kokonaisuudessaan betonijätettä syntyy Suomessa vuosittain arviolta noin kaksi miljoonaa tonnia (Helpinen 2020), mutta vain osa kierrätetään murskaamalla, sillä jätettä voidaan murskaamatta hyödyntää esimerkiksi maisemointi-, pohja- tai peittomateriaalina.

Betonin kierrätysaste Suomessa on yli 80 % (Betoniteollisuus n.d.a).

4.1 Käyttämätön betonimateriaali

4.1.1 Ylijäämäbetoni

Ylijäämäbetoni tarkoittaa betonin tuotannossa tai työmaalla mm. valujen ohessa syntyvää ylijäänyttä betonia, joka voidaan kovettuneena murskata ja seuloa lajikkeiksi, jotka sisältävät eri raekokoja (Betoniteollisuus n.d.a). Toisin sanoen ylijäämäbetonista murskattu betoni on puhdasta, sillä murskeessa tai sen käsittelyssä ei ole tekijöitä, jotka vaikuttavat sen puhtauteen negatiivisesti.

Ylijäämäbetonin käsittelyssä syntyy betonimurskeen lisäksi myös betonilietettä. Betoniliete erotetaan pesulaitteilla ylijäämäbetonista. Liete sopii hyvin osakorvaajana vedelle betonin valmistuksessa. Lietettä syntyy myös silloin, kun puhdistetaan betonitehtaan sekoittimia ja betoninkuljetuskaluston säiliöitä, tai kun kovet-

tunutta betonia hiotaan, sahataan ja vesisuihkupuhdistetaan. Tästä lietteestä voidaan vielä selkeyttää kiintoaines ja vesi erilleen, ja hyödyntää niitä kierrätyksessä (Betoniteollisuus n.d.a)

Suomessa tuotetaan noin kymmenen miljoonaa tonnia betonia vuosittain. Ylijäämäbetonin osuus tästä on noin kaksi prosenttia eli noin 200 000 tonnia (Heilä 2010). Parma Oy:n laatu- ja ympäristöpäällikkö Raija Inkiläisen mukaan ylijäämäbetonia syntyy eniten ontelolaattatuotannossa, jossa myös betonin valmistuksen määrät ovat suuria (Heilä 2011).

Ylijäämäbetonin käsittelyssä syntyvää hyvälaatuista betonimursketta voidaan hyödyntää laajasti eri käyttötarkoituksissa. Sitä voidaan hyödyntää kiviaineeksena talonrakentamisessa, maarakentamisessa, viherrakentamisessa, betonin valmistuksessa, tai jopa lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena ja kasvialustana (Valtioneuvoston asetus 2022). Koska betonimurske on hyvälaatuista, sillä voidaan esimerkiksi korvata 10–30 prosenttia luonnon kiviaineeksista betonin valmistuksessa, eikä se vaikuta merkittävästi betonin ominaisuuksiin (Heilä 2010). Vaihtoehtoisesti betonilietettä voidaan hyödyntää maanparannusaineena turvemaidella ja savimaidella (Betoniteollisuus n.d.a).

4.1.2 Käyttämättömät betonituotteet

Myös käyttämättömät betonituotteet luokitellaan käyttämättömäksi betonimateriaaliksi. Se voi tarkoittaa esimerkiksi tehtaalta ylijäänyttä betonituotetta, joka voidaan murskata kovettuneen ylijäämäbetonin tapaan betonimurskeeksi.

Toisin kuin ylijäämäbetonissa, käyttämättömässä betonituotteessa saattaa sen tuoteominaisuuksiensa vuoksi olla muitakin materiaaleja ja epäpuhtauksia, kuin pelkkä betonimassa ja raudoitusteräket. Tästä syystä käyttämättömän betonituotteen murskauksesta syntyvän betonimurskeen käyttö saattaa olla rajoituneempaa. Tätä mursketta voi kumminkin hyödyntää ylijäämäbetonista syntyneen murskeen tapaan, jos tekniset vaatimukset täyttyvät.

4.2 Käytetty betonimateriaali

Käytetty betonimateriaali tarkoittaa lähtökohtaisesti purkubetonia, eli rakennuksen, rakenteen tai rakennelman purkamisessa syntyvää betonimateriaalia. Käytettyä betonimateriaalia voi osittain syntyä myös rakentamisen aikana. Purkubetonista syntyvä betonimateriaali eroaa käyttämättömästä betonimateriaalista ominaisuuksiltaan siten, että siinä on usein mukana epäpuhtauksia ja ylimääräisiä materiaaleja, esimerkiksi tiilimurskaa. Osa käytetyistä kokonaisista betonielementeistä voidaan myös käyttää uudelleen toisessa kohteessa.

Purkubetonista syntyneen betonimurskeen käyttö on yleisintä maarakentamisessa. Tätä betonimursketta käytetään pääasiassa kaduissa, teissä, sekä piha- ja pysäköintialueissa (Betonirakenteet kierrätetään n.d.b). Käyttö on mahdollista myös kiviaineksena talonrakentamisessa ja betonin valmistuksessa, kunhan tekniset vaatimukset täyttyvät. Toisin kuin käyttämätöntä betonimateriaalia, käytettyä betonimateriaalia ei voida käyttää viherrakentamisessa, lannoitteena, maanparannusaineena, kalkitusaineena tai kasvualustana.

Suomessa betonijätettä murskataan vuosittain yli 800 000 tonnia. Valtaosa murskatusta betonista on purkubetonia (Heilä 2010).

4.2.1 Käyttö maarakentamisessa

Vaikka purkubetonista syntyneen betonimurskeen käyttö on yleisintä maarakentamisessa, käyttöön sisältyy silti vaatimuksia, jotka määrittävät missä tilanteissa betonimursketta voidaan käyttää (TAULUKKO 1.). Betonimurskeen käyttöä maanrakentamisessa ohjataan BeM -laatuluokittelulla. BeM -laatuluokkiin kuuluu neljä luokkaa, jotka ovat BeM I, BeM II, BeM III ja BeM IV (Forsman & Dettenborn 2019). Taulukosta 2 löytyy luokkien tarkempia ominaisuuksia. Myös seuraavat vaatimukset (Smedlund 2019) ovat täytyttävä betonimurskeen käytöstä maarakentamisessa:

- Betonimurskekerroksen maksimipaksuus on 1,5 metriä
- Betonimurskeen maksimirakekoko on 90 mm (0–90 mm)
- Tekniset vaatimukset ovat täytyttävä

- Laadunhallinta tehtävä vaatimusten mukaan
- Maarakentamiskohteet, jotka sisältävät betonimursketta on peitettävä tai päällystettävä
- Pohjaveden enimmäiskorkeuteen on oltava vähintään metrin etäisyys
- Vesistöihin, sekä talousvesitarkoitettuihin kaivoihin ja lähteisiin on oltava vähintään 30 metrin etäisyys.

TAULUKKO 1. BeM -luokkien tekninen soveltuvuus (Lehtonen 2018).

Rakennekerros	BeM I	BeM II	BeM III
Kantava kerros	+	+	-
Jakava kerros	++	++	+
Suodatinkerros ⁽²⁾	++	++	++
Penger	++	++	++
Lopputäyttö ⁽³⁾	-	+	+
Alkutäyttö ⁽⁴⁾	-	-	-
Arina ⁽⁴⁾	-	-	-
++ Soveltuu hyvin + Soveltuu kohtalaisesti - Ei sovellu (1) ++ Rakenteen aukikaivun ollessa vähäistä verkoston huollon takia (esim. tiemäiset kadut, moottoriväylät, jalankulku- ja pyörätiet vapaassa tilassa ja kentät). (2) Suodatinrakenne voi olla suodatinkerros tai suodatinkangas tai tarvittaessa molemmat (InfraRYL 2017). Suodatinkerroksessa käytettävän betonimurskeen rakeisuus valitaan siten, että hankekohtaisessa suunnitelmassa tai InfraRYL:ssä esitetyt vaatimukset täyttyvät. Betonimurskeen alla suodatinkangas ei saa olla polyesteriä (PET). (3) Hyödyntäminen lopputäytössä tehdään verkostonomistajan ohjeiden mukaisesti (Esim. PK-seudulla HSY:n verkoston yhteydessä noudatetaan HSY:n ohjeita (HSY 2016). (4) Lujittuvia materiaaleja ei käytetä alkutäytössä. Käyttöä arinassa rajoittaa yleensä pohjavesipinnan läheisyys.			

TAULUKKO 2. BeM -luokkien ominaisuudet (Lehtonen 2018).

Ominaisuus	BeM I	BeM II	BeM III	BeM IV
Raaka-ainelähde	Betoniteollisuus	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa
Rakeisuus	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset
Hienoainespitoisuus	< 7 % (f_7)	< 7 % (f_7)	-	-
Routivuus	Routimaton	Routimaton	Routimaton tai routiva	Routimaton tai routiva
Puristuslujuus	> 1,2 Mpa	> 0,8 Mpa	-	-
Osa-aineet	Betoni > 90 % (R_{c90}) tiili < 10 % (R_{b10-})	Betoni, lasi, kiviaines yht > 90 % (R_{cug90}) tiili < 10 % (R_{b10-})	Betoni, lasi, kiviaines yht > 90 % (R_{cug90}) tiili < 10 % (R_{b10-})	Betoni, lasi, kiviaines yht > 70 % (R_{cug70}) tiili < 30 % (R_{b30-})
Epäpuhtaudet	< 1 paino-% (X_1)	< 1 paino-% (X_1)	< 1 paino-% (X_1)	< 1 paino-% (X_1)
Kelluvat epäpuhtaudet	< 5 cm ³ /kg (FL_{5-})	< 10 cm ³ /kg (FL_{10-})	< 10 cm ³ /kg (FL_{10-})	ei vaatimusta (FL_{NR})

Betonimurskeen käytöllä saattaa olla myös enemmän hyötyjä kuin tavallisella kiviaineksella. Suosituilla Ruduksen kehittämillä CE-merkityillä Betoroc-murskeilla on tutkimuksien mukaan 15–25 prosenttia suurempi kantavuus tien rakennekerroksissa 13–15 vuoden jälkeen, kun niitä verrataan tavallisella kiviaineksella rakennettuihin rakennekerrokseen. Betoroc-murskeella on myös mahdollisuus säästää parempi kustannushyöty tavalliseen kiviainekseen verrattuna. EEJ-Betoroc-murske on hiilinegatiivinen ja sillä voidaan pienentää materiaalimenekkiä, sekä säästää ja korvata neitseellisiä luonnonmateriaaleja (Rudus n.d.).

4.2.2 Puhdistusmenetelmät

Koska purkubetonista syntyneessä betonimateriaalissa on usein epäpuhtauksia ja ylimääräisiä materiaaleja, joudutaan ne hyödyntämistarkoituksen mukaan erottelemaan pois. Erotteluun on olemassa useita puhdistusmenetelmiä. Olennaisen puhdistusmenetelmän suorittaminen on ekologinen ratkaisu ja sillä voidaan jopa säästää kustannuksissa. Yleisesti käytettyjä puhdistusmenetelmiä ovat mm. seulonta ja magneettierotus.

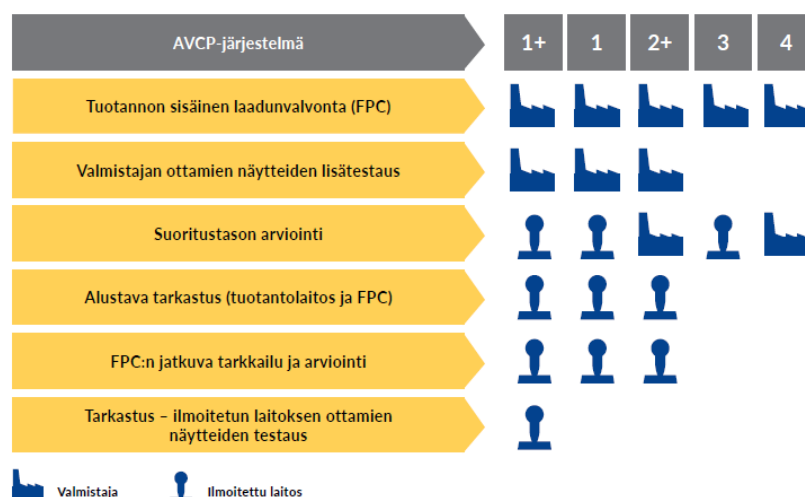
Purkujäte voidaan seuloa jo työmaalla. Se on varsin taloudellinen ratkaisu, sillä siinä voidaan säästää kuljetuskuluissa ja jätteenkäsittelykustannuksissa, koska seulonnan seurauksena saadaan kaatopaikalle vietyä pelkkä jäte (Betonimurske n.d.).

Betonimursketta valmistetaan mm. murskauslaitoksella, johon kuuluu mm. murskain ja magneettierottimet. Magneettierottimet erottavat betonijätteestä teräkset ja metallit, ja ohjaa ne suoraan metallinkierrätykseen. Murskauslaitoksessa voi olla myös esimerkiksi mekaanisia ja paineilmalla toimivia toimintoja, jotka erottavat pieniä epäpuhtauksia (Lehtonen 2018).

4.3 Tekniset vaatimukset

Betonimurskeen käyttö riippuu sen teknisistä ominaisuuksista, eikä niinkään sen alkuperästä. Esimerkiksi betonimursketta, joka on peräisin ylijäämäbetonista, käyttämättömästä betonituotteesta, tai käytetystä betonimateriaalista, voidaan käyttää talonrakentamisessa, maarakentamisessa, ja betonin valmistuksessa kiviaineena, kunhan sen tekniset vaatimukset täyttyvät. Ainoana poikkeuksena on, että käytetystä betonimateriaalista peräisin olevaa betonimursketta ei voida käyttää viherrakentamisessa, lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena tai kasvualustana, mutta käyttämättömästä betonimateriaalista peräisin olevaa betonimursketta voidaan. Teknisiin vaatimuksiin kuuluvat AVCP- luokitukset ja kelpoisuusvaatimukset.

AVCP-luokka (suoritustason pysyvyyden arviointi ja varmennus) määrittää, kuinka isossa osassa ilmoitettu laitos osallistuu betonimateriaalin ominaisuuksien ja valmistuksen laadunvarmistukseen (Betonitieto n.d.). AVCP-luokalla (KUVIO 1) ei ole väliä, jos betonimateriaalia aiotaan käyttää lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena tai kasvualustana. Jos betonimateriaalia aiotaan käyttää talonrakentamisessa, maarakentamisessa, viherrakentamisessa tai betonin valmistuksessa kiviaineena, tulee sen AVCP-luokka olla 2+.



KUVIO 1. AVCP-luokitukset (Tukes n.d.)

Kelpoisuusvaatimukseen kuuluu haitta-aineiden pitoisuus- ja liukoisuusvaatimukset, sekä epäpuhtauksien enimmäismäärien vaatimukset. Taulukosta 3 näkee haitta-aineiden suurimmat sallitut pitoisuudet ja liukoisuudet betonimateriaalille. Taulukosta 4 näkee epäpuhtauksien sallitut enimmäismäärät betonimateriaalissa. Molempien taulukoiden vaatimukset tulee täyttyä, riippumatta siitä, mistä betonimateriaali on peräisin, tai mihin sitä aiotaan käyttää. Ylijäämäbetonista peräisin olevassa betonimateriaalissa ei luonnollisesti ole epäpuhtauksia, joten sen käytössä huomioidaan vain haitta-aineiden pitoisuudet ja liukoisuudet.

TAULUKKO 3. Haitta-aineiden suurimmat sallitut pitoisuudet ja liukoisuudet (Valtioneuvoston asetus 2022).

Haitta-aine	Liukoisuus mg/kg (L/S 10)	Kokonaispitoisuus (mg/kg)
Antimoni (Sb)	0,2	
Arseeni (As)	0,1	
Barium (Ba)	5	
Kadmium (Cd)	0,02	
Kromi (Cr)	0,6	
Kupari (Cu)	1	
Elohopea (Hg)	0,01	
Molybdeeni (Mo)	0,7	
Nikkeli (Ni)	0,3	
Lyijy (Pb)	0,1	
Seleen (Se)	0,2	
Vanadiini (V)	0,3	
Sinkki (Zn)	4	
Fluoridi (F ⁻)	12	
Kloridi (Cl ⁻)	200	
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	300	
PAH-yhdisteet ¹		30
PCB-yhdisteet ¹		1
Öljyhiilivedyt ≥ C10– C40 ¹		200

TAULUKKO 4. Epäpuhtauksien sallitut enimmäismäärät (Valtioneuvoston asetus 2022).

Materiaalien ja epäpuhtauksien tyypit	Määrä
Tiilien ja tiililaattojen, kalkkihiekkatiilien ja -harkkojen sekä muiden poltettujen tiilien sekä kellumattoman vaahtobetonin yhteenlaskettu määrä	10 paino-%
Saven ja muun koheesiomaan ja maa-aineksen, sekalaisten metallien (metallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit), kellumattoman puun, muovin ja kumin sekä kipsilaastin yhteenlaskettu määrä	1 paino-%
Saven ja muun koheesiomaan ja maa-aineksen, sekalaisten metallien (metallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit), kellumattoman puun, muovin ja kumin, kipsilaastin sekä lasin yhteenlaskettu määrä	1 paino-%
Kelluvat epäpuhtaudet	5 cm ³ /kg

4.3.1 Käyttöön soveltumaton betonimateriaali

Jos betonimateriaalin kelpoisuusvaatimukset eivät täyty, ei sitä voida käyttää. Myös seuraavissa tilanteissa (Valtioneuvoston asetus 2022) betonimateriaali on käyttöön soveltumatonta:

- jos betonimateriaalissa epäillään olevan asbestia tai muita työturvallisuuden vaikuttavia tekijöitä
- jos betonimateriaalissa epäillään olevan epäpuhtauksia, joita ei voida riittävästi poistaa käsittelyn aikana
- jos betonimateriaaliin on päässyt epäpuhtauksia kuljetuksen tai varastoinnin aikana
- jos betonimateriaali on varastoitu siten, että eri erät ovat voineet sekoittua
- jos tarvittavaa siirtoasiakirjaa ei ole laadittu.

5 KÄSITTELYN ONGELMAT

5.1 Turvallisuus

Betonimurske on kuivaa ja pölyävää, joten se saattaa aiheuttaa ärsytystä silmissä ja limakalvoissa. Pitkäaikaisessa ihokosketuksessa se saattaa aiheuttaa ihon ärsytystä, herkistymistä, kuivumista ja halkeilua. Tästä syystä olisi hyvä käyttää pölysuojainta ja suojavaatetusta betonimursketta käsiteltäessä (Lehtonen 2018).

Betonimurskeeseen saattaa jäädä pieniä teräksen kappaleita, joten olisi hyvä välttää sen pinnan päältä kulkemista. Kulkeminen pinnan päältä saattaa myös aiheuttaa betonimurskeen ylimääräistä pölyämistä. Betonimurskekerros tulisi peittää tai päällystää (Lehtonen 2018).

5.2 Kovettuminen

Sementin reaktioista johtuen erityisesti 0-pohjaiset (esim. 0/8 mm raekoon) betonimurskelajikkeet saattavat tietyissä määrin kovettua eli 'paakkuuntua'. Tästä syystä on hyvä hyödyntää paakkujen rikkojaa. Paakkujen rikkominen tapahtuu joko kuormausvaiheessa, tai betonitehtaalla esimerkiksi välillä. Rikkomisella varmistetaan, että betonimurske on juoksevaa ja oikean rakeista, ja että se sekoittuu hyvin (Lehtonen 2019).

Jos betonimurske on kiviainesilossa kauan, eikä sitä syötetä myllyyn jatkuvalla syötöllä, saattaa se täysin jämähtää siiloon. Jämähtänyt betonimurske on todella vaikea saada pois siilosta (Lehtonen 2019).

6 BETONIN KIERRÄTYS PIRKANMAALLA

Pirkanmaalla on useita kasvavia alueita. Kasvun ohessa betonirunkoisia rakennuksia rakennetaan ja puretaan tiuhaan tahtiin. Näin ollen betonijätettä syntyy Pirkanmaalla paljon. Tässä luvussa arvioidaan betonijätteen määriä, sekä kierrätyskustannuksia Pirkanmaan alueella.

6.1 Arvio ylijäämäbetonin määrästä

Tässä osiossa arvioidaan ylijäämäbetonin määrää vuositason Pirkanmaalla. Tulokseksi saatu arvio on suuntaa antava, sillä tarkastelussa on vain talonrakentamisen ohessa syntynyt ylijäämäbetoni, eikä esimerkiksi betonin tuotannon, tai siltarakentamisen ohessa syntynyt ylijäämäbetoni. Kokonaisuudessa ylijäämäbetoni on pääosin peräisin uudiskohteista, joten arvio on riittävän tarkka tähän opinnäytetyöhön.

Ylijäämäbetonin määrän laskemiseen tuli kehittää laskukaavoja, sillä ylijäämäbetonin määrää vuositason ei löydetty kirjallisuusselvityksellä. Tuoreen tiedon puutteen vuoksi on tarkasteltu useita menneitä vuosia ja laskettu näiden perusteella arvioita nykyajasta. Laskukaavat ovat kehitetty vain tätä opinnäytetyötä varten, eivätkä ne ole virallisia ylijäämäbetonin laskukaavoja.

Ylijäämäbetonin määrän laskeminen aloitettiin arvioimalla Pirkanmaan talonrakentamisen osuutta koko Suomen talonrakentamisesta. Apuna käytettiin Tilastokeskuksen Rakentaminen ja asuminen -vuosikirjaa vuodelta 2013, joka oli tuorein saatavilla oleva vuosikirja kyseisestä kirjasarjasta. Kirjasta löydettiin maakunnittain vuosien 2000–2012 valmistuneet rakennukset kuutiometreissä. Tämän tiedon avulla onnistuttiin laskemaan keskiarvoarvio Pirkanmaan osuudesta koko maan talonrakentamiseen. Pirkanmaan osuudeksi laskettiin noin 8,9 %.

Kirjasta löydettiin myös koko maan tasolla vuosien 2001–2012 valmistuneet betonirunkoiset rakennukset kuutiometreissä. Samalla keskiarvomenetelmällä onnistuttiin laskemaan arvio betonirakentamisen osuudesta koko maan talonrakentamiseen. Betonirakentamisen osuudeksi laskettiin noin 42,1 %.

Tilastokeskuksen Suomen tilastollinen vuosikirja 2022 -kirjasta löytyi tuoreimmillaan vuoden 2021 valmistuneet rakennukset kuutiometreissä koko maan alueelta. Tämän tiedon, sekä äsken mainittujen prosenttiosuuksien pohjalta onnistuttiin laskemaan kuutiometriarvio vuonna 2021 Pirkanmaalta valmistuneista betonirunkoisista rakennuksista. Kuutiometriarvio laskettiin niin sanotulla ominaislukutekniikalla, jossa laskettiin betonikuutioiden osuus rakennuskuutioista. Ominaisluvaksi valikoitui 0,2, joka tarkoittaa sitä, että betonirunko olisi 20 % koko rakennuksen tilavuudesta. Ominaisluku on karkea keskimääräinen arvio, sillä betonirungon osuus rakennuksesta riippuu mm. talotyypistä ja talon korkeudesta. Useiden esimerkkirakennusten betonirungon osuus vaihteli noin 10–30 % välillä, joten luku oli riittävä suuntaa antavaa arviota varten.

Koska lopullinen ylijäämäbetonin määrän tulos haluttiin ilmoittaa tonneina, betonirungon osuudeksi saadut kuutiometrit kerrottiin yleisesti käytetyllä valmisbetonin tiheydellä, joka on 2400 kg/m^3 . Tästä saatu kilogrammatulos saatiin muutettua tonneiksi.

Ylijäämäbetonin määrä koko Suomessa on noin 200 000 tonnia vuosittain, joka vastaa kahta prosenttia betonin tuotannossa. Pirkanmaan ylijäämäbetonin määrän arvioinnissa oletettiin, että Pirkanmaa käyttäytyy identtisesti koko Suomeen verrattuna. Näin ollen valmistuneiden rakennusten betonirunkojen tonnimäärän kertominen kahdella prosentilla raportoi, että Pirkanmaalla syntyi talonrakentamisessa noin 13 100 tonnia ylijäämäbetonia vuonna 2021.

Koko laskutaulukko löytyy liitteestä 1.

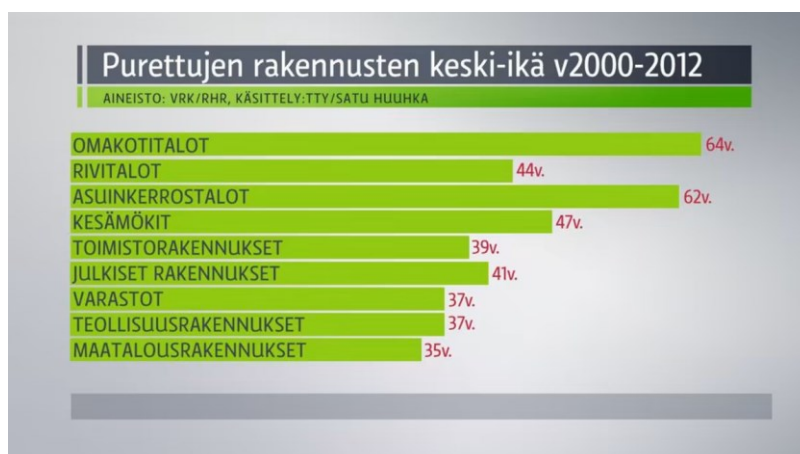
6.2 Arvio purkubetonin määrästä

Tässä osiossa arvioidaan purkubetonin määrää vuositason Pirkanmaalla. Tarkasteluvuodeksi on otettu vuosi 2021, jotta saataisiin tulokset samalta vuodelta ylijäämäbetonin kanssa. Ylijäämäbetonin tapaan tarkastelussa on vain talonrakentamisen (purku- ja korjaustyöt) ohessa syntynyt betonijäte, eikä esimerkiksi siltarakentamisen ohessa syntynyttä purkubetonijätettä ole huomioitu.

Purkubetonin määrän laskentaan kehitettiin myös laskukaavoja, sillä purkubetonin määrää vuositason ei löydetty kirjallisuusselvityksellä. Laskuissa on hyödynnetty ylijäämäbetonin laskennassa käytettyä ominaislukutekniikkaa, sekä laskettua Pirkanmaan talonrakentamisen osuutta. Purkubetonin määrän laskemista varten on saatu käyttöön:

- ReNewFin rakennuskantamalli (Vihola, Heljo, Nippala 2021), josta on tähän tutkimukseen otettu käyttöön vuoden 2021 rakennusten kerrosalat ja rakennuspoistumat talotyypeittäin
- Tuomas 52 (Lehtinen, Rintanen 1982), josta on saatu käyttöön rakennusaineiden osuudet talotyypeittäin ja ikäluokittain (julkaisematon)
- EKOREM malli (Nippala, Heljo 2005), josta on saatu käyttöön kerroskorkeudet talotyypeittäin ja ikäluokittain (julkaisematon).

Purkubetonin määrän laskeminen aloitettiin rakennuksien tilaavuuksien laskennalla, jotka saatiin kertomalla kerrosala ja kerroskorkeus. Koska kerroskorkeus vaihtelee riippuen siitä, minä vuosikymmenenä rakennus on rakennettu, käytettiin apuna Kuvio 2:n mukaisia rakennusten keski-ikä.



KUVIO 2: Purettujen rakennusten keski-ikä (Palomaa & Hynnä 2015)

Betonirunkoisten rakennuksien osuus kaikista talotyypeistä saatiin laskettua käyttämällä Tuomas 52 taulukoita. Tuomas 52 taulukoissa on raportoitu talotyyppien rungon rakennusaineiden osuudet tietyltä tarkasteluvuodelta. Betonirunkoisten rakennusten osuudet saatiin selvitettyä jakamalla betonirunkoisten rakennuksien kuutiomäärät rakennusten yhteiskuutiomäärällä (sisältää kaikki rakennusaineet). Tämän jälkeen tulos kerrottiin jo lasketulla Pirkanmaan talonrakentamisen osuudella. Ylijäämäbetonin tapaan seuraavaksi käytettiin ominaislukutekniikkaa, jolla saatiin pelkät betonirunkojen tilavuudet erilleen rakennusten tilavuuksista.

Koska lopullinen purkubetonin määrän tulos haluttiin myös ilmoittaa tonneina, betonirungon osuudeksi saadut kuutiometrit kerrottiin yleisesti käytetyllä raudoitettun betonin tiheydellä, joka on 2500 kg/m^3 . Tästä saatu kilogrammatulos saatiin muutettua tonneiksi.

Seuraavaksi tonnimäärä kerrottiin purettujen rakennusten osuudella. Purettujen rakennusten osuutena on käytetty ReNewFin rakennuskantamallista saatua rakennuspoistumaa. Poistuma vaihtelee talotyypeittäin. Virallisesti rakennuspoistuma koostuu pitkälti rakennusten purkamisista, mutta siihen sisältyy myös esimerkiksi rakennusten tuhoutuminen. Poistuman implikointi raportoi, että Pirkanmaalla syntyi noin 254 000 tonnia purkubetonia vuonna 2021.

Koko laskutaulukko löytyy liitteestä 2.

6.3 Kierrätyskustannukset

Betonimateriaalin kierrätyskustannuksissa oleellisia tekijöitä ovat mm. betonin määrä, kierrätystoimien työmäärä ja käsittelykustannukset, mutta merkittävimmät kustannuserät tulevat kuljetuskustannuksista. Kuljetustoimet koskevat pääasiassa työmaalla syntyvää purkubetonia, sekä valujen ohessa syntyvää ylijäämäbetonia, eikä niinkään betonitehtaalla syntyvää ylijäämäbetonia. Betonitehtaalla syntyvä ylijäämäbetoni voidaan usein kierrättää jo tehtaalla, ja näin ollen ei ylimääräisiä kuljetuksia tarvita. Tietyissä tapauksissa ylijäämäbetoni saataan viedä toiselle betonituotantopaikalle (Heilä 2011).

Kuljetuskustannuksissa oleellisinta ovat kuljetusmatkat betonijätteen syntypaikan (purkutyömaa, valut yms.) ja betonin vastaanottokeskuksen, tai jäteaseman välillä. Tietyissä tapauksissa betonijäte voidaan käsitellä jo työmaalla, joten tällöin tarkastellaan kuljetusmatkaa työmaan ja betonijätteen hyödyntämiskohteen (esim. maarakennuskohde) välillä.

Pienkuorma betonijätettä voidaan viedä jäteasemalle, mutta isompi kuorma pitää viedä jätekeskukseen. Pirkanmaalla kaikissa kunnissa paitsi Juupajoella, on jäteasema tai jätekeskus. Jäteasemia on tiheämmin, sillä ainoat Pirkanmaan jätekeskukset sijaitsevat Nokialla ja Tampereella (Pirkanmaan Jätehuolto Oy n.d.). Näin ollen pienkuorma betonia on helppo ja halpa viedä oman kunnan jäteasemalle. Betonin vastaanottokeskukset sijaitsevat pitkälti Tampereella ja sen sivukunnissa, mutta yksittäisiä keskuksia sijaitsee myös muualla Pirkanmaalla.

Opinnäytetyöhön on saatu käyttöön julkaisematon tiedote Pirkanmaan ELY-keskuksen kirjaamolta sähköpostin välityksellä. Tiedote raportoi kunnittain, kuinka monta purkamislupapäätöstä Pirkanmaalla on annettu vuosina 2021 ja 2022. Tiedotteen perusteella vuositason yli puolet Pirkanmaan rakennusten purkamisista tapahtuu Tampereella ja suurin osa lopuista purkamisista tapahtuu Tampereen sivukunnissa. Miltei jokaisessa Pirkanmaan kunnassa on saatu lupa/lupia purkaa rakennuksia molempina vuosina. Tiedote ei kuitenkaan kerro purettavien rakennusten rungon rakennusaineita, joten jää epäselväksi onko purettavat rakennukset betonirunkoisia. Ylijäämäbetonia syntyy lähtökohtaisesti jokaisessa Pirkanmaan kunnassa uudistuotannossa valujen ohessa.

Pirkanmaan purkubetonijätteen kuljetuskustannukset voidaan kokonaisuudessaan olettaa olevan melko pieniä, sillä rakennusten purkamiset tapahtuvat pääasiassa Tampereella ja sen sivukunnissa, ja koska jäteasemat, sekä betonin vastaanottokeskukset sijaitsevat pitkälti samoissa kunnissa. Ylijäämäbetonin kuljetuskustannukset saattavat suhteessa olla suurempia, sillä ylijäämäbetonia syntyy lähtökohtaisesti jokaisessa Pirkanmaan kunnassa betonivalujen ohessa. Mutta koska ylijäämäbetonin volyymit ovat pieniä, voivat kuljetuskustannukset olla pieniä, jos ylijäämäbetoni viedään oman kunnan jäteasemalle.

Yhden kuorma-auton täysperävaunuyhdistelmään mahtuu noin 50 tonnia betonia (Helpinen 2020). Opinnäytetyössä lasketut Pirkanmaalla vuonna 2021 syntyneet ylijäämäbetonit vaatisivat näin ollen noin 262 kuormaa, ja purkubetonit noin 5079 kuormaa.

7 TULOSEN TARKASTELU

Pirkanmaan betonijätteen määrän arvioinnissa saadut tulokset ovat suuntaa antavia. Laskukaavoissa on käytetty pitkälti tarkasteluvuosien ajalta laskettuja keskiarvoja, sillä tuoretta tarkkaa dataa (jätemäärät, purettujen/valmistuneiden betonirakennusten kuutiomäärät) ei ole saatu käyttöön. Tämän lisäksi tarkastelussa on ollut vain talonrakentamisen ohessa syntynyt betonijäte, eikä esimerkiksi siltarakentamisen ohessa syntynyt betonijäte.

Pirkanmaan purkubetonin määrän arvioinnissa saatu 254 000 tonnin vuositulos vaikuttaa suuruusluokaltaan oikealta. Kokonaisuudessaan Suomessa syntyy kaksi miljoonaa tonnia betonijätettä vuosittain, josta puolet syntyy Uudellamaalla (Helpinen 2020). Pirkanmaalla on Uudenmaan tapaan monta kiivaasti kasvavaa aluetta, joten betonijätettä syntyy paljon. Ei ole saatavilla tilastoa, joka vertaisi maakuntien osuutta purkurakentamiseen, joten tarkkaa vertailua on vaikea tehdä. Purkurakentaminen ei ole myöskään suoraan verrannollinen osuuksiltaan talonrakentamiseen, joten niitä ei voi verrata.

Pirkanmaan ylijäämäbetonin määrän arvioinnissa saatu 13 100 tonnin vuositulos vaikuttaa tarkalta, sillä koko Suomen ylijäämäbetonin vuosiarvio on noin 200 000 tonnia. Pirkanmaan osuus koko Suomen vuosittaisesta ylijäämäbetonimäärästä olisi näin ollen noin 6,5 %. Kun tätä lukua vertaa opinnäytetyössä laskettuun Pirkanmaan 8,9 % osuuteen koko Suomen talonrakentamisesta, väliin jää muutama prosentti (Pirkanmaan talonrakentamisen osuuden tarkasteluvuosien tulokset suhteessa koko maahan vaihtelivat noin 7,5–11,5 % välillä. 8,9 % on tarkasteluvuosien keskiarvo.). Pirkanmaan ylijäämäbetonin määrän arvioinnissa ei kuitenkaan otettu huomioon vuositasolla pienempiä ylijäämäbetonin lähteitä, kuten betonin tuotantoa, tai siltarakentamista. Jos näiden lähteiden ylijäämäbetonimäärät laskettaisiin vielä tulokseen, oletettaisiin sen hiukan kasvavan.

Ylijäämä- ja purkubetonin määrä olisi käytännössä mahdollista jakaa vielä pienempiin osiin, jos oletettaisiin, että Pirkanmaa käyttäytyy identtisesti verrattuna

koko Suomen kierrätystoimiin. Betonien määrät voisi kertoa betonin keskimääräisellä 80 % kierrätysasteella, ja määrästä katoaisi viidesosan verran 'kierrättämättöntä betonia'.

8 POHDINTA

8.1 Tulosten yhteenveto

Teoriaosuudesta tuloksena saatiin kattava paketti kierrätettävästä betonimateriaalista, joka käsittelee niin käytettyä betonimateriaalia, kuin käyttämätöntä betonimateriaalia.

Pirkanmaalla vuonna 2021 syntyneen jätebetonin määräarvion laskennassa saatu ylijäämäbetonin 13 100 tonnin tulos, sekä purkubetonin 254 000 tonnin tulos ovat suuruusluokaltaan oikeita, kun niitä vertaa koko Suomen jätebetonin määriin. Kuljetuskustannuksista tuloksena saatiin teoreettinen arvio, sillä määrälliseen arvioon ei tarvittavaa dataa löytynyt. Teoreettisen arvion mukaan kuljetuskustannukset koskevat pitkälti Tamperetta ja sen sivukuntia, eikä niinkään koko Pirkanmaata.

8.2 Suositukset

Betonin kiertotalouden ylläpito on tärkeää, sillä siitä hyödytään ekologisesti, taloudellisesti, sekä laadullisesti. Kannustan siis alan toimijoita rohkeasti yhteistyöhön, jotta saataisiin kaikki hyödyt irti.

Kannustan myös aktiivisempaan ja kattavampaan tilastonlaadintaan. Purettujen ja valmistuneiden rakennusten rakennusaineet, kuutiometrimäärät sekä maantieteelliset sijainnit ovat aina dokumentoitu. Näistä ominaisuuksista voisi pitää vuositilastoa kunta- tai maakuntatasolla.

8.3 Jatkotutkimus-ehdotukset

Jatkotutkimukseksi ehdotan Pirkanmaan betonijättemäärien tarkempaa tarkastelua. Jos käyttöön saataisi tarkkoja kuutiometrimääriä Pirkanmaan kuntien valmistuneista ja puretuista betonirunkoisista rakennuksista viimevuosilta, saataisiin

laskettua erittäin tarkat betonijätearviot. Tämän jälkeen olisi myös helpompi selvittää tarkempia kierrätyskustannuksia Pirkanmaan alueella.

LÄHTEET

Aalto University. 2021. Opinnäytteen rakenne: kirjallisuustutkimus. Verkkoaineisto. Viitattu 3.4.2023. <https://my-courses.aalto.fi/mod/book/view.php?id=688064&chapterid=5302&lang=fi>

Betonimurske. n.d. Betonimurske Gles Rock. Verkkosivu. Viitattu 4.2.2023. <https://betonimurske.fi/seulontapalvelut/>

Betoniteollisuus. n.d.a Kiertotalous toimii. Verkkosivu. Viitattu 5.2.2023. <https://betoni.com/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/>

Betoniteollisuus. n.d.b Betonirakenteet kierrätetään. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2023. <https://betoni.com/perustietopaketti/ekologisuus/purettavuus-ja-uusiokaytto/>

Betonitieto. n.d. AVCP-luokka. Verkkosivu. Viitattu 1.3.2023. <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/avcp-luokka.html>

Forsman, J. & Dettenborn, T. 2019. Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa. Verkkoaineisto. Viitattu 20.2.2023. <https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>

Heilä, S. 2010. Betoni säästää ympäristöä ja luonnonvaroja. Ammattilehden artikkeli. Viitattu 1.2.2023. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/08/Betoni-saastaa-ymparistoa-ja-luonnonvaroja.pdf>

Heilä, S. 2011. Betoniteollisuus kohti suljettua kiertoa. Ammattilehden artikkeli. Viitattu 9.2.2023. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1102_s42-45.pdf

Helpinen, V. 2020. Betonijäte halutaan uusiotuotteeksi. Yle uutiset 15.12.2020. Viitattu 5.3.2023. <https://yle.fi/a/3-11685567>

Lehtinen, E., Rintanen, R. 1982. Tuomas 52. Rakennustalouden laboratorio. VTT. Viitattu 4.5.2023. julkaisematon.

Lehtonen, K. 2018. Betonimurskeohje. Verkkoaineisto. Viitattu 20.2.2023. <https://www.hollola.fi/library/files/5bf3db79c91058178e000689/Betonimurske-ohje.pdf>

Lehtonen, K. 2019. Purkubetonista betonikiviainesta pienbetonituotteiden valmistukseen. Verkkoaineisto. Viitattu 17.2.2023. https://www.lahti.fi/uploads/2022/04/e7ac71f0-selvitys_purkubetoni-betonikiviaineksena_ytekki.pdf

Nippala, E., Heljo, J., 2005. Tampereen yliopisto. EKOREM malli. VTT. Viitattu 28.4.2023. julkaisematon

Palomaa, A. & Hynnä, J. 2015. Tutkijat selvittivät yli 50 000 puretun talon taustoja – toimistorakennukset jyrätään asuintaloja uudempina. Yle uutiset 2.4.2015. Viitattu 29.4.2023. <https://yle.fi/a/3-7902786>

Pirkanmaan ELY-keskuksen kirjaamo. 2023. Sähköpostiviesti. Viitattu 21.4.2023. julkaisematon.

Pirkanmaan Jätehuolto Oy. n.d. Jäteasemat ja jätekeskukset. Verkkosivu. Viitattu 20.4.2023. <https://pjhoy.fi/palvelut/jatteiden-vastaanotto/jateasemat/>

Rudus. n.d. Betoroc-betonimurskeen jätestatus poistui. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2023. <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>

Smedlund, I. 2019. Betonimurskeen käyttö. Verkkoaineisto. Viitattu 10.2.2023. <https://www.vasek.fi/assets/Files/Kiertotalous/Betonimurskeen-kaytto-Kasi-kirja.pdf>

Tilastokeskus. 2014. Rakentaminen ja asuminen vuosikirja 2013. Viitattu 15.4.2023. <https://www.doria.fi/handle/10024/184111>

Tilastokeskus. 2022. Suomen tilastollinen vuosikirja 2022. Viitattu 15.4.2023. <https://www.doria.fi/handle/10024/186220>

Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 16.6.2022/466. Viitattu 6.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220466>

Tukes. n.d. CE-merkittävät rakennustuotteet. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2023. <https://tukes.fi/rakennustuotteet/ce-merkittavat-rakennustuotteet>

Tuni. 2021. Rakentamisen kiertotalouden TKI-verkosto. Verkkoaineisto. Viitattu 5.1.2023. <https://projects.tuni.fi/uploads/2021/12/6765fd4a-ratki-esittely-nettisivut.pdf>

Vihola, J., Heljo J., Nippala, E. 2021. Tampereen yliopisto, QuantiSTOCK las-kentamalli. Viitattu 25.4.2023.

Liite 2. Arvio purkubetonin määrästä Pirkanmaalla vuonna 2021

ARVIO PURKUBETONIN MÄÄRÄSTÄ PIRKANMAALLA VUONNA 2021						
Betonikuutioiden osuus rakennuskuutioista	0,2					
Raudoitetun betonin tiheys, kg/m3	2500					
Keskiarvo Pirkanmaan talonrakentamisen osuudesta koko Suomeen	8,86	% eli	0,088621884			
		Bet. Rak. Osuus, k-m2			Bet. Rak. Osuus, k-m2	
ASUINKERROSTALOT				KOKOONTUMISRAKENNUKSET		
Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	102819267	99298566		Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	10521188	6049919
Rakennuksien kerroskorkeus, m	3,43			Rakennuksien kerroskorkeus, m	4,92	
Rakennuksien poistuma	0,007			Rakennuksien poistuma	0,007	
Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	340594082			Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	29765604	
Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	30184089			Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	2637884	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	6036818			Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	527577	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	15092044529			Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	1318941927	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	15092045			Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	1318942	
Purkubetoni, t	105644			Purkubetoni, t	9233	
LIIKERAKENNUKSET				OPETUSRAKENNUKSET		
Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	31505798	19832587		Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	19361224	14385616
Rakennuksien kerroskorkeus, m	4,07			Rakennuksien kerroskorkeus, m	4,43	
Rakennuksien poistuma	0,011			Rakennuksien poistuma	0,007	
Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	80718630			Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	63728281	
Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	7153437			Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	5647720	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	1430687			Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	1129544	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	3576718516			Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	2823860131	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	3576719			Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	2823860,131	
Purkubetoni, t	39344			Purkubetoni, t	19767	
TOIMISTORAKENNUKSET				VARASTORAKENNUKSET		
Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	19755023	11359582		Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	22415851	12889618
Rakennuksien kerroskorkeus, m	4,27			Rakennuksien kerroskorkeus, m	6,41	
Rakennuksien poistuma	0,011			Rakennuksien poistuma	0,007	
Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	48505415			Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	82622450	
Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	4298641			Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	7322157	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	859728,2472			Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	1464431	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	2149320618			Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	3661078583	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	2149321			Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	3661079	
Purkubetoni, t	23643			Purkubetoni, t	25628	
LIIKENTEEN RAKENNUKSET				HOITOALAN RAKENNUKSET		
Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	14443936	4922840		Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	13154752	11144998
Rakennuksien kerroskorkeus, m	3,22			Rakennuksien kerroskorkeus, m	4,1	
Rakennuksien poistuma	0,007			Rakennuksien poistuma	0,007	
Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	15851544			Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	45694493	
Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	1404794			Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	4049532	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	280958,7292			Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	809906	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	702396823			Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	2024766006	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	702397			Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	2024766	
Purkubetoni, t	4917			Purkubetoni, t	14173	
RIVITALOT				PIENTALOT		
Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	35070054	8130159		Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	165818715	3894476
Rakennuksien kerroskorkeus, m	3,11			Rakennuksien kerroskorkeus, m	3	
Rakennuksien poistuma	0,007			Rakennuksien poistuma	0,007	
Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	25284794			Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	11683429	
Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	2240786			Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	1035408	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	448157			Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	207082	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	1120393028			Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	517703758	
Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	1120393			Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	517704	
Purkubetoni, t	7843			Purkubetoni, t	3624	
MUUT RAKENNUKSET						
Rakennuksien kerrosala (koko maa), k-m2	2060412	156000				
Rakennuksien kerroskorkeus, m	3,22					
Rakennuksien poistuma	0,005					
Rakennuksien tilavuus (koko maa), m3	502319					
Rakennuksien tilavuus (Pirkanmaa), m3	44516					
Betonirungon osuus betonirakennuksista, m3	8903					
Betonirungon osuus betonirakennuksista, kg	22258234					
Betonirungon osuus betonirakennuksista, t	22258					
Purkubetoni, t	111					
Vuonna 2021 Pirkanmaalla syntynyt purkubetoni, t	253926					