

# **Esiselvitys kierrätysbetonin käytöstä maakosteassa betonimassassa**

**Raportti 20.12.2021**

LAB University of Applied Sciences

Heikki Vehmas, Lehtori

Opiskelija-assistentit:

Valeriia Diatel

Egor Pronkin

Lhodi Josue Kabasela

Raul Huerta

Ilia Shcherbakov

## Sisällys

1	Esiselvityksen tavoitteet ja tutkimussuunnitelma .....	1
2	Valmistuksen mukaiset reunaehdot .....	2
3	Rakeisuuksien erojen esiselvitys .....	3
4	Suhteitusten ja massojen ominaisuuksien alustava vertailu.....	4
5	Koelaattojen valmistus ja jatkokokeisiin toimitetut laatat .....	6
6	Koelaattojen taivutuslujuuden testaus .....	9
7	Yhteenveto .....	11

## 1 Esiselvityksen tavoitteet ja tutkimussuunnitelma

Tämän esiselvityksen tavoitteena oli selvittää alustavasti kierrätysbetonimurskeen käyttöä tietyssä tuotteessa. Tuotteeksi valikoitui maakosteasta betonista valmistettava pihalaatta (300x300x50).

Tutkimussuunnitelman tavoitteeksi asetettiin tutkia massojen koostumusten eroa tuoreena erilaisilla yhdistelmillä. Tämän lisäksi tavoitteena oli selvittää mitä toimenpiteitä MARA-asetukset täyttävän kierrätysbetonimurskeelle pitää laboratorio-olosuhteissa tehdä, jotta sitä voidaan käyttää runkoaineena tutkimuksissa.

Esiselvitykseen valmistettiin neljä eri massaa:

1.massa valmistettiin CE-merkitystä kiviaineksesta, jonka raekoko oli #0-8. Tätä massaa käytettiin vertailuna muiden massojen koostumukselle.

2.massa valmistettiin kierrätysbetonista (RCA) käyttäen karkeaa seulontaa (#8 mm seulonta karkeamille aineksille), jonka jälkeen lajiteltu aines uunikuivattiin käyttöä varten.

3. massa valmistettiin kuivatusta ja seulotusta kierrätysbetonista siten, että sen raejakauma vastasi 1.massan CE-merkityn kiviaineksen raekokoa.

4. massa valmistettiin kierrätysbetonin (RCA) alkuperäistä raejakaumaa käyttäen niin, että massasta poistettiin hienoaines (#0,25 mm hienompi aines).

Massojen valmistusvaiheessa keskityttiin tuoreen massan erojen arviointiin ja massan käyttäytymisen havainnointiin.

Valmiille kappaleille toteutettiin standardin SFS-EN 1339 liitteen F omaisesti taivutuslujuustesti.

Tämän lisäksi toimitettiin jatkotutkimuksia varten erilliselle tutkimuslaitokselle 3 laattaa jäätymis-sulamistestaukseen sekä kulutuskestävyydestiin.

## 2 Valmistuksen mukaiset reunaehdot

Maakostean betonilaatan valmistusta varten tehtiin tutustumiskäynti pihalaattoja valmistavaan tehtaaseen. Prosessiin tutustumisen ja valmistuksesta käytyjen keskustelujen jälkeen päädyttiin laatat ja massat valmistamaan seuraavin reunaehdoin:

- Vesi-sementtisuhdetavoite massalle 0,4...0,5
- Laattojen tiivistykseen käytetään tärypöytää sekä 100 kg (11 MPa) painetta per laatta tiivistysvaiheessa
- Oleellista on myös, että massa ei ole liian kosteaa, jotta massa ei tartu valmistusmuotteihin.
- Käytettävä sementti: CEM II/A-LL 42,5 R (Finnsementti Oy:n Rapid-sementti)

Lisäksi käynnillä tutustuttiin tärytetyn, tuoreen pihakiven koostumukseen (kuva 1). Tätä koostumusta pyrittiin koe-erien tuoreissa massoissa noudattamaan.



KUVA 1. Tehdasvalmistetun pihakiven koostumus tärytyksen jälkeen

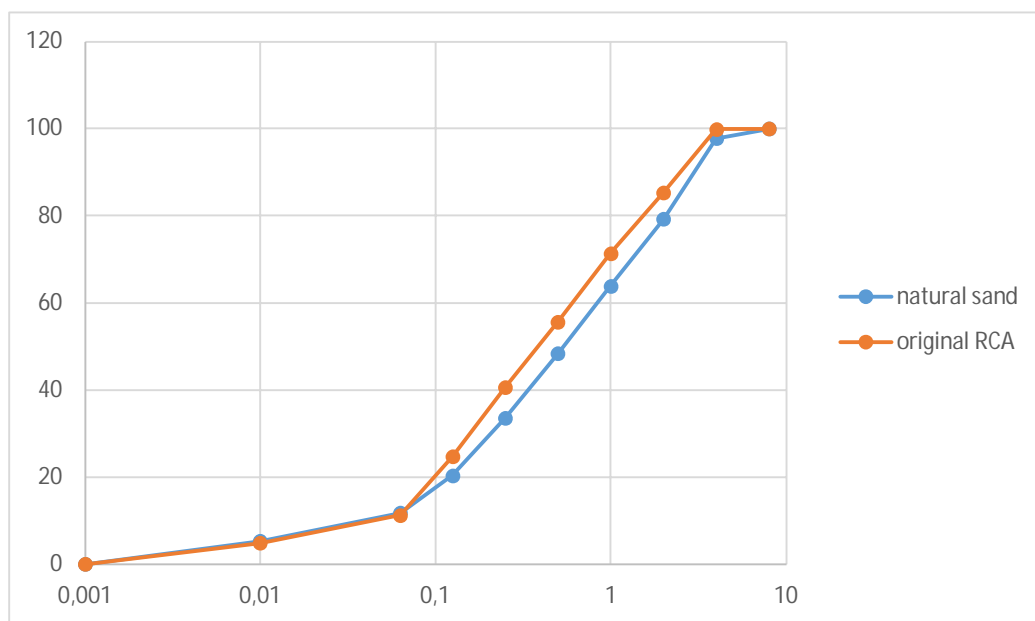
### 3 Rakeisuuksien erojen esiselvitys

CE-merkityn kiviaineksen (natural sand) ja raakaseulotun kierrätysbetonin (RCA) rakeisuuksien erojen selvittämiseksi seulottiin molemmat runkoainekset.

Molemmat kiviainekset seulottiin uunikuivattuna.

Etenkin kierrätysbetonin käsittely oli työlästä, sillä toimitettu materiaali oli kovettunut ja sisälsi runsaasti kosteutta, jolloin seulonta ilman kuivaamista oli käytännössä mahdotonta.

Kuvassa 2 on esitetty CE-merkityn kiviaineksen ja raakaseulotun kierrätysbetonin (original RCA) seulontojen erot (näyttekoko 1000 g).



KUVA 2. CE-merkityn kiviaineksen ja raakaseulotun kierrätysbetonin seulontojen tulokset

Kuten kaaviosta näkyy, oli raakaseulottu kierrätysbetoni koostumukseltaan hyvin lähellä #0...8 CE-merkittyä kiviainesta.

#### 4 Suhteitusten ja massojen ominaisuuksien alustava vertailu

Koostumuksen määrittelyä varten valmistettiin CE-merkitystä runkoaineesta koe-erät käyttäen vesisementtisuhteita 0,4; 0,45 ja 0,5. Näistä koe-eristä parhaiten koossapysyvyydeltään tehtaalla ollutta massaa vastasi 0,45 V/S-suhteen mukaan valmistettu massa (kuva 3).

Tätä massaa pyrittiin myös testaamaan sVB-kokeella, jotta massojen samankaltaisuutta voitaisiin mitata muutoinkin kuin tekemällä muottitestejä, mutta tämä kokeilun perusteella kyseistä testiä ei voi soveltaa maakostean betoniin.



KUVA 3. 0,45 V/S-suhteen massan koossapysyvyys

Pienerästä kokeiltiin myös tiivistää pieneen muottiin koekappale, jolla tärytystä ja tiivistystä pyrittiin testaamaan ennen varsinaisen koemassan valmistamista. Näiden kokeilujen perusteella valittiin käytettäväksi vesi-sementtisuhteeksi 0,45 (Kuvat 4.1 & 4.2).



KUVAT 4.1 & 4.2 0,45 V/S-suhteen pieni koekappale

2. Massan testauksessa sama vesimäärä ei tuottanut riittävän koossapysyvää massaa, joten vesimäärää jouduttiin nostamaan 1,8-kertaiseksi alkuperäisestä. Jotta V/S-suhde pysyisi samana, nostettiin myös sementin määrää samassa suhteessa.

3. Massan testauksessa havaittiin sama ilmiö, mutta vesimäärä oli maltillisempi ollen 1,35-kertainen.

4. massan kohdalla vesimäärää pystyttiin pitämään koostumuksen kannalta lähes samana, jolloin myös sementtimäärä pidettiin samana kuin 1. massassa.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on eritelty tarkemmin eri massojen vesi- ja sementtimäärät sekä käytetyn runkoaineen määrä.

	Sementtiä, grammaa/kg runkoainesta kohti	Runkoaines, kg	kokonaisse- menttimäärä, kg	V/S- suhde	Vettä, ml/kg run- koainesta kohti	Kokonaisvesi- määrä, litroja
s1	225	58	13,05	0,45	101	5,87
s2	400	35	14,00	0,45	180	6,30
s3	300	21	6,30	0,45	135	2,84
s4	225	21	4,73	0,475	107	2,24

TAULUKKO 1. Eri massojen koostumukset

## 5 Koelaattojen valmistus ja jatkokokeisiin toimitetut laatat

Jokaisesta koemassasta valmistettiin 4 koelaattaa. Koelaatat valmistettiin vanerista valmistettuihin 300x300x50 mm kokoihin muotteihin. Massoja tiivistettiin 100 kg paineella tärypöydällä. Massoja tärytettiin 45 sekuntia kutakin laattaa kohti.

Valmistuksen jälkeen laatat peiteltiin muovikalvoilla ja jätettiin kovettumaan 2 vuorokaudeksi ennen purkamista (Kuva 5).



KUVA 5. Valmistettu laatta muotissa

Laattojen valmistusvaiheessa havaittiin, että etenkin kierrätysbetonimassoissa massan palloutuminen sekoitusvaiheessa (pystyakselisekoittajalla) oli runsasta verrattuna CE-merkitystä kiviaineksesta valmistettuun massaan (Kuva 6).



KUVA 6. Palloutunutta massaa valmiissa laatussa



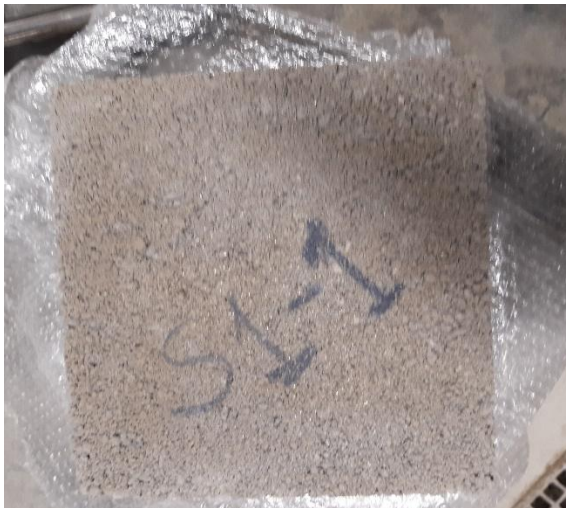
Tämän lisäksi osa 3.massan laatoista oli niin hauraita, että ne hajosivat purkuvaiheessa. Tämän havainnon johdosta päädyttiin siihen, että 3.massan koelaattaa ei ole kannattavaa lähettää jatkotestauksiin.

### **Jatkokäsittelyyn lähetetyt laatat**

Jatkotestausta varten toimitettiin 3 kpl laattoja. Laatat valittiin massoista 1, 2 ja 4.

Laatoille tehdään Contesta Oy:n toimesta sulamis-jäätymisrasitustesti sekä kulutuskestävyystesti. Näiden tulosten raportit Contesta toimittaa erikseen testien päätyttyä.

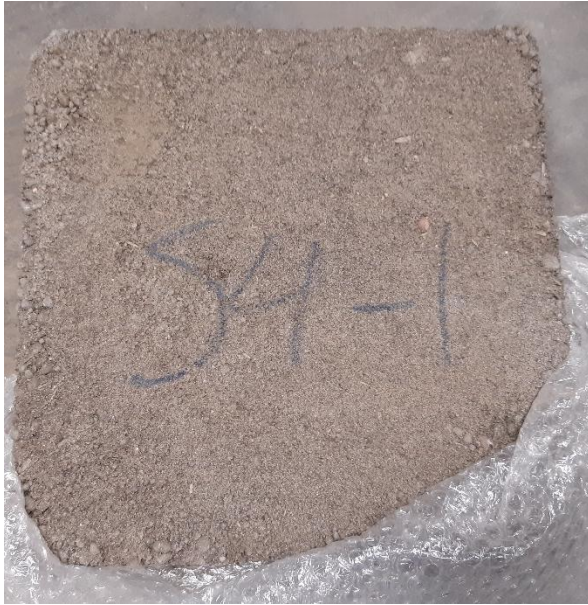
Alla kuvat (Kuvat 7-9) lähetetetyistä laatoista:



KUVA 7. Testilaatta S1-1



KUVA 8. Testilaatta S2-3



KUVA 9. Testilaatta S4-1

## 6 Koelaitojen taivutuslujuuden testaus

Koelaitat testattiin vähintään 10 päivän ikäisinä.

Ennen testausta laatat upotettiin vesisäilytykseen 24 tunniksi. Laatat kuivattiin rätillä ja vietiin suoraan vesisäilytyksestä taivutuslujuuden testaukseen.

Koejärjestelyt toteutettiin SFS-EN 1039 Liite F mukaisesti. Eroavuutena testaukseen oli murtumisen tapahtuminen pääsääntöisesti ennen 30-60 sekunnin määriteltyä aikaikkunaa.

Testauksen järjestelyt on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Testausjärjestelyt

Testausten tulokset on esitetty kaaviossa 2. Kaaviosta havaitaan, että CE-merkitystä runkoaineesta eli 1.massasta tehdyt laatat kestivät eniten kuormitusta.

2.massan laattojen kestävyys oli noin 40 % 1.massasta tehtyjen laattojen kestävyydestä.

4. massan kestävyys oli noin 24 % 1.massan kestävyydestä.

3.massan ainut koeistuskelpoinen laatta antoi periksi jo ennen "esikiristys"vaihetta eli 0,01 kN kuormaa.

Näytteet		Murtokuorma, kN	Keskiarvo
S1	S1-2	2,350	2,749
	S1-3	3,172	
	S1-4	2,726	
S2	S2-1	1,269	1,081
	S2-2	0,705	
	S2-4	1,269	
S3	S3-3	<0,01	
S4	S4-2	0,540	0,646
	S4-3	0,752	

Laattojen taivutuslujuuden testaaminen ei tosin ollut itsetarkoitus tässä esiselvityksessä, vaan toimia ainoastaan suuntaa-antavana testauksena. Testin tarkoituksena oli antaa osviittaa siitä, toimisiko kierrätysbetonissa oleva hienoaines eli vanha sementti mahdollisesti reaktiivisena, lisäten lujuutta massassa.

## 7 Yhteenveto

Yllä mainittujen ja koelaattojen teon yhteydessä havaittiin seuraavia asioita:

1. Kierrätysbetonin työstäminen seulontavalmiuteen vaati runsaasti työtä ja runkoaineen kuivatuksen. Lisäksi kierrätysbetonissa oli muuta rakennusjätettä mukana kuten puuta, mineraalivillaa, muoveja ja rautanauvoja yms. Nämä voivat isommassa tuotannossa vaikuttaa yksittäisten erien/laattojen laadun heikkenemiseen.
2. Kierrätysbetonista tehtyjen laattojen pinta oli heikompileatuista kuin CE-merkitystä kiviaineksesta tehtyjen laattojen.
3. Pystyakselimyllyllä sekoitettaessa kierrätysbetonista tehty betonimassa palloutui enemmän kuin CE-merkitystä kiviaineksesta valmistettu massa.
4. Kierrätysbetonia käytettäessä vesimääriä piti lisätä, jolloin myös sementin kulutus oli suurempaa. Tästä huolimatta laattojen lujuus jäi CE-merkitystä kiviaineksesta tehdyn massan alle.
5. Kierrätysbetonista tehtyjen massojen keskinäisessä vertailussa raakaseulonnalla tehty massa oli parempaa kuin muut. Heikoimmat tulokset saatiin massasta, joka vastasi CE-merkityn kiviaineksen raejakamaa. Hienoaineksen vähentäminen paransi tuloksia ja myös vähensi lisäveden tarvetta.

Havaintojen pohjalta voidaan todeta, että kierrätysbetonista on mahdollista toteuttaa massan työstettävyyden ja koossapysyvyyden kannalta toimivia massoja. Lujuus ja kestävyys sen sijaan vaativat jatkotestausta ja jatkokehitystä.

Kierrätysbetonin käsittely ennen sen käyttöä runkoaineena vaati laboratoriossa runsaasti toimenpiteitä. Näiden toimenpiteiden laajamittainen ja tehokas hyödyntäminen on avainasemassa, jos mietitään kokonaan kierrätysbetonista valmistettuja pihalaattoja.

Hienoaineksen vähentäminen paransi massojen lujuutta. Oletuksena siis vaikka lujittumista vanhassa murskatussa betonissa tapahtuu, ei se vaikuta tässä esiselvityksessä saatujen tulosten perusteella merkittävästi lujuuskehitykseen alkuvaiheessa. Tätä tulisi kuitenkin tutkia vielä tarkemmin.

Kierrätysbetonin sisältämät muut rakennusjätteet voivat haitata prosessia, ja jos näitä ei saada prosessissa poistettua, tulisi niiden määrä saada ainakin vakiinnutettua.

## **Jatkotoimenpiteet ja jatkokehitys**

Jatkotoimenpiteinä saatujen havaintojen perusteella, tässä esiselvityksessä jatketaan testaamalla kierrätysbetonista seulotun hienoaineksen reaktiivisuutta veden kanssa.

Lisäksi tehdään myös ns. rakennebetonin reseptiikalla koekappaleita, jotka voidaan testata betonin lujuusluokitteluun tarkoitetulla puristimella. Näin pystytään vesimäärää lisäämään massassa, eikä esim. hydrataatioreaktioon osallistuva vesi ”lopu” kesken.

Jatkokehityksen kannalta reseptejä on syytä kehittää eteenpäin ja pyrkiä laatimaan tietyn lujuustason mukaisia laattoja, jotka kuitenkin soveltuisivat tehdasvalmistukseen. On syytä ottaa kokeiluun ja reseptin kehittämiseen mukaan mahdolliset lisäaineet. Etenkin notkistimella voi olla positiivisia vaikutuksia massan tiivistymiselle ja näin ollen lujuudelle.

Esiselvityksestä jäi hyvin kierrätysbetonista valmiiksi seulottuja raekokoja jatkokehittämiseen ja tarkasteluun. Sillä tämä erottelu ja seulomisprosessi oli työläin vaihe koko esiselvityksessä ja vie eniten resursseja.

Jatkokehityksessä onkin syytä harkita, josko eri raekokoja tulisi pyrkiä analysoimaan koostumuksen yms. kautta.

LAPPEENRANNASSA 20.12.2021

*Heikki Vehmas*

Heikki Vehmas, Lehtori

LAB Ammattikorkeakoulu