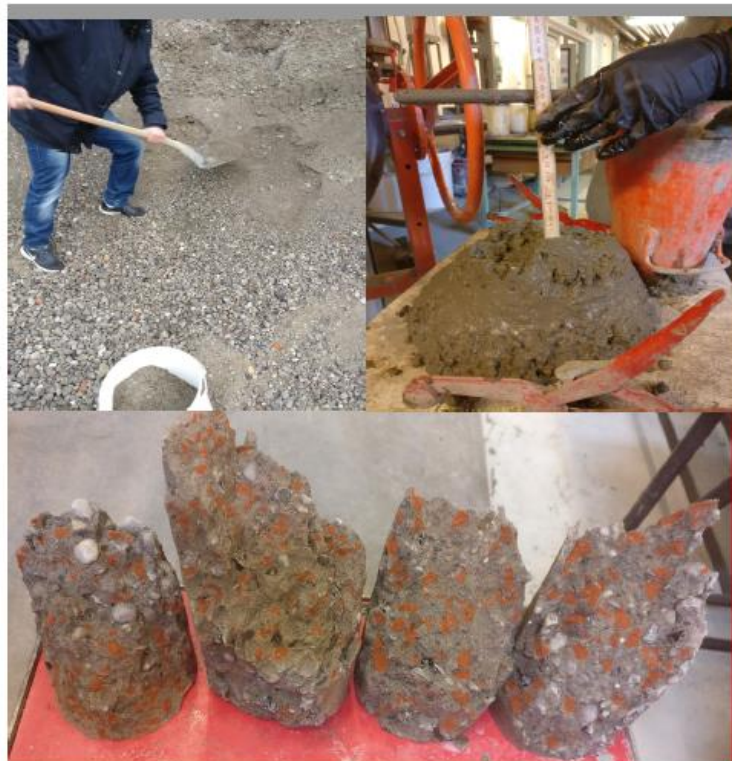


Egenskaber for beton med recirkulerede betonaggregater



Anders Friis Heiberg – s133841
Jonas Eilenberger Pollas – s132205

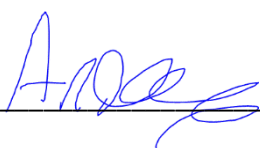
BEng

Department of Civil Engineering
2017

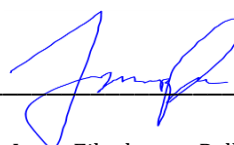
DTU Civil Engineering
Juni 2017

Titelblad

Titel dansk	Egenskaber for beton med recirkulerede betonaggregater
Titel Engelsk	Properties of recycled aggregate concrete
ECTS point	20
Sideantal	72
Afleveringsdato	d. 22 juni 2017
Uddannelse	Diplomingeniør - bygning
Uddannelsessted	DTU, Danmarks Tekniske Universitet 2800 Kongens Lyngby, Danmark
Forfatter	Anders Friis Heiberg s133841 Jonas Eilenberger Pollas s132205
Vejledere	Lisbeth M. Ottosen & Gunvor Marie Kirkelund



Anders Friis Heiberg



Jonas Eilenberger Pollas

Forord

Denne opgave er et afgangsprøveprojekt på diplomingeniør byggeri uddannelsen. Projektet svarer til 20 ECTS-point og er udarbejdet i perioden 1. februar – 22. juni 2017 med Lisbeth Ottosen og Gunvor Kirkelund som vejleder.

Emnet der er undersøgt, er hvilke egenskaber der fås i beton ved at erstatte konventionelt tilslag med nedknust beton fra Gladsaxe, Tobaksbyen. Målgruppen er studerende og undervisere på DTU.

Der skal lyde en stor tak til:

Lisbeth M. Ottosen, Gunvor Marie Kirkelund, Ebba Schnell, Malene Grønvold, Jacob Grigoncza & Benjamin Ebbert der i forbindelse med projektet af har hjulpet til.

Sammenfatning

I udlandet anvendes nedknust beton, som tilslag i ny beton i større udstrækning end i Danmark. Det bruges generelt til ubundet bærelag til vejkonstruktioner. Hvis betontilslaget i konventionel beton, kan erstattes delvist af nedknust beton, i stedet for at udgrave nyt grus fra grusgrave, kan der hentes besparelser i udslip af CO₂.

Indledningsvist er der indhentet nedknust beton fra Søborg. Her blev der foretaget en karakteristik af den nedknuste beton, hvor der er foretaget en sigteanalyse af den nedknuste beton. Kornkurven af aggregaterne viser at en større del af prøven ligger i intervallet [8 - 64 mm], altså en ikke velgraderet prøve. Kornstørrelse mellem [0 - 2 mm] er analyseret ved laser og er fint velsorteret.

Indholdet af cementen blev testet ved at lave en syreoplukning af genbrugsaggregaterne. Cementindholdet på kornstørrelsen [4 - 8 mm] har i gennemsnit 5,07 %, og kornstørrelsen [8 - 16mm] et indhold på 3,97%. Mængden af cement har indflydelse på mængden af tilsat vand og styrken af den støbte genbrugsbeton. Dette kan skyldes at cementen ikke er færdig med at hærde og derfor vil hærde, videre i genbrugsbetonen.

Vandindholdet af den nedknuste beton ligger på 0,6% for [4 - 8 mm], og 0,5% for [8 - 16 mm]. Det undersøges også hvor meget vand der suges indtil vandmætning. Her sugede kornstørrelsen [4 - 8 mm] 6,03 % vand og [8 - 16 mm], 4,98% vand. Disse vandmængder påvirker V/C-forholdet og bearbejdigheden af genbrugsbetonen.

Prøverne blev støbt for at teste bearbejdighed, trykstyrke, porøsitet og densitet af betonen. Genbrugsbeton med tegl blev støbt for at undersøge fremmedlegemers indflydelse på genbrugsbetonen. Der bliver støbt A-prøver og B-prøver. A-prøver er betoncylindre med V/C = 0,5 og B-prøver er betoncylindre med V/C = 0,6.

Der er foretaget sætmålsprøver. Prøver med tør genbrugsbeton har lavt sætmål og derfor svært at støbe. Denne tørre beton skal vibreres ekstra, hvilket gør det besværligt at arbejde med. A1 havde en sætmål på 10 mm hvilket er lavt. Ved de vandmættede aggregater blev bearbejdigheden bedre, da flydesætmålet kom op på 50 mm.

Endvidere er der undersøgt sætmål for genbrugsbeton med tegl. Her har mængden af tegl stor indflydelse på resultatet. Genbrugsbeton hvor vandmættet tilslag [4-8mm] er erstattet med 30% vandmættet tegl flyder 100 mm og 90% flyder 150 mm. Dette skyldes at den vandmættede tegl indeholder mere vand grundet tegl porøsitet. Lignende resultater er fundet for tilslag [8-16 mm]

Trykstyrken for genbrugsbetonen og for referencebetonen, var er ikke signifikant forskellige fra hinanden ved V/C-forhold ved 7 dages hærdningen. Referencebetonen havde en trykstyrke på 30,0 MPa. A1 og A1 (V) var henholdsvis -6,0% og -7,1% svagere i trykstyrken i forhold til referencen. Derimod var prøverne A2 og A2 (V) hhv. 2,3% og 4,8% stærkere end referencebetonen. A1 og A2 havde en højere spredning, som antageligt skyldes teglstykkerne ved brudlinjen. Afvigelserne fra referencebetonen er signifikant større ved B-prøverne. Referencen havde ved V/C = 0,6 en trykstyrke på 27,4 MPa. B1 og B1 (V) afvigere hhv. -24,9% og -32,2% fra referencebeton. B2 og B2 (V) afvigere hhv. -26,0% og -35,8% fra referencebeton. Det ses at V/C-forholdet har en påvirkning på trykstyrken. Ved 28 dages prøvningen havde referencen en trykstyrke på 38,5 MPa. A1_{28 dage} (V) var -8,8 % svagere end referencebetonen, mens A2_{28 dage} (V) var 1,6 % stærkere end referencebetonen.

Genbrugsbeton med tegl havde en lavere trykstyrke end den konventionel beton. Erstatning af 30%, 60% og 90% af hhv. [4 - 8 mm] og [8 - 16 mm] af genbrugsaggregaterne, i støbning med tegl var der ikke nogle indikationer på at tegl svækkede betonen ved trykprøvning. Tegls indflydelse på betonen gjorde trykstyrken svagere i tilfælde hvor tegl var i brudlinjen. Tegl påvirkede densitet og porøsiteten grundet tegls højere porøsitet.

Porøsiteten og densiteten er blevet undersøgt af 2 cm. tykke skiver skåret ud fra toppen, midten og bunden af betonen. Fra undersøgelsen er der fundet ud af at den nedknuste beton havde svært ved fordele sig rundt i betonen. Der er ikke noget entydigt svar hvor på betonen er mest porøst, og hvor densiteten er størst. Undersøgelsen viser dog at genbrugsbetonen er mere porøst, tabelværdien for beton med V/C = 0,5 er 10%, hvor genbrugsbetonen ligger mellem 13% og 18%. Densiteten på genbrugsbetonen ligger derved generelt en smule under tabelværdien 2400 kg/m^3 Laveste densitet måling viser 2306 kg/m^3 og højeste ligger på 2419 kg/m^3 .

Tegls indflydelse på porøsitet og densiteten viser samme tendenser. Genbrugsaggregaterne har svært ved fordele sig rundt. Teglen har haft indflydelse på porøsiteten. Porøsiteten kommer op og rammer 21% på nogen prøver. Den højere porøsitet giver også lavere densiteter. Laveste densitet er fundet til 1787 kg/m^3 .

Konventionelt tilslag har samme anvendelsesmuligheder som konventionelt tilslag med erstattet genbrugsbeton, hvis der sørges for at sortere fremmedlegemer væk og altså minimere inkonsistensen. Indeværende undersøgelse viser at genbrugsbetonen godt kan anvendes i moderat miljøklasse (m)

Abstract

Crushed concrete is used as a deposit in new concrete to a greater extent abroad than in Denmark. It is generally used for unbound bearings for road constructions. If concrete aggregates in conventional concrete can be just partially replaced by crushed concrete instead of digging new gravel from gravel pits CO₂ emission can be reduced.

The concrete has been obtained from Søborg. The characteristics of the crushed concrete was afterwards defined together with a sieve analysis. The grain basket of the aggregates shows that a larger part of the sample is in the range of [8 - 64 mm], ie a not well-sorted sample. Grain size between [0 - 2 mm] is analyzed by laser and is well-sorted.

The content of the cement was tested by acidification of the recycled aggregates. Cement content of the grain size [4 - 8 mm] has an average of 5.07% and the grain size [8 - 16mm] a content of 3.97%. The amount of cement has an influence on the amount of added water and the strength of cast recycled concrete. This might be due to the fact that the cement is not ready to cure and therefore will cure further in the recycled cement.

The water content of the crushed concrete is 0.6% for [4 - 8 mm] and 0.51% for [8-16 mm]. It is also examined how much water is absorbed before water saturation. Here the grain size [4 - 8 mm] absorbed 6.03% water and [8-16 mm] 4.98% water. These amounts of water affect the W/C ratio and the workability of the recycled concrete.

Samples were cast to test workability, compressive strength, porosity and density of the concrete. Same tests were performed with concrete casted with clay bricks. The concrete with clay bricks was cast to examine the contaminants influence on the recycled concrete.

Slump tests have been made. Samples with dry recycled concrete have low slump which makes it hard to cast. This dry concrete demands extra vibration which makes it difficult to work with. A1 had a slump of 10 mm which is low. In the water saturated aggregates, the workability improved as the slump reached 50 mm.

In addition, slump for recycled concrete with clay bricks has been examined. The amount of brick has a great influence. Recycled concrete with water saturated attachment [4-8mm] is replaced with 30% water saturated clay bricks 100 mm and 90% floats 150 mm on slump test. This is because the water saturated clay bricks contain more water due to their higher porosity. Similar results found for aggregates [8-16 mm].

The compressive strength for the recycled concrete and the reference concrete were not significantly different from each other at W/C ratios 0,6 at 7 days cure. The reference concrete had a compressive strength of 30.0 MPa. A1 and A1 (W) were respectively -6.0% and -7.1% weaker in compressive strength relative to the reference. A2 and A2 (W) samples were respectively 2.3% and 4.8% stronger than the reference concrete. The A1 and A2 have had a higher dispersion, probably due to samples with bricks in the fracture lines. The deviations from reference concrete are significantly greater in the B samples. The reference at W/C = 0.6 had a compressive strength of 27.4 MPa. B1 and B1 (W) differed respectively -24.9% and -32.2% from reference concrete. B2 and B2 (W) differed respectively -26.0% and -35.8% from reference concrete. It became clear that the W/C ratio has an influence on the compressive strength. For 28 days, the reference had a compressive strength of 38.5 MPa.

A1 28 days (W) were -8.8% weaker than the reference concrete whereas A2 28 days (W) were 1.6% stronger than the reference concrete.

Recycled concrete with bricks had lower compressive strength than conventional concrete. Substitution of 30%, 60% and 90% respectively of [4 - 8 mm] and [8 - 16 mm] of recycled aggregates in brick casting showed no indications on bricks weakening the concrete more or less under pressure despite the substituted amount. Clay bricks influence pressure in cases where bricks were in the fracture line. Clay bricks affected density and porosity due to the higher porosity of the bricks.

Porosity and density was examined by 2 cm thick slices cut from the top, middle and bottom of the concrete. The tests showed that crushed concrete has difficulty packing evenly in the concrete. There are no unambiguous results regarding the concrete cast with highest porosity and greatest density. However, the study shows that recycled concrete is more porous, the table value for the concrete is 10%, the recycled concrete is between 13% and 18%. The density of the recycled concrete is generally slightly below the table value of 2400 kg/m³. The lowest density measurement shows 2306 kg/m³ and the highest is 2419 kg/m³.

The influence of bricks on porosity and density shows the same tendencies. Recycled units have difficulty packing evenly in concrete. The bricks have an impact on porosity. Porosity rises and hits 21% in some samples. Higher porosity also gives lower densities. The lowest density was found at 1787 kg/m³.

Conventional enrichment has the same usability with or without crushed concrete when contaminants are removed to reduce inconsistencies. In the examines it has been found that it is possible to use recycled concrete in moderate environment class (m).

Indholdsfortegnelse

Titelblad	1
Forord	2
Sammenfatning	3
Abstract	5
Indholdsfortegnelse.....	7
Tabeller	9
Figurer.....	9
1 Indledning	11
1.1.0 Forklaring af forkortelser	12
2 Teori.....	13
2.1.0 Beton	13
2.1.1 Vand/cement-forhold.....	13
2.1.2 Tilslag.....	14
2.1.3 Cement	14
2.1.4 Trykstyrke	14
2.1.5 Porøsitet	16
2.1.6 Densitet	17
2.2 Tegl	17
4. Eksperimentelt arbejde	18
4.1.0 Anskaffelse af genbrugsaggregater	19
4.2.0 Karakteristik af genbrugsaggregater	19
4.2.1 Sigtning af genbrugsaggregater.....	19
4.2.2 Tørring af genbrugsaggregater	20
4.2.3 Sigtekurve	20
4.2.9.1 Laseranalyse	20
4.2.4 Vandindhold af genbrugsaggregater.....	20
4.2.5 Ringknusning af genbrugsbeton	21
4.2.6 Syreoplukning af genbrugsaggregater.....	21
4.3.0 Karakteristik af tegl.....	22
4.3.1 Knusning af tegl	22
<i>Figur 9: Knusning og sigtning af tegl.</i>	22
4.3.2 Kapillarsugning af tegl	22
4.4.0 Støbning og prøvning af beton	23

4.4.1 Støbning af beton	23
4.4.2 Ryste vand af vandmættede aggregater og vandmættet tegl	25
4.4.3 Sætmål	25
4.4.4 Luftindhold	25
4.4.5 Trykprøvning af betoncylindre	26
4.4.6 Porøsitet og densitet	26
5 Observationer	27
6 Resultater og diskussion	28
I følgende afsnit, vil resultaterne blive opstillet, samt blive diskuteret.	28
6.1.0 Karakteristik af genbrugsaggregater	28
6.1.1 Kornkurve	28
6.1.2 Cementindhold	29
6.1.3 Vandindhold	30
6.2.0 Karakteristik af genbrugsbeton	30
6.2.1 Sætmål og luftindhold	30
6.2.2 Trykprøvning for 7 dage	32
6.2.3 Trykprøvning for 28 dage	34
6.2.4 Porøsitet og densitet	35
6.3 Delkonklusion for genbrugsbeton	36
6.4.0 Karakteristik af tegl.....	37
6.4.1 Kapillarsugning	37
6.5.0 Karakteristik af genbrugsbeton med tegl	38
6.5.1 Sætmål	38
6.5.2 Trykprøvning med tegl i beton	38
6.5.4 Porøsitet og densitet af genbrugsbeton med tegl	40
6.5.3 Delkonklusion for genbrugsbeton med tegl	41
7. General diskussion og videre undersøgelse	41
8 konklusion.....	42
9 Referencer	43
10 Bilag	46

Tabeller

#	Tabelnavn	Side
1	Beskrivelse af forkortelser.....	12
2	K -værdier og α -konstanter for cement.....	15
3	Styrkeklasser for konstruktionstyper værdier iht. DS 481.....	15
4	Oversigt over gennemførte forsøg.....	18
5	Støberecept for referencebeton og genbrugsbeton.....	23
6	Støberecept for med genbrugsaggregater erstattet med hhv. 30 %, 60 % og 90 % tegl	24
7	Gennemsnitligt cementindhold af aggregatstørrelse 4-8 mm og 8-16 mm.....	29
8	Vandindhold i genbrugsaggregater.....	30
9	Sætmål for støberecepter ved 7 døgns hærkning med $V/C = 0,5$	30
10	Sætmål for støberecepter ved 7 døgns hærkning med $V/C = 0,6$	31
11	Sætmål for støberecepter med tegl ved 7 døgns hærkning med $V/C = 0,5$	38

Figurer

#	Figurnavn	Side
1	Trykstyrke for beton med forskellige V/C-forhold med Bolomeys formel.....	13
2	Skematisk fremstilling af faserne i et tørt, porøst materiale.....	16
3	Dynger af genbrugsaggregater i Søborg samt indsamling af betonaggregater.....	19
4	Sigtning af aggregater. Affald i genbrugsaggregater. Efter skylning.....	19
5	Aggregater efter skylning. Aggregaterne i tørreovn. Tørreovnen.....	20
6	Genbrugsaggregater i kornstørrelser. Laseranalyse i laboratorium.....	20
7	Ringknuseren. Ringskål med ring og aggregater. Pulveriseret genbrugsaggregater.....	21
8	Bægerglas med salpetersyre, HNO_3 og betonpulver. Filtrering i kolbe. Filter i petriskål.	21
9	Knusning og sigtning af tegl.....	22
10	Teglsten i vandbakke med destilleret vand.....	22
11	Material sammensætning af støbte betoncylindere uden tegl.....	23
12	Material sammensætning af støbte betoncylindere med tegl.....	24
13	Rystning af vandmættede genbrugsaggregater for at få overskydende vand væk.....	25

#	Figurnavn	Side
14	Blanding af tilslag i mixer. Våd beton. Slumtest med ny beton.....	25
15	Toppene skæres af beholder og forme. Måling af luftindhold. Opbevaring af cylindrerne	25
16	Cylinder i trykmaskinen. Vægt, højde, diameter og trykhastighed indtastet. Brudfigur.	26
17	Tørring af skåret beton. Betonskiver i eksikator	26
18	Affaldsrester fra genbrugsbeton. Våd betonmixer	27
19	Beton med ujævnheder. Cylindre med træplade for at kompensere ujævnheder	27
20	Kornstørrelsefordeling.....	28
21 a)	Trykprøveresultater efter 7 døgn ved $V/C = 0,5$	32
21 b)	Trykprøveresultater efter 7 døgn ved $V/C = 0,6$	32
22	Brudfigurer fra trykstyrketest. Teglstykker i brudlinjerne på brudfigurer	33
23	Trykprøveresultater efter 28 døgn ved $V/C = 0,5$	34
24	Porøsitet af A1 (V) og A2 (V).....	35
25	Tørdensitet af A1 (V).....	36
26	Kapillarsugning af tegl.....	37
27	Trykprøveresultater med tegl for A1 og A2 ved $V/C = 0,5$ ved 7 dage.....	38
28	Brudfigurer fra venstre A2 90 %, A1 30 %, A1 90 %, A2 60 % og A1 30 %.....	39
29	Betoncylindre med tegl efter trykprøvning.....	39
30	Porøsitet A1 (V) tegl.....	40
31	Porøsitet A2 (V) tegl.....	40
32	Tørdensitet A1 (V) med tegl og A2 (V) med tegl.....	41

1 Indledning

Beton er verdens mest anvendte byggemateriale, og der bliver gennemsnitligt produceret 2 tons beton pr. menneske om året - dertil vil der komme miljømæssige udfordringer. Fremstilling af beton udleder 5-10 % af det samlede CO₂ udslip om året, hvor CO₂-emissionen fra cementproduktionen udgør ca. 5 % [Hansen et al, 2012].

Beton udgør samtidigt en stor andel af affaldet i byggebranchen i Danmark. Betonaffaldet i Danmark i 2015 udgjorde 25 % af det samlede affald fra den danske byggebranche. Mængden svarer til 1061 tons betonaffald [Miljøstyrelsen 2017]. Det skønnes at det kun er 50% betonaffald der bliver registreret. Af det registreret betonaffald, bliver 90% af det genanvendt i dag. Det bliver brugt til ubundne bærerlag til vejkonstruktioner, hvor betonen erstatter stabilgrusmateriale. I udlandet er genbrugsbeton mere udbredt. Her anvendes genbrugsbetonen, hovedsageligt som tilslag i ny beton.

Der er sjældent kendskab til kvaliteten af betonaffaldet, da der bliver ikke holdt styr på hvor betonaffaldet kommer fra. Det skyldes at der er bunker med betonaffald, hvor beton med høj styrke, bliver blandet sammen med beton af en lavere styrke. [Miljøstyrelsen 2015].

Det synes interessant, at undersøge om man kan anvende genbrugsbetonen som tilslag i ny beton istedet for i dag kun at benytte, stabilgrus til vejkonstruktioner. Hvis det er muligt at erstatte konventionelt tilslag med tilslag af nedknust beton, kunne man gøre betonen mere bæredygtig, og antageligvis nedsætte CO₂-udslippet.
















I denne afhandling er der undersøgt en nedknust lys beton fra Tobaksbyen i Gladsaxe. Betonen er nedknust fra søjler, dæk og drager fra en tilbygning, af house of Prince. Til dette projekt, består denne rapport, som en del af en projektfamilie, bestående af 3 grupper. Hver gruppe har arbejde og undersøgt hver deres beton, som stammer fra forskellige bygninger.

Projekt er inddelt i to dele. Formålet med første del, består i at prøve at se om man kan støbe med den nedknuste beton ved at erstatte tilslaget i henholdsvis 4-8 mm og 8-16 mm. Til dette vil blive undersøgt bearbejdeligheden, karakteristik af selve den nedknuste beton, og styrken af betonen, samt densiteten og porøsiteten af betonen.

Formålet med anden del, skiller sig ud fra de andre projekt familier. Der vil blive undersøgt fremmedlegemer som tegls indflydelse af betonen. Det syntes interessant, da tidligere resultater kunne se en sammenhæng mellem fremmedlegemer, og næsten ren genbrugsbeton. Der erstattet 30%, 60% og 90% af genbrugsaggregaterne som betontilslag med tegl. Her vil genbrugsbetonen testes om styrken, vil variere mere eller forblive ved samme styrke som foregående støbt beton. Endvidere vil der undersøges for om teglen har en større indflydelse på porøsiteten og densiteten.

1.1.0 Forklaring af forkortelser

Tabel 1: Beskrivelse af forkortelser

Forkortelse	Beskrivelse	Farvekode
Genbrugs- aggregater	Nedknust beton fra Søborg, (<i>House of Prince</i>)	
V/C	Vand cement forhold	
Gns.	Gennemsnit	
Ref.	Referenceprøve. Beton med jomfruelige aggregater	
A1	Prøver med grove genbrugsaggregater [8 -16 mm] ved V/C = 0,5	
A2	Prøver med fine genbrugsaggregater [4 - 8 mm] ved V/C = 0,5	
B1	Prøver med grove genbrugsaggregater [8 -16 mm] ved V/C = 0,6	
B2	Prøver med fine genbrugsaggregater [4 - 8 mm] ved V/C = 0,6	
(V)	Med vandmættede aggregater	
A1 (V)	Prøver med fine vandmættede genbrugsaggregater [4 - 8 mm]	
A2 (V)	Prøver med grove vandmættede genbrugsaggregater [8 - 16 mm]	
B1 (V)	Prøver med fine vandmættede genbrugsaggregater [4 - 8 mm]	
B2 (V)	Prøver med fine vandmættede genbrugsaggregater [8 - 16 mm]	
A1 (V) 30 %	Prøver med fine vandmættede genbrugsaggregater [4 - 8 mm] hvor 30 % af genbrugsaggregaterne erstattes af fine tegl [4 - 8 mm].	
A1 (V) 60 %	Prøver med fine vandmættede genbrugsaggregater [4 - 8 mm] hvor 60 % af genbrugsaggregaterne erstattes af fine tegl [4 - 8 mm].	
A1 (V) 90 %	Prøver med fine vandmættede genbrugsaggregater [4 - 8 mm] hvor 90 % af genbrugsaggregaterne erstattes af fine tegl [4 - 8 mm].	
A2 (V) 30 %	Prøver med grove vandmættede genbrugsaggregater [8 - 16 mm] hvor 30 % af genbrugsaggregaterne erstattes af grove tegl [8 - 16 mm].	
A2 (V) 60 %	Prøver med grove vandmættede genbrugsaggregater [8 - 16 mm] hvor 60 % af genbrugsaggregaterne erstattes af grove tegl [8 - 16 mm].	
A2 (V) 90 %	Prøver med grove vandmættede genbrugsaggregater [8 - 16 mm] hvor 90 % af genbrugsaggregaterne erstattes af fine tegl [8 - 16 mm].	
A1 (V) _{7dage} 30 %	Prøver ved 7 dages hærkning	
A1 _{28 dage} (V)	Prøver ved 28 dages hærkning	

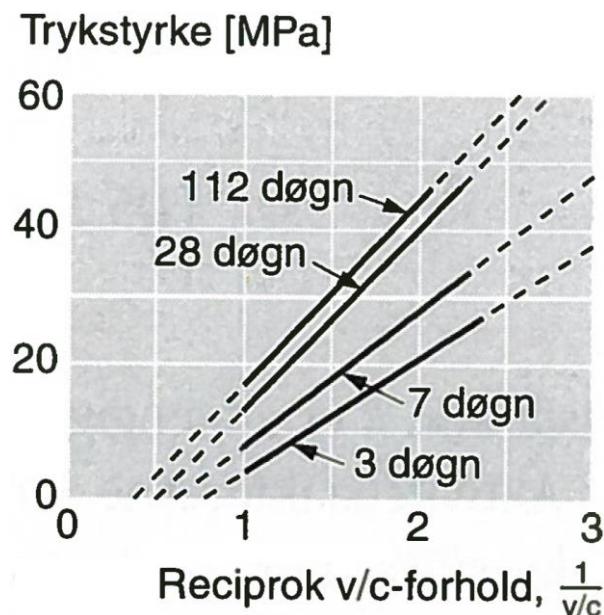
2 Teori

2.1.0 Beton

Beton er det mest anvendte byggemateriale i verden. Det er på grund af den lave pris, formbarheden og betonens egenskaber når den er hærdet. Beton består af 3 ting; vand, cement og aggregater som tilslag. Tilslag er en blanding mellem sten og sand. Det er cementen kombineret med vandet, der generere betonens styrke og binder det sammen (hydratiserer). Cementen er den dyreste del, hvilket derfor er en af grundene til man tilsætter sten og sand. Beton kan både anvendes alene eller i kombination med stål, bl.a. fordi de to materialer har omtrent samme varmeudvidelseskoefficient [Hansen et al, 2012].

2.1.1 Vand/cement-forhold

Vand/cement-forhold også betegnet som V/C, er en vigtig faktor for støbning af beton. V/C-forholdet er mål for hvor mange kg vand der pr. kg cement er brugt. Dette er vigtig for bearbejdigheden af betonen. Bearbejdigheden måles ud fra en sætmålsprøve. For lavt V/C-forhold giver en tør og dårlig bearbejdelig beton, men en højere styrke. Et højt V/C-forhold giver en våd beton - en for våd beton er også svær at arbejde med, da den kan flyde meget og derfor være svær at samle. Ifølge [Aalborg Portland, 2014] er lav bearbejdighed defineret som værende under 4 mm i sætmål og høj bearbejdighed defineret som over 100 mm i sætmål. Ydermere giver højt V/C-forhold lavere styrke. Forholdet mellem vand/cement-forholdet og styrken kan ses i figur 1. Figur 1 tager udgangspunkt i Bolomeys teori, som nævnes i afsnit 2.1.4 – Styrke.



Figur 1: Betonens trykstyrke med forskellige V/C-forhold med Bolomeys formel [Hansen et al, 2012]

2.1.2 Tilslag

Blandingen af sand og sten er defineret som tilslag. Tilslaget i beton udgør 75 % af betonens volumen. Der ønskes så stor en andel tilslag som muligt, da dette normalt ville give en billigere, stærkere samt mere holdbar beton. Alt efter hvad betonen anvendes til, skal der tages hensyn til valget af tilslag. Dette er grundet tilslaget forskellige mekaniske egenskaber. Disse egenskaber er densitet, temperaturbetinget egenskaber, ødelæggende bestanddele, holdbarhed og i armeret beton, skal størrelse af tilslaget være at armeringsstængerne kan komme igennem betonen. Der skelnes mellem 3 typer tilslag; bakkematerialer, sømaterialer og skærver. Det inddeles i 3 fraktioner. 4-8 mm (perlesten) 8-16 mm (ærtesten) 16-32 mm (nøddesten) [Hansen et al, 2012]. Sammensætningen af tilslag sker ofte på baggrund af erfaringsmæssige kornkurver, for det samlede tilslag, eftersom at dette har stor betydning for betonens pakningsgrad. Et blandet tilslag bestående af afrundede korn, som kan pakkes bedre end et ensformigt tilslag med kantede korn. Dette er en af grundene til, at sømaterialerne er foretrukket frem for andre typer tilslag. Grundet fare for frostskeer og alkaliskelreaktioner, bor porøst flint undgås i alle miljøklasser. Alkalireaktivitet er en betegnelse for de ekspansive reaktioner, der kan forekomme mellem alkalier (natrium og kalium) og reaktivt kisel. Kiselen (porøst flint) vil blive opløst i det stærkt basiske miljø i betonen, og reagere med alkalierne, hvorved der vil dannes en gel. Denne gel kan afhængigt af forholdene udvide sig, og danne et indre tryk i betonen, som med tiden ødelægger både tilslaget og cementpastaen. For at alkaliskelreaktionen kan finde sted, kræver det at der er vand tilstede, og at der sker en transport af dette frem til de reaktive partikler [Aalborg Portland – 2014].

2.1.3 Cement

Cement er som nævnt et hydraulisk mørtel stof. Dvs. det hærder når der tilsættes vand. Portlandcemenen er den mest almindeligste type. Råmaterialerne er kalkbjergarter, ler, kvartsand og gips. Cemenen er et uorganisk bindemiddel som består af oxider: calciumoxid, siliciumoxid, aluminiumoxid og jernoxid [Hansen et al, 2012].

2.1.4 Trykstyrke

Betonen er svag i træk og stærk i tryk. Beton armeres med armeringsjern for at kunne tage trækkærter. Beton er ca. 1/10 svagere i træk end i tryk [Hansen et al, 2012]. Trykstyrken for et givent materiale regnes i enheden MPa og er defineret ved ligning (1):

$$f_c = \frac{\text{maximal tryklast inden areal vinkelret på lastretningen}}{A_0} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad (1)$$

[Gottfredsen & Nielsen, 2015]

Hvor:

f_c = Trykstyrken

P_{\max} = Maximal tryklast før brud

A_0 = Areal vinkelret på lastretningen

En styrkeklasse fortæller hvor meget tryk, betonen kan modstå efter 28 døgn. Renselag/klaplæg kræves der kun styrker på 8 MPa, hvorimod husbygningskonstruktioner skal have styrke på 25 MPa. Erfaringsmæssigt kan styrken af beton med $0,45 < V/C < 1,25$ og luftindhold på 1,5-2 % beskrives med Bolomeys formel:

$$f_c = K \cdot \left(\frac{1}{V/C} - \alpha \right) \quad (2)$$

[Hansen et al, 2012]

Hvor:

K = Betonkonstant med danske cementer og- tilslag som er hærdet ved 20 °C i 28 dage.

α = Konstant, der afhænger af cementen og terminen.

Disse konstanter er erfaringstal i forhold til hvilken cementtype der bliver brugt. Disse værdier er givet i Aalborg Portlands katalog cement:

Tabel 2: Værdier for K og α -konstanter [Aalborg Portland – 2014]

Cementtype	Termin (døgn)	K	α
Basis cement	1	17	0,9
	7	26	0,6
	28	30	0,5
Rapid	1	13	0,9
	7	24	0,6
	28	30	0,5
Lavalkali sulfatbestandig cement	1	5	0,8
	7	19	0,8
	28	29	0,7
Aalborg white	1	14	1,0
	7	28	0,8
	28	35	0,7
Basis Aalborg cement	1	13	1,0
	7	24	0,7
	28	29	0,6

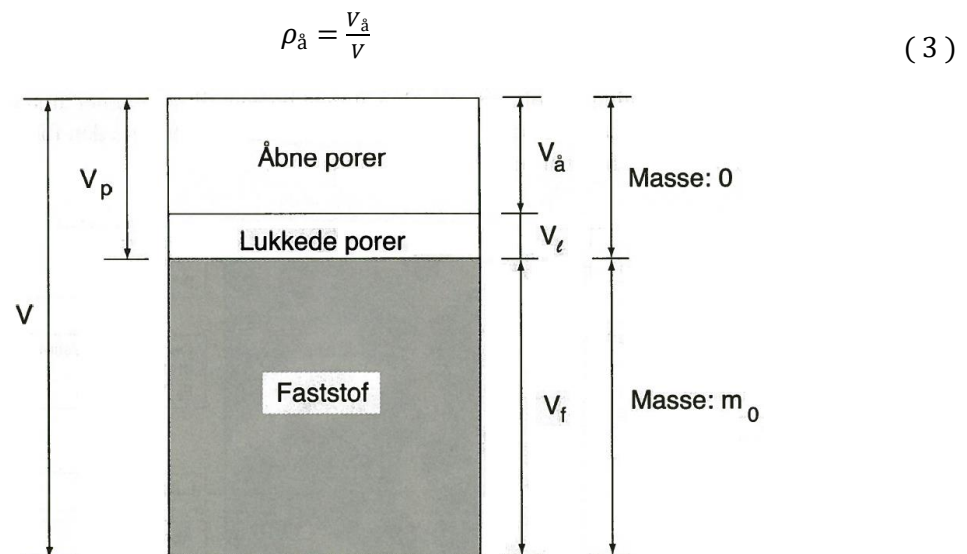
Derudover inddeles beton i miljøklasser. Dette er for at sikre kravene til betonen i det givende miljø. Der er således forskel på om det står i havvand (ekstra aggressivt miljø), eller om det står i tørt miljø, samt skal bruges indendørs (passiv miljø)

Tabel 3: Styrkeklasser for konstruktionstyper værdier iht. DS 481 [DS 481, Forelæsningsnote kursus: 11765 og 11946, DTU]

Miljøklasser i jf. DS 481	Konstruktionstype	Styrkeklasse (28 døgn)	V/C (max)	Dæklæg
Ekstra aggressiv miljøklasse (E):	Havvandskonstruktioner	40 MPa	0,40	40 mm
Aggressiv miljøklasse (A):	Funderingspæle, tunnelkonstruktioner	35 MPa	0,45	30 mm
Moderat miljøklasse (M):	Husbygningskonstruktioner	25 MPa	0,55	20 mm
Passiv miljøklasse (P):	Indendørs armeret beton i tørt miljø	12 MPa	-	10 mm

2.1.5 Porøsitet

Porøsitet er defineret, som porevolumen i forhold til totalvolumen. Nedstående figur 2 illustrere hvordan volumenerne og porerne defineres ved (3):



Figur 2: Schematisk fremstilling af faserne i et tørt, porøst materiale [Gottfredsen og Nielsen -2015]

Hvor:

V er det totale volumen.

V_f er volumen af faststof og M_0 er tørmassen.

V_a er volumen af åbne porer.

V_l er volumen af lukkede porer.

V_p er volumen af åbne porer og lukkede porer. Hvor massen af $V_p = 0$

Porøsiteten har stor indflydelse på betonens egenskaber - jo mindre porøsitet jo højere styrke. Ved højere porøsitet, kan vand nemmere transporteres igennem betonen, og dermed give lavere styrke.

2.1.6 Densitet

Densitet for et materiale er defineret som massen pr. volumenenhed. Her skelner man mellem materialets tilstand. Faststoffdensiteten er densiteten af faststoffet uden nogen porer.

$$\rho_f = \frac{m_0}{V_f} \quad (4)$$

Tilsyneladende tørdensitet: Densitet med både åbne og lukkede porer.

$$\rho_d = \frac{m_0}{V} \quad (5)$$

Når densiteten stiger falder porøsiteten, derved har materialet en sammenhæng mellem disse to faktorer. [Gottfredsen og Nielsen 2015].

2.2 Tegl

Tegl er som beton, også et meget anvendt bygningsmateriale I Danmark er 95 % af alle facade på familiehuse, lavet af tegl. [Forelæsningsnote fra kursus: 11765 og 11946, DTU] Tegl består af ler, dernæst tilsættes sand, kalk, knust tegl og savsmuld, for at give en bedre bearbejdelighed og for at mindske svindet. Tegl har en forholdsvis lav densitet. Tegls tørdensitet ligger mellem 1400 – 1800 kg/m³, hvorimod beton ligger på beton, som ligger 1900-2450 kg/m³. Ydermere er tegl et porøst materiale. Tegls porøsitet ligger mellem 30-50%. Derfor skal tegl frostsikres. Frostskeer i tegl, hvis vandet i porerne udvides 9%. Derfor jo højere brændingstemperatur tegl bliver produceret i, jo højere bliver dens densitet. Hermed sænkes porøsiteten, samt det er med til at frostsikre teglene. [Hansen et al, 2012].

4. Eksperimentelt arbejde

I dette afsnit beskrives eksperimentelt arbejde, der ligger til grund for rapportens resultater. Nedenstående tabel viser en oversigt over gennemførte forsøg, samt metoder og vejledninger.

Tabel 4: Oversigt over gennemførte forsøg

Forsøg	Formål	Forsøgsvejledning
Karakteristik af genbrugsaggeregaterne		
Sigtning af aggregatstørrelser	Sortere størrelser i stentilslag á 4 - 8 mm og 8 - 16 mm.	Afsnit 4.2.1
Tørring af genbrugsaggeregater	Tørring af aggregater	Afsnit 4.2.2
Sigtekurve	Bestemmelse af kornstørrelser af på aggregater	A3 - Sigteanalyse
Lasermåling	Bestemmelse af kornstørrelser i genbrugsaggeregaterne	DS/ISO 13320
Vandindhold	Finde vandindholdet i aggregaterne	DS/EN 1097-5
Ringknusning	Knusning af genbrugsaggeregater 4-8 mm og 8-16 mm	Afsnit 4.2.5
Syreoplukning	Cementmængden på genbrugsaggeregaterne	A1 - Syreoplukning
Karakteristik af tegl		
Knusning af tegl	Knusning af tegl i 4 - 8 mm og 8 - 16 mm.	Afsnit 4.3.2
Kapillarsugning	Overskydende vand fjernes fra vandmættede aggregater	E3 - Kapillarsugning for tegl
Karakteristik af genbrugsbeton		
Støbning af beton	Støbning trykprøvecylindere	DS/EN 12390-2, DS/EN 12390-1
Ryste vand af aggregater	Ryste vand af vandmættede genbrugsaggeregater og vandmættet tegl	Afsnit 4.4.2
Sætmål	Bearbejdigheden af beton	DS/EN 12350-2
Luftindhold	Måle luftindholdet i betonen	DS/EN 12350-7
Trykstyrke	Trykstyrke af de støbte betoncylindre	DS/EN 12390-3, DS/EN 12390-4
Porøsitet og densitet	Bestemme porøsitet og densitet af beton	A2 - Porøsitet og densitet (LBM-standard)

4.1.0 Anskaffelse af genbrugsaggregater

Ved Tobaksbyen i Søborg, blev der indhentet prøver af knust beton. På byggepladsen var 3 store bunker af nedknust beton – hhv. 1 mørk beton- og 2 lyse betonbunker. Det blev besluttet at tage fra den ene af de 2 lyse bunker. Der blev indhentet ca. 150 kg nedknust á 4 omgange. For at få repræsentative prøver af dyngen, blev der indsamlet beton fra så mange forskellige steder som muligt, samt i så mange forskellige størrelse som muligt.



Figur 3 - Til venstre ses to dynger af genbrugsaggregater. Til højre og midtfor ses indsamling af betonaggregater i hvide spande.

Ved indsamling af genbrugsaggregater, blev det bemærket at der var teglstykker (figur 3) og andre materialer.

4.2.0 Karakteristik af genbrugsaggregater

4.2.1 Sigtning af genbrugsaggregater

Der blev sigtet vha. metalsigter for at finde størrelserne fra hhv. 4 – 8 mm. og fra 8 – 16 mm. Således at sten større end 16 mm smides bort og sten mindre end 4 mm smides bort. Andre dele end beton (figur 4 midt) blev så vidt muligt smidt bort. Til sidst blev aggregaterne skyllet med vandslange for at få de sidste sandkorn og rester væk.



Figur 4 - Til venstre ses sigtning af aggregater i metalmaske. Midt er søm, ekspanderet polystyren, glas og tegl. Til højre ses de skyllede genbrugsaggregater i størrelsen $4 \leq 8$ mm.

4.2.2 Tørring af genbrugsaggregater

Efter sigtning af prøverne hentet fra Tobaksbyen i Søborg, blev aggregaterne hældt i ovnplader. Her blev de fordelt jævnt ud.



Figur 5: Til venstre ses aggregater der indeholdte meget vand. Midtfor ses aggregaterne sat ind i tørreovnen. Til højre ses tørreovnen.

Efter prøverne blev fordelt i ovnpladerne, blev pladerne sat ind i tørreovnen (figur 5). Her skulle de stå til tørring i 4 dage ved 50 °C.

4.2.3 Sigtekurve

Der er foretaget sigteanalyse på størrelserne [0 – 2 mm], [2 – 4 mm], [4 – 8 mm], [8 – 16 mm], [16 – 32 mm] og [32 < mm]. Disse er udført vha. metalsigter.



Figur 6: Tv: Genbrugsaggregater delt op i hver størrelse. Th: Laseranalyse i laboratorium.

4.2.9.1 Laseranalyse

For at få et mere præcis inddeling af kornstørrelser fra 0 – 2 mm blev der foretaget en laseranalyse af aggregaterne (figur 6 th.). Standarden [DS/ISO 13320] benyttes.

4.2.4 Vandindhold af genbrugsaggregater

Til bestemmelse af vandindhold benyttes DS/EN 1097-5. For at bestemme vandindholdet af de vandmættede genbrugsaggregater, tørres aggregaterne i ovn ved 105 °C efter skylning.

4.2.5 Ringknusning af genbrugsbeton

For at kunne lave syreoplukning bruges ringknuseren (Figur 7). Dette gør at aggregaterne pulveriseres, så syreoplukningen gøres nemmere. Aggregaterne lægges i skålen, og sættes i maskinen på 30 sek. ved 1100 omdrejninger.



Figur 7: Til venstre ses ringknusermaskinen. Midtfor er metalskål med metalringe og aggregater som indsættes i ringknuseren. Til højre ses ringknuseren som pulveriseres genbrugsaggregaterne.

4.2.6 Syreoplukning af genbrugsaggregater

Syreoplukning er foretaget på baggrund af forsøgsvejledning, bilag A1 – Syreoplukning. Der er taget 4 x 20 g af det knuste genbrugsaggregater i hvert glas, i stedet for 4 x 5 g jf. bilag A1 – Syreoplukning. Syreoplukningen har til formål at bestemme cementindholdet i genbrugsbetonen.



Figur 8: Til venstre: Bægerglas med salpetersyre, HNO_3 og betonpulver. Midtfor: Filtrering i kolbe. Til højre: Filter i petriskål.

4.3.0 Karakteristik af tegl

4.3.1 Knusning af tegl

Teglen støbes i beton for at undersøges dets påvirkning på betonen. Tegl er indhentet fra byggemarked i Glostrup. Teglen er blevet knust først med hammer til grove stykker, hvorefter kæbeknuseren har knust det i finere stykker. Teglen er blevet sigtet i stykker fra 4 - 8 mm. og 8 – 16 mm. (Figur 9).



Figur 9: Knusning og sigtning af tegl.

4.3.2 Kapillarsugning af tegl

Teglen blev undersøgt for kapillarsugning jf. E3 - Kapillarsugning for tegl. Nedenstående figur 10 viser forsøgsopstilling.



Figur 10: Teglsten i vandbakke med destilleret vand.

4.4.0 Støbning og prøvning af beton

Til støbning benyttes [DS/EN 12390-2] og [DS/EN 12390-1].

4.4.1 Støbning af beton

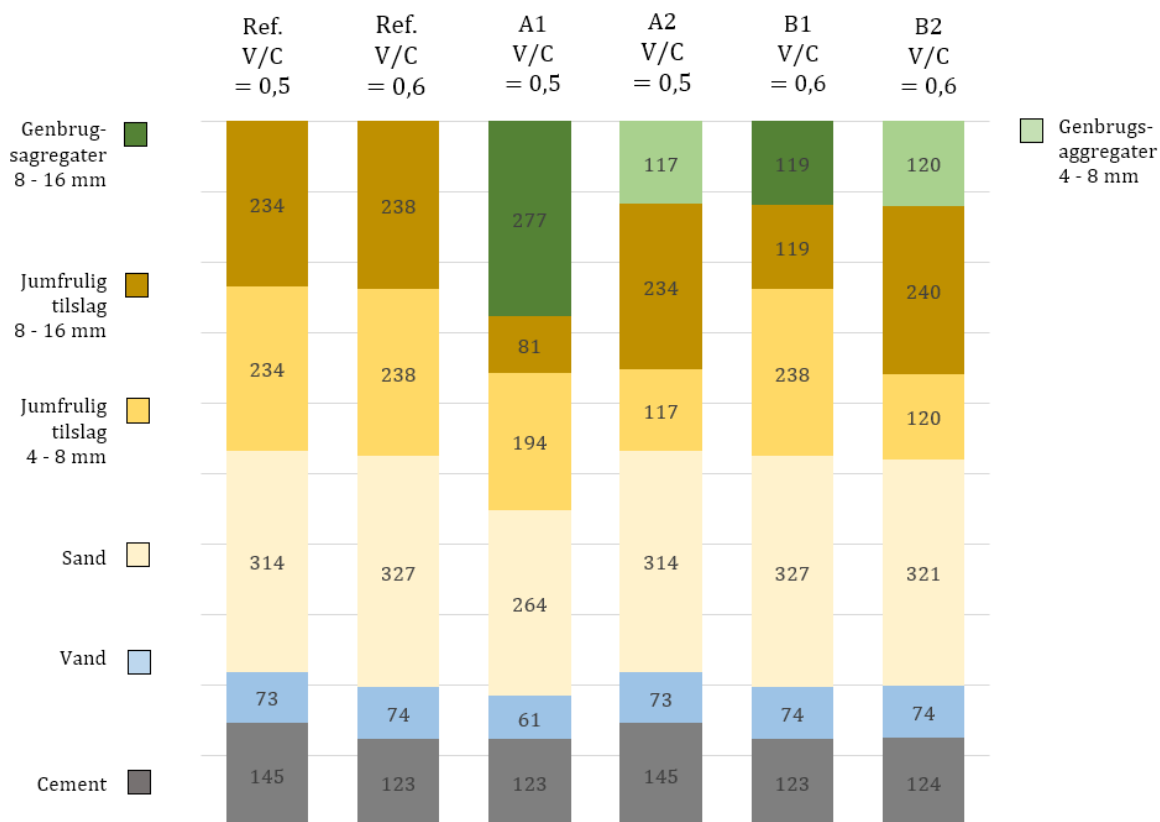
Betonen er støbt efter følgende recept i tabel 5 [Pepe et al, 2016]. Jomfruelige aggregater betegner konventionelt tilslag. I støberecepten anvendes tørre og vanmættede genbrugsaggregater (V). Til forskel fra [Pepe et al, 2016] der benytter CEM I, støbes der med Cement Aalborg Basis (CEM II/A-LL 52,5 N (IS/LA/≤2)), bilag E4 – Cement Basis Aalborg Portland.

Tabel 5: Støberecept for referencebeton og genbrugsbeton.

	V/C	CEM I	Vand	Jomfruelige aggregater			Genbrugsaggregater	
				Sand	Grus-fin 4-8 mm	Grus-grov 8-16 mm	Grus-fin 4-8 mm	Grus-grov 8-16 mm
	[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Ref.	0,5	344	172	742	554	554	-	-
Ref.	0,6	287	172	762	554	554	-	-
A1	0,5	344	172	742	544	227	-	277
A2	0,5	344	172	742	277	554	277	-
B1	0,6	287	172	762	554	277	-	277
B2	0,6	287	172	742	277	554	277	-

Figur 11, viser materialesammensætningen af 1 m³ beton, for det støbte recepter fra tabel 5.

Receptsammensætning af genbrugsbeton for 1m³



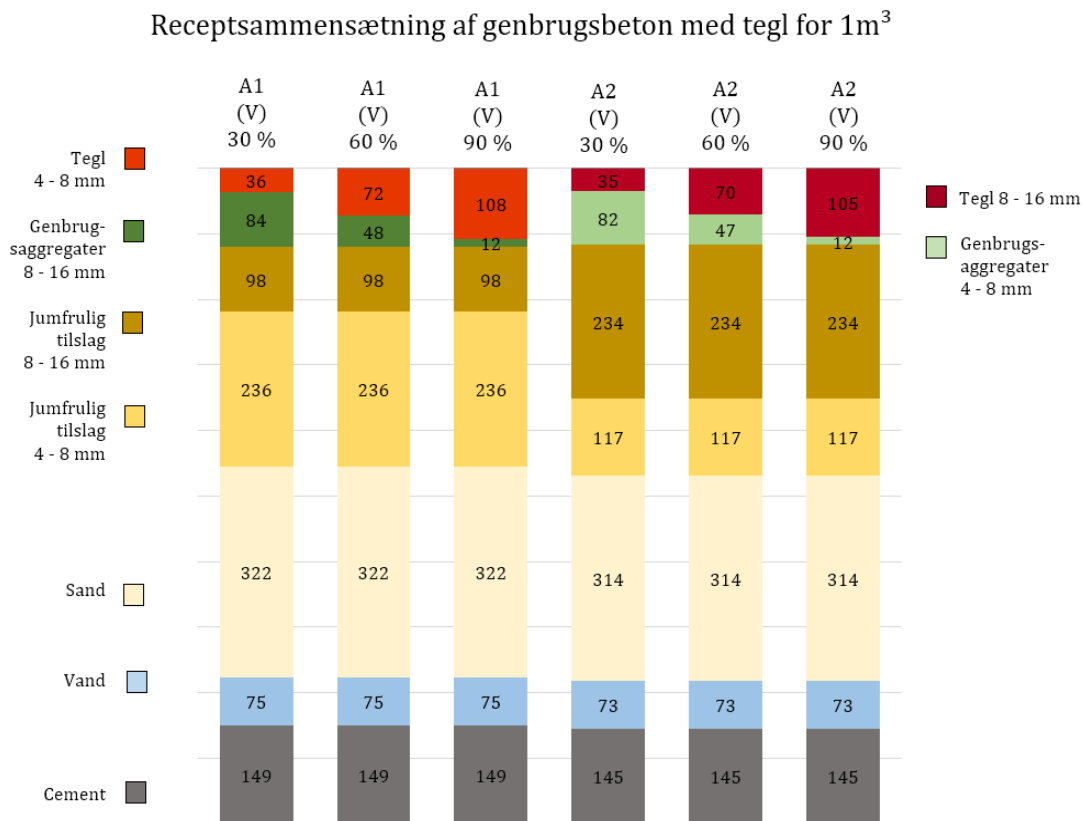
Figur 11 - Materialesammensætning af støbte betoncylindere uden tegl fra tabel 4.

Samme blandinger udføres med vandmættede aggregater [Pepe et al. 2016]. Der bliver også støbt med vandmættet tegl hvor genbrugsaggregaterne bliver erstattes med 30%, 60% og 90% knust tegl. Eksempelvis støbes A1. Her ville 30 % procent af de 4 – 8 mm genbrugsbeton blive erstattes af nedknust tegl. I tabel 6 er det vist hvordan støbningen ville se ud med eksempelvis, A1 vandmættet med 90% tegl. Prøver angivet 30%, 60 % og 90% svarer reelt hhv. til 4,6%, 9,3% og 13,9% af tilslaget.

Tabel 6 - Støberecept for beton med genbrugsaggregater erstattet med hhv. 30 %, 60 % og 90 % tegl.

	Jomfruelige aggregater		Genbrugsaggregater		Tegl				
	CEM I	Vand	Sand	Grus-fin 4-8 mm	Grus-grov 8-16 mm	Grus-fin 4-8 mm	Grus-grov 8-16 mm	Tegl-fin 4-8 mm	Tegl-grov 8-16 mm
V/C = 0,5	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
A1 (V) 30 %	344	172	742	544	227	-	194	-	83
A1 (V) 60 %	344	172	742	544	227	-	111	-	166
A1 (V) 90 %	344	172	742	544	227	-	28	-	249
A2 (V) 30 %	344	172	742	277	554	194	-	83	-
A2 (V) 60 %	344	172	742	277	554	111	-	166	-
A2 (V) 90%	344	172	742	277	554	28	-	249	-

Figur 12 viser materialesammensætningen af genbrugsbetonen med tegl for 1 m³ for de støbte recepter fra tabel 6.



Figur 12 - Materialesammensætning af støbte betoncylindere med tegl fra tabel 5.

Der er støbt 4 betoncylindere af alle recepter fra tabel 5 og tabel 6. Udover det er der støbt en ekstra af A1(V)_{7dage}, A2(V)_{7dage}, A1(V)_{28dage}, A2(V)_{28dage}, A1(V)_{7dage} 30%, A1(V)_{7dage} 60%, A1(V)_{7dage} 90%, A2(V)_{7dage} 30%, A2(V)_{7dage} 60% og A2(V)_{7dage} 90% til test af permeabilitet og porøsitet. Hvor A1(V)_{7dage} 90% betegner en prøve, tryktestet efter 7 dages hærning.

4.4.2 Ryste vand af vandmættede aggregater og vandmættet tegl

Genbrugsaggregaterne er vandmættet, ved at lade dem stå i vand i et døgn. For at få det overskydende vand væk inden støbning, benyttes en metalsigte til at ryste det overskydende vand fra (figur 13).



Figur 13 - Rystning af vandmættede genbrugsaggregater for at få overskydende vand væk.

4.4.3 Sætmål

Efter blanding i betonmixer (figur 14) måles sætflydemålet af betonen (figur 14 th.). Sætmålet laves ud fra følgende standard [DS/EN 12350-2].



Figur 14 - Til venstre blandes tilslaget med cementen i mixer. Midtfor ses den våde beton. Til højre er slumtest udført med ny beton.

4.4.4 Luftindhold

For at måle luftindholdet benyttes luftindholdsapparatet, som på figur 15 midt. Luftindholdet bestemmes efter [DS/EN 12350-7].



Figur 15 - Til venstre: toppene skæres af beholder og forme. Midtr: måling af luftindhold i beton. Højre: opbevaring af cylinderne.

4.4.5 Trykprøvning af betoncylindre

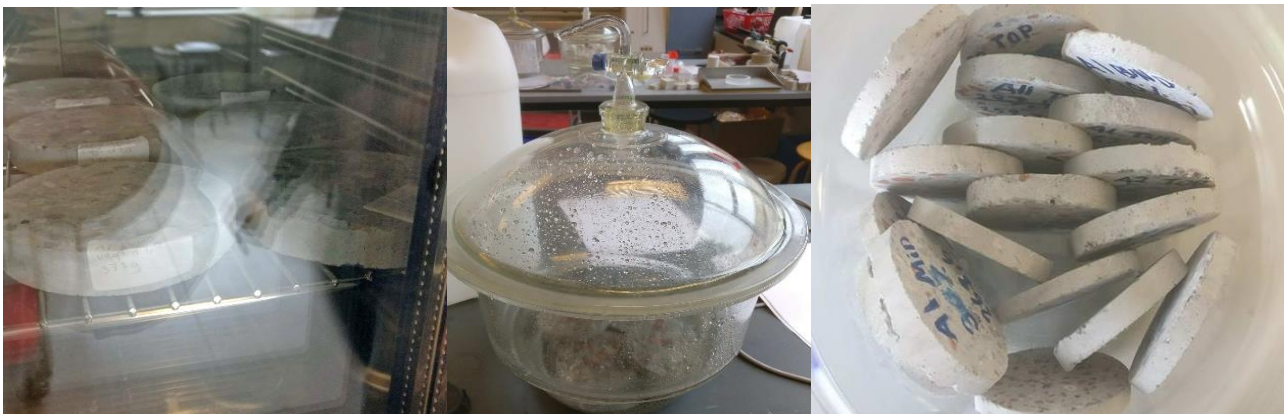
Trykstyrken testes ud fra standarderne [EN 12390-3] og [DS/EN 12390-4]. For at teste trykstyrken af den støbte beton, trykprøves betoncylinderne i trykprøvemaskinen Toni 3000. Betoncylindere anbringes på krydset i trykprøvemaskinen. Trækompisitmaterialer placeres på cylinderen ved ujævnheder i overfladen. Højde, diameter, vægt og trykhastighed indtastes på displayet på trykmaskinen - *Toni 3000* (figur 16 midt). Trykstyrken noteres når cylinderen er brudt. Brudfigurer bestemmes og noteres (figur 16 højre).



Figur 16 - Tv: Cylinder anbringes i trykmaskinen. Midt: vægt, højde, diameter og trykhastighed indtastes på displayet. Th: Brudfigur noteres.

4.4.6 Porøsitet og densitet

Betonen med tegl undersøges for dens porøsitet og densitet, som beskrevet i forsøgsvejledningen i bilag A2. Betonen er skåret ud i 3 skiver á 2 cm tykkelse. Top, midt og bund for at undersøge forskellen.



Figur 17 - Tv: Tørring af skåret beton. Midt: Skårne betoncylindre i eksikator. Th: Betonskiver i eksikator.

5 Observationer

Første støbning af B1 (V), skilte sig ud fra de andre prøver. B1 (V) havde en trykstyrke på 24,5 MPa, hvilket er stærkere end prøver med ikke vandmættet genbrugsaggregater. Se bilag E6. En teori på den højere styrke, kan være man har fundet en recept der giver en højere styrke. En anden teori kan være at der hændt noget under støbningen, som der ikke blev opdaget. Eksempelvis ville mindre vand eller mere cement i blandingen ændre styrken. Derfor er B1 (V) i figur 21 b) en ny støbning der falsificerer det fundne resultatet.

Figur 18 viser affaldsrester fra genbrugsbetonen, fra byggepladsen i Søborg. Affaldet indeholdt bl.a. søm, skruer, tegl, ekspanderet polystyren, glas, træ. Affaldet er efter bedste evne frasorteret under sigtning. Affald kan dog forekomme i de støbte cylindere, og dermed have en indvirkning på betonkvaliteten.



Figur 18 - Tv: Affaldsrester fra genbrugsbetonen indeholdende bl.a. tegl, søm, glas, plast og ekspanderet polystyren. Th: Våd betonmixer.

Nogle betonmixere var lettere fugtige, da andre før havde benyttet dem. Derfor er der blevet tilsat mere vand i støbningerne, hvor betonblanderen har været fugtig. Dermed vil vand/cement-forholdet og kvaliteten på betonen ændres.

Mellem afvejningerne og blandingerne af betonen er der nogle gange blevet spildt materialer. Der er spildt vand, sand, cement, sten. Disse spild er så vidt muligt blevet retfærdiggjort, ved at tilføre samme mængde stof som er spildt.

Ved støbning af betoncylindere, er cylindere nogle gange blevet støbt med lufthuller eller anden uperfekt geometri (figur 19). Låg på formcylindere var den første gang vendt på hovedet, og dermed er der kommet en bule på cylinderen. Disse betoncylindere er trykprøvet med bløde træplader for at kompensere for ujævnhederne.



Figur 19: Tv og midt: Nærbillede af topbetoncylindere støbt med ujævnheder i overfladen. Th: Betoncylindre med træplade for at kompensere ujævnheder i overflade.

6 Resultater og diskussion

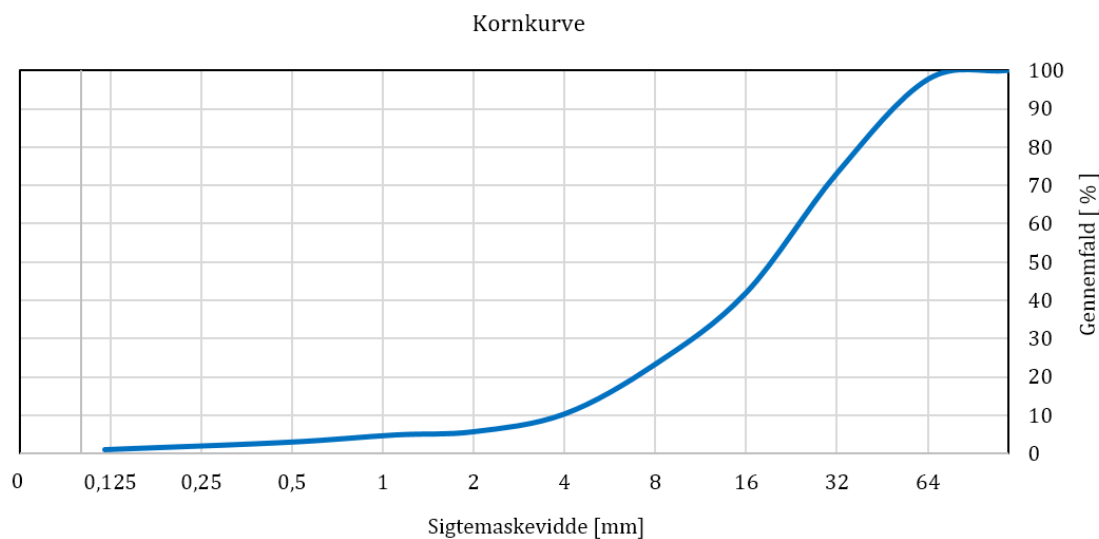
I følgende afsnit, vil resultaterne blive opstillet, samt blive diskuteret.

6.1.0 Karakteristik af genbrugsaggater

Første fase af projektet, indledes med at lave en karakteristik af den indsamlede nedknuste beton, taget fra byggepladsen i Gladsaxe. For at kunne lave en realistisk test af forsøget, er det vigtigt at have kendskab til egenskaberne fra den nedknuste beton.

6.1.1 Kornkurve

Projektet indledes med at lave en sigteanalyse, af den nedknuste beton. Data kan ses i bilag B1 – Sigtekurve.



Figur 20 – kornstørrelsesfordeling

Det kan ses fra kornkurven, at alt over sigtemaske 64 mm ryger igennem. For at se om det er en vel sorteret prøve, skal der ligges mærke til stejlegheden af kurven. Her ses at stigningen på kurven ligger mellem 8 - 64. Hvilket er en lille del af den samlede prøve. I denne rapport udnyttes kun stenfraktionerne 4-8 mm og 8-16 mm, som det ses er det ikke engang hvor kurven er stejles. Dette betyder at det er kun en lille andel der kan bruges, og at der skal hentes mange prøver, ind for at få nok mængde nedknust beton, for at kunne støbe nok prøver senere.

Det betyder ikke, at der ikke kan udnyttes at stenfraktioner til andre formål. Nævnt tidligere, bruger man nedknust beton som stabil grus. I bilag B4 – Laseranalyse, ses en kornkurve fra 0-2 mm, som viser en høj stigning. Hvilket betyder at det er en velsorteret prøve. For at få den største udnyttelse af alt nedknust beton, skal det udnyttes til flere ting.

6.1.2 Cementindhold

Ved syreoplukning beskrevet i kapitel 4.2.6 blev cementindholdet fundet. Første gang forsøget blev lavet, blev der testet for en 5 grams prøve. Efter resultaterne fra første forsøg, kunne det hurtigt konkluderes at dette skulle laves med en større mængde end 5 gram. I prøverne var der enten et meget højt eller et meget lavt cementindhold. Dette skyldes at de 5 gram ikke var tilstrækkelig. Derfor blev forsøget lavet igen med 20 grams prøver, da dette ville blive mere repræsentativt.

I tabel 7, ses resultaterne fra henholdsvis det gennemsnitlige cementindhold fra stenfraktionerne 4-8 mm og 8-16 mm. Det ses, at cementindholdet i fraktionerne 4-8 mm er større end 8-16 mm. Der er foretaget 4 prøver af hver fraktion.

Tabel 7 – Gennemsnitligt cementindhold af aggregatstørrelse 4-8 mm og 8-16 mm

Genbrugsaggregater 4-8 mm		Genbrugsaggregater 8-16 mm	
Gns. cementindhold [g]	Gns. cementindhold [%]	Gns. cementindhold [g]	Gns. cementindhold [%]
3,12	17,23	2,58	14,24

Det antages at den højere procentdel cement på genbrugsaggregater 4-8 mm, formentlig skyldes knusningen af betonen. Ved knusningen antages det, at cementen sidder omkring tilslaget, så jo finere det knuses, desto mere af cementen vil falde af og dermed øges cementindholdet.

Hvis der stadig sidder cement, som ikke er færdighærdet på genbrugsaggregaterne, kunne det synes interessant at tilsætte mindre cement i betonen.

En af de store debatter der foregår i dag, går på at der skal tilsættes mere cement i betonblandingen grundet større vandbehov. Dette vil gøre det mindre bæredygtig end konventionel beton [Miljøstyrelsen, 2015]. Det antageligt ikke færdighærdet beton på genbrugsaggregaterne, kunne erstattes af noget af den tilsatte cement, under forudsætning af at der ikke behøves mere vand. Dette diskuteres videre i kapitel 6.2.3.

Anden undersøgelse [Pepe et al, 2016] viser en sammenhæng mellem genbrugsaggregaternes porøsitet og mængden af cement. Jo mere cement der sidder på aggregaterne, desto mere porøse er de. Det betyder at kornstørrelsen [4-8 mm], vil være mere porøse. Der vil blive diskuteret i andre afsnit om cementen kunne have haft en betydning for resultaterne.

6.1.3 Vandindhold

Der blev undersøgt for vandindhold i det nedknuste beton. Dette blev gjort, for at finde ud af hvor stor en mængde vand betonen kunne indeholde. Tabel 8 viser vandindholdet på henholdsvis 4-8 mm og 8-16 mm. Dette er efter direkte indhentning fra grusbunken og i vandmættet tilstand (V).

Aggregatstørrelse	Gns. vandindhold pr 100 [g]	Gns. vandindhold [%]
4-8 mm	1,23	0,60
4-8 mm (v)	11,57	6,03
8-16 mm	0,69	0,51
8-16 mm (v)	6,77	4,98

Tabel 8 - Vandindhold i genbrugsaggregater.

Det bemærkes at kornstørrelsen 4-8 mm indeholder i gennemsnit 0,54 g eller 78% mere vand, end 8-16 mm i den tilstand, som man graver op fra grusbunken. Det samme er gældende mellem de vandmættede prøver. Der indeholder 4-8 mm (V) 58,5 % mere vand. Dette får en stor indflydelse på V/C-forholdet, og bearbejdigheden når der støbes med de vandmættede aggregater. Disse emner diskuteres mere i kapitel 5.1.4.

Ydermere så nævnt i kapitel 6.1.2 Cementindhold så ifølge [pepe et al, 2016], så hænger cementen og porøsitet sammen. Som nævnt så indeholder [4-8 mm] mere vand end [8-16 mm], dette kunne skyldes at [4-8 mm] indeholder flere porer og derfor kan suge mere vand op end [8-16 mm]

6.2.0 Karakteristik af genbrugsbeton

Denne del af projektet omfatter undersøgelser af genbrugsbetons karakteristisk, hvor den indsamlede nedknuste beton benyttes som tilslag.

6.2.1 Sætmål og luftindhold

Tabel 9 og tabel 10 viser sætmål for alle støberecepter ved 7 døgns hærdning ved V/C = 0,5 og V/C = 0,6

Tabel 9: Sætmål for alle støberecepter ved 7 døgns hærdning med V/C = 0,5

Recept	V/C	Sætmål	Luftindhold
V/C = 0,5	[-]	[mm]	[%]
Ref.	0,5	30	1,1
A1	0,5	10	1,6
A1 (V)	0,5	50	0,8
A2	0,5	10	1,7
A2 (V)	0,5	30	1,1

Tabel 10: Sætmål for alle støberecepter ved 7 døgns hærdning med $V/C = 0,6$

Recept $V/C = 0,6$	V/C [-]	Sætmål [mm]	Luftindhold [%]
Ref.	0,6	30	1,1
B1	0,6	20	0,6
B1 (V)	0,6	90	1,1
B2	0,6	10	1,7
B2 (V)	0,6	70	1,1

Det ses i tabel 10, at hvis $V/C = 0,6$, er sætmålet højere end ved $V/C = 0,5$ i tabel 9, hvilket er naturligt, grundet mere vand. Referenceprøverne giver lave sætmål. Det er dog værd at bemærke at de prøver der ikke har vandmættet aggregater, giver endnu lavere sætmål. Resultaterne på V/C forhold på 0,5 giver helt ned til 10 mm. Skal dette kunne støbes ordentlig, skal det vibreres ekstra meget. Hvis det skulle støbes på en byggeplads med så tør en beton, ville betonarbejderne ikke være særlig begejstrede. Bearbejdigheden er virkelig ringe, og der vil være risiko for at det ville tørre ud inden det var færdigstøbt. Dette gælder for $V/C = 0,5$ og $V/C = 0,6$, når der fås så lave sætmål.

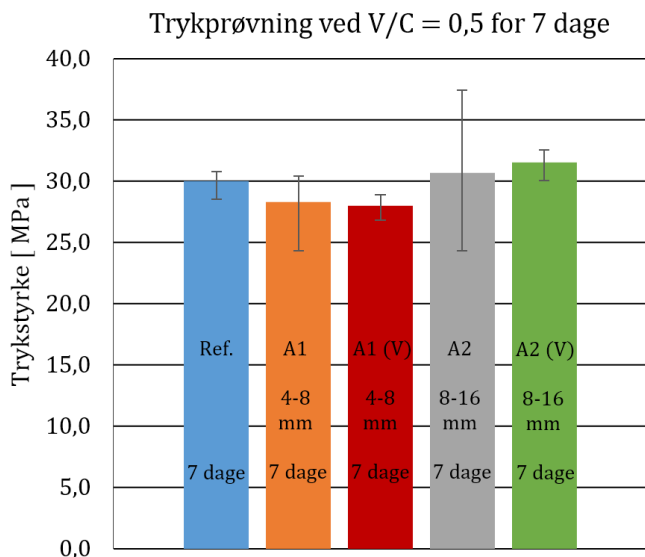
Ved den støbt beton med vandmættede genbrugsaggregater, er i stedet for ikke taget højde for den forøgede vandmængde. Det betyder at A1 (V) med vand/cement forhold på 0,5 ikke er $V/C = 0,5$, men nok nærmere $V/C = 0,6$. Derfor er de givende sætmål, ikke helt korrekte for de givende V/C . Selv med det forøgede V/C -forhold, virker sætmålene, som en god indikator på de vandmættede genbrugsaggregater. De giver et højere sætmål, og dermed en mere bearbejdelig beton, selv hvis man fjernede den tilsvarende mængde vand.

Luftindholdet er med til at indikere tætheden af betonen, og dermed betonen densiteten. I en støberecept regner man ud fra 1 % luftindhold. Overstående blandinger har vidt forskellige luftindhold. Dette kan forklares ved de meget forskellige sætmål. B1 opnår luftindhold på 0,6 %, og har samtidig et lavt sætmål. Grundet det lave sætmål på 20 mm, har det været svært at vibrerer. Ved støbning er det derfor vibreret ekstra meget. Dette forklarer det lave luftindhold, da luften slås ud grundet den ekstra vibrering. Modsat A2 som har et sætmål på 10 mm og luftindhold på 1,7 %. Resultaterne indikerer derfor at støbningerne med vandmættede genbrugsaggregater, har bedre bearbejdighed og dermed gøre det nemmere at støbe.

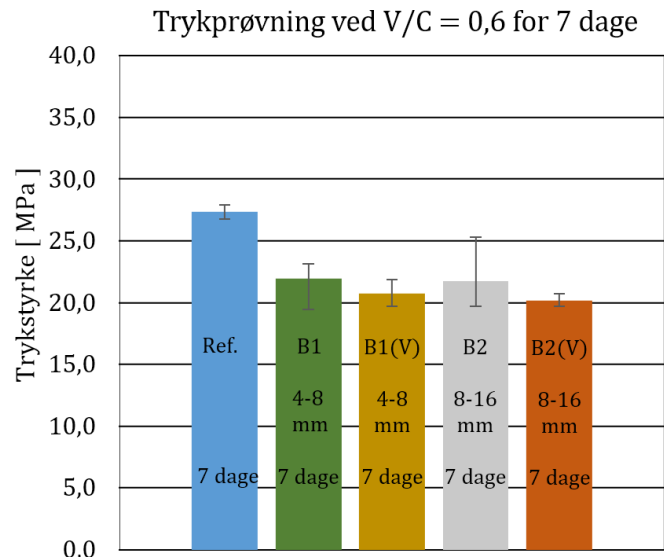
I Miljøstyrelsens rapport [Miljøstyrelsen 2015] har de haft de samme problemer, med den lave bearbejdighed. De har løst det ved at tilsætte mere vand og en lillesmule mere cement for at opnå de samme V/C -forhold. De forsøg der er lavet i denne rapport indikerer, at der kan opnås mere bearbejdighed og samme V/C -forhold, hvis der støbes med vandmættede aggregater. Det betyder at bekymringen om at tilsætte mere cement i betonen, egentlig ikke burde være så høj, som den er.

6.2.2 Trykprøvning for 7 dage

For at undersøge om det hentede genbrugsbeton kan benyttes, undersøges styrken med trykprøvning efter 7 dage. For hver prøve er der testet 4 cylindere, med højden = 200 mm. og diameteren = 100 mm. Efter første trykprøvning havde referencerne en høj spredning. Derfor blev der lavet et nyt sæt referencer som ses i figur 21 a) og figur 21 b). Nedenstående figurer viser trykprøvning for betoncylindre med genbrugsaggregater, og deres referencecylindre uden genbrugt beton for henholdsvis $V/C = 0,5$ og $V/C = 0,6$. De blå søjler er støbte referencer med jomfruelige aggregater. (V) søjlerne betegner prøver med vandmættede genbrugsaggregater.



Figur 21 a): Trykprøveresultater efter 7 døgn ved $V/C = 0,5$.



Figur 21 b): Trykprøveresultater efter 7 døgn ved $V/C = 0,6$

Trykstyrken for genbrugsbetonen og for referencebetonen i figur 21 a), er ikke signifikant forskellige fra hinanden. Referencebetonen har en trykstyrke på 30,0 MPa. A1 og A1 (V) er henholdsvis -6,0% og -7,1% svagere i trykstyrke i forhold til referencen. Derimod ses det i figur 21 a) at A2 og A2 (V) er hhv. 2,3% og 4,8% stærkere end referencebetonen. A1 og A2 har en høj spredning, mens A1 (V) og A2 (V) har en mindre spredning. Dette forklares senere i kapitlet.

Afvigelserne fra referencebetonen er signifikant større i figur 21 b). Referencen har en trykstyrke på 27,4 MPa. B1 og B1 (V) afviger hhv. -24,9% og -32,2% fra referencebeton. B2 og B2 (V) afviger hhv. -26,0% og -35,8% fra referencebeton i figur 21 b).

Spredning fra figur 21 a) og 21 b) kan retfærdiggøres ved at kigge på brudfigurer fra tryktest. På figur 22 er tegl indblandet i brudlinjer på brudfigurer. Tegls høje porøsitet har antageligt svækket betonen. Betonen har angiveligt fået svagheder og brudt hvor den ellers ikke ville have brudt ved samme styrke uden tegl.

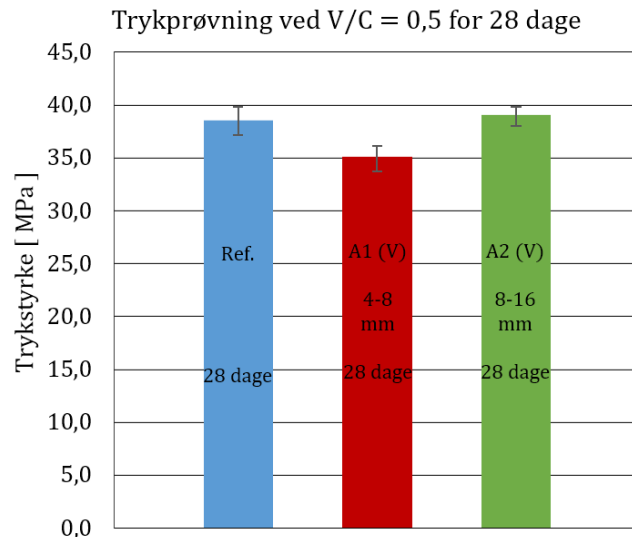
I Danmark er det kun tilladt at benytte nedknust beton, som tilslag i ny beton i passiv miljøklasse [Miljøstyrelsen 2014]. Både V/C og styrkemæssigt indikere A1 og A2-prøverne at genbrugsbetonen kan benyttes til moderat miljøklasse (M), fordi de ved kun 7 dages prøvning i gennemsnit har opnået en styrke over 25 MPa. Betonen bliver dog udsat for andet klima ved moderat miljøklasse, derfor kræver det videreundersøgelse om betonen kan stå imod dette.



Figur 22: Brudfigurer fra trykstyrketest. Teglstykker markeret med rød ring i brudlinjerne på brudfigurer.

6.2.3 Trykprøvning for 28 dage

Det findes interessant at undersøge for vandmættede genbrugsbeton med $V/C = 0,5$, da resultaterne indikere at det vandmættede genbrugsbeton og referencebetonen er på samme styrkemæssige niveau. Hvis der kan opnås den samme styrke med en genbrugsbeton, som er meget mere bearbejdelig, vil dette være fordelagtigt. Da styrkeudviklingen kontinuerligt vil øges med antallet af døgn jf. figur 1 er der støbt cylindere for 28 dage. Figur 23 viser trykprøvning med A1 (V) og A2 (V) ved $V/C = 0,5$ for 28 dage. Figur 23 viser at A1 (V) og A2 (V) ligger på niveau med referencebetonen.



Figur 23: Trykprøveresultater efter 28 døgn ved $V/C = 0,5$.

Figur 23 viser referencen har en trykstyrke på 38,5 MPa. $A1_{28 \text{ dage}} (V)$ er -8,8 % svagere end referencebetonen. $A2_{28 \text{ dage}} (V)$ er styrkemæssigt 1,6 % stærkere end referencebetonen. Referencen er taget fra [Hassan og Awad, 2017].

Prøver støbt med 8 mm – 16 mm aggregater har ifølge resultaterne en højere styrke, men ikke signifikant. Der er ikke entydige tegn på at genbrugsbeton har en højere styrkeindvirkning på betonen, men samtidigt indikerer det at betonen heller ikke bliver ringere i styrke ved brug af genbrugsaggregater.

Det antages, at de indsamlede betonaggregater kan have indvirkning på styrken af betonen. Støbning med knust beton fra Københavns Lufthavn viser højere styrketal end støbning med knust beton fra House of Prince i Søborg [Hassan og Awad, 2017]. Andre undersøgelser viser nedknust beton som aggregater i ny beton er udmærket. Problemet er inkonsistensen i kvaliteten. [M. Safiuddin et al, 2014].

Det antages at A2 (V) for 28 dage ligger på et realistisk styrkeniveau da der er fundet lignende styrkeresultater for vandmættet genbrugsbeton for 28 dage [Pepe et al. 2016]. A1 (V) for 28 dage er ca. 5 MPa lavere end [Pepe et al, 2016] fundne resultat, dette kunne forklares med inkonsistensen af kvaliteten.

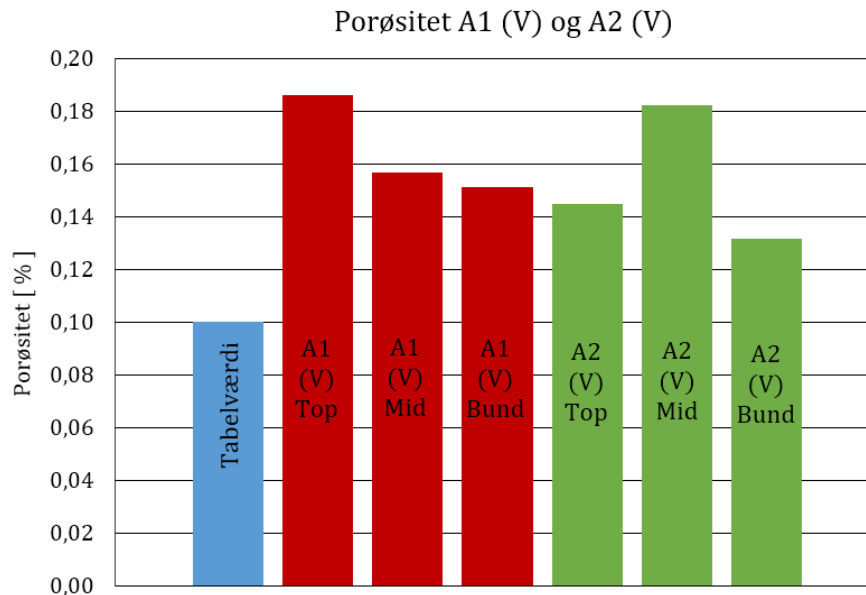
Miljøstyrelsens undersøgelse [Miljøstyrelsen 2015] viser at ikke færdighærdet cement der sidder på genbrugsaggregaterne vil hærde videre i ny beton og dermed skabe stærkere beton. Overstående resultater viser ikke en klar indikation på dette. Både for 7 dags prøverne og 28 dags prøverne, er der både styrker over ref som under styrken af ref. Derfor synes det ikke at der et entydigt svar, og derfor er dette emne der burde undersøges nærmere.

De fundne styrkeresultater indikerer at der ikke nødvendigvis er et behov for at tilsætte mere cement i genbrugsbetonen som det ellers fremgår af Miljøstyrelsens undersøgelse fra 2015. Miljøstyrelsens behov for

mere cement skal findes i at der tilsætter yderligere vand i selve beton blandingen. I stedet for [M. Safiuddin et al, 2014] og [Pepe et al. 2016] tilsættes heller ikke yderligere cement i blandingen.

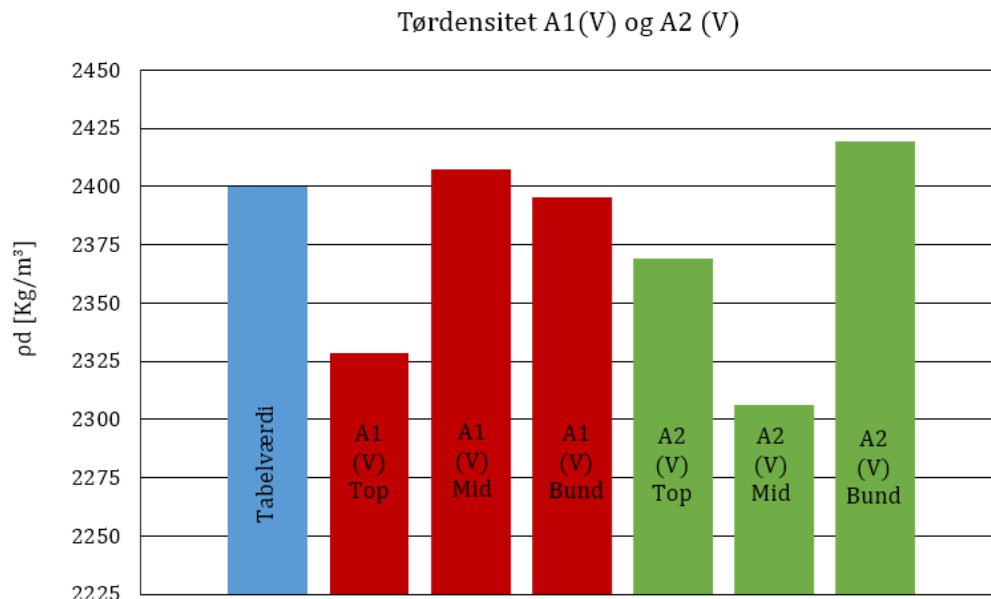
6.2.4 Porøsitet og densitet

Der er blevet udført forsøg med A1 (V) og A2(V) for at finde porøsiteten og densiteten. Cylinderne er skåret op 3 dele. Top, midt og bund. Dette er for at se om genbrugsaggaterne pakker sig ligeligt. Rå data kan findes i bilag C2 - Porøsitet og densitet for A-prøverne. Der er ikke lave porøsitet og densitet test for reference cylinder, dermed er sat en tabelværdi for materialebogen ind [Gottfredsen og Nielsen].



Figur 24: Porøsitet af A1 (V) og A2 (V). Tabelværdien fra [Gottfredsen & Nielsen, 2015]

Resultaterne fra A(1) viser at der bunden er 4% mindre porøst end toppen af prøvelegemet. Det er en mindre forskel der adskiller dem ad. Det var forventet at der måske var større forskel på alle resultater, da genbrugsaggaterne modsat konventionelt tilslag, så har det nedknuste beton der har mange kanter og former, svært ved pakke sig. Samme tendens ses på A(2) udover at her er det toppen der er mindst porøst og forskellen mellem midten og toppen er 4% hvilket er større. Det er dog svært at sige entydigt om der forskel de 3 dele af betonen. Det mest tydelige ved resultaterne er at porøsiteten er større end tabel værdien for beton ved $V/C = 0,5$. Dermed fortæller forsøget at der er en øget porøsitet ved at tilsætte genbrugsaggater.



Figur 25: Tørdensitet af A1 (V) Tabelværdien fra [Gottfredsen & Nielsen, 2015]

På figur 25 ses at der er ingen sammenhæng mellem top, midt og bund. Denne figur viser at genbrugsaggregaterne har svært ved at pakke. Dette ses tydeligt ved A2(V) her har bunden en tørdensitet på 2419 kg/m³, hvorimod midten har tørdensitet på 2306 kg/m³. Den store forskel på densiteten kan være inkonsistensen af betonen. Der hvor densiteten er på niveau eller højere end tabelværdien, kunne man tro at den af genbrugsaggregaterne pakket, og den mindre gode del af genbrugsaggregaterne har pakket der hvor der findes en lav porøsitet.

Figur 24 og figur 25 viser sammenhængen godt mellem øgede porøsitet, jo lavere densitet. Bedst illustreret ved A1 (top), der har en porøsitet på 18,6 %, med en densitet på 2328 kg/m³. Hvor A1 (midt) har 15,6 % porøsitet, med en densitet på 2407 kg/m³.

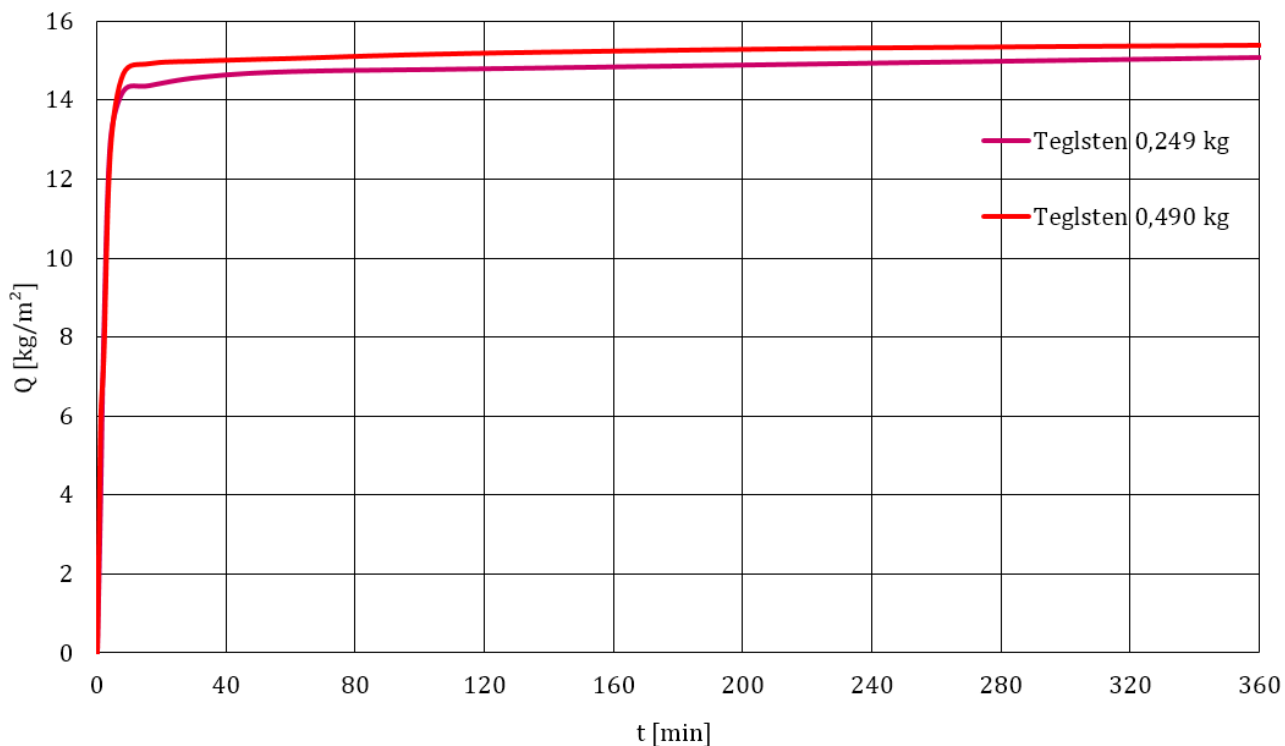
6.3 Delkonklusion for genbrugsbeton

Resultaterne er en indikation på at man godt kan bruge genbrugsaggregaterne som tilslag i beton. Dog en af udfordringerne med den nedknuste beton suger en del vand og dermed gør det svært at arbejde med under støbningen. Man kan med fordel vandmætte aggregaterne inden støbning for at øge bearbejdigheden af betonen. Ydermere har genbrugsaggregaternes inkonsistens en stor indflydelse på kvaliteten af genbrugsbetonen. Heraf er forskellige fremmedlegemers indflydelse med til at svække betonens trykstyrke. Porøsitet fra genbrugsbetonen er højere end konventionel beton, dermed har dette også indflydelse på densiteten. Dette skyldes at den nedknuste beton har svært ved at pakke sig. Fra trykprøveresultaterne blev det antaget at tegls indvirkning i beton forringede betonens trykstyrke. Det findes derfor interessant at støbe genbrugsbeton med mere tegl for at kunne påvise teglens forringelse af styrken i genbrugsbeton.

6.4.0 Karakteristik af tegl

Dette afsnit omhandler at lave en kort karakteristik af teglen der er indhentet. På databladet bilag E2 - Tegl Datablad ses mangler der oplysninger om op sugningsevnen. Selve forsøget er ikke statistisk korrekt. Forsøget er kun foretaget på 2 mindre stykker tegl, så derfor giver resultaterne kun en indikation af hvad teglens op sugnings evne er. Rå data kan ses på E3 - Kapillarsugning for tegl.

6.4.1 Kapillarsugning Kapillarsugning tegl



Figur 26 - Kapillarsugning af tegl

Figur 26 ses resultaterne fra kapillarsugningen af tegl. Det ses at begge tegl støbninger ligger tæt på hinanden. Det er også forventet da teglen kommer fra samme producent. Teglen har næsten nået sin maks efter 8 min af prøvningen. Dette er også forventet da tegl er et porøst materiale. Det er ikke en fordel at tegl en har høj kapillarsugning da dette kan være med til, frostska der og fugtska der.

6.5.0 Karakteristik af genbrugsbeton med tegl

6.5.1 Sætmål

Tabel 11 viser sætmål og luft for alle prøver hvor der er indstøbt tegl.

Tabel 11: Sætmål for støberecepter med tegl ved med $V/C = 0,5$

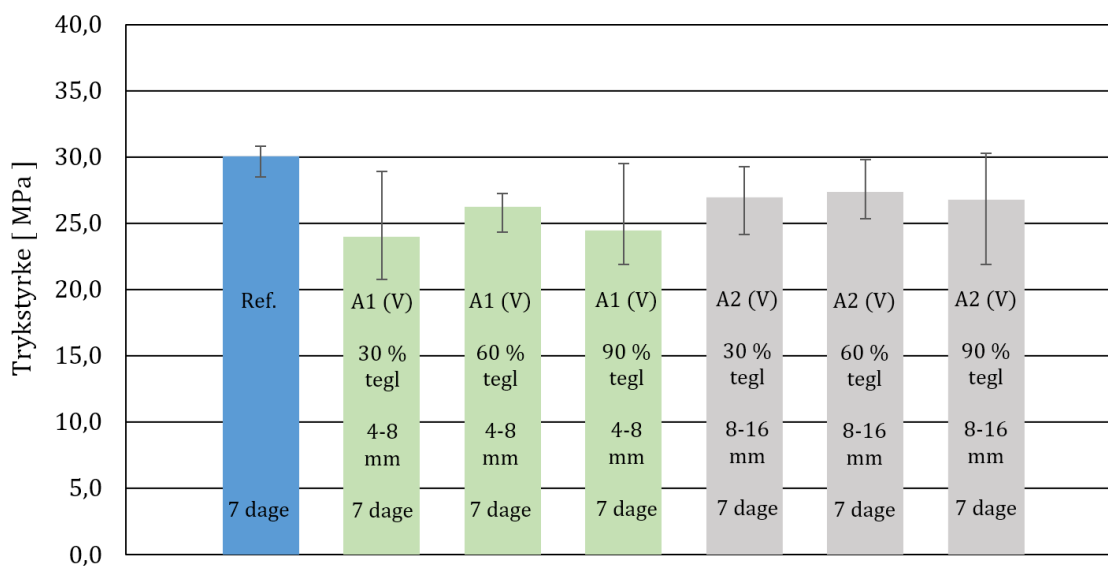
Recept $V/C = 0,5$	V/C [-]	Sætmål [mm]	Luftindhold [%]
A1 (V) 30%	0,5	100	1,2
A1 (V) 60%	0,5	120	0,8
A1 (V) 90%	0,5	150	1,1
A2 (V) 30%	0,5	90	1,4
A2 (V) 60%	0,5	120	1,2
A2 (V) 90 %	0,5	140	0,8

Et hurtigt kig på sætmålsprøverne ses det at der findes en tendens til øgede sætmål, jo mere tegl der er i prøverne. A1 (V) 30% har et sætmål på 100 mm hvor A1 (V) 90% har 150 mm i sætmål. Dette kan forklares ved at den vandmættede tegl kan suge mere vand op end den nedknuste beton. Samilignet med støbning uden tegl ses et dobbelt så stort sætmål. Dette øger bearbejdigheden, samtidigt er det også tegn på mere vand og dermed svagere trykstyrke.

6.5.2 Trykprøvning med tegl i beton

For at undersøge tegls indvirkning på genbrugsbetonens trykstyrke, undersøges styrken ved trykprøvning efter 7 dages hærdning. De anførte procenter i figur 27 betegner genbrugsaggregater erstattet af tegl. Betonen er støbt jf. recepten i tabel 5. Genbrugsaggregaterne og teglen er begge vandmættet i figur 27.

Trykprøvning med tegl for A1 og A2 ved $V/C = 0,5$ ved 7 dage



Figur 27: Trykprøveresultater med tegl for A1 og A2 ved $V/C = 0,5$ ved 7 dage.

I figur 27 er referencen på 30 MPa stærkere end A1 (V)-prøverne og A2 (V)-prøverne. A2 (V)-prøverne er i gennemsnit alle højere end A1 (V)-prøverne. A2 (V)-prøverne med fraktionerne på 8 – 16 mm er ikke signifikant stærkere end A1 (V)-prøverne med 4 – 8 mm. Derfor kan det ikke siges i teglresultaterne at større kornstørrelse bevirker i højere trykstyrke. Kigges der på tidligere fundne resultater uden tegl er der en svag tendens til at 8 – 16 mm fraktionen i betonen er stærkere end fraktionen på 4 – 8 mm. Det antages at den høje spredning skyldes teglens indvirkning på bruddet førnævnt i 6.2.2. Det forventes at teglens høje porøsitet påvirker betonen ved at forringe trykstyrken. Resultaterne kan ikke umiddelbart sammenlignes med lignende teglbetoner da lignende undersøgelser ikke er fundet. A1 (V) 30 % er gennemsnitligt 20,2 % er den svageste af prøverne ift. referencen. A2 (V) 60 % på 27,4 MPa er 8,9 % svagere end referencen men stærkere end alle B-prøverne fra figur 21 b). Dette giver intuitivt god mening, fordi at i figur 21 b) er V/C-forholdet også højere hvilket giver lavere trykstyrke. Styrkemæssigt kan genbrugsbeton med tegl godt benyttes til passiv miljøklasse. Betonen skal dog undersøges for tidsforandringer og klima modstanddygtighed da det ikke er undersøgt hvordan betonen materialefysisk kan klare passiv miljøklasse.



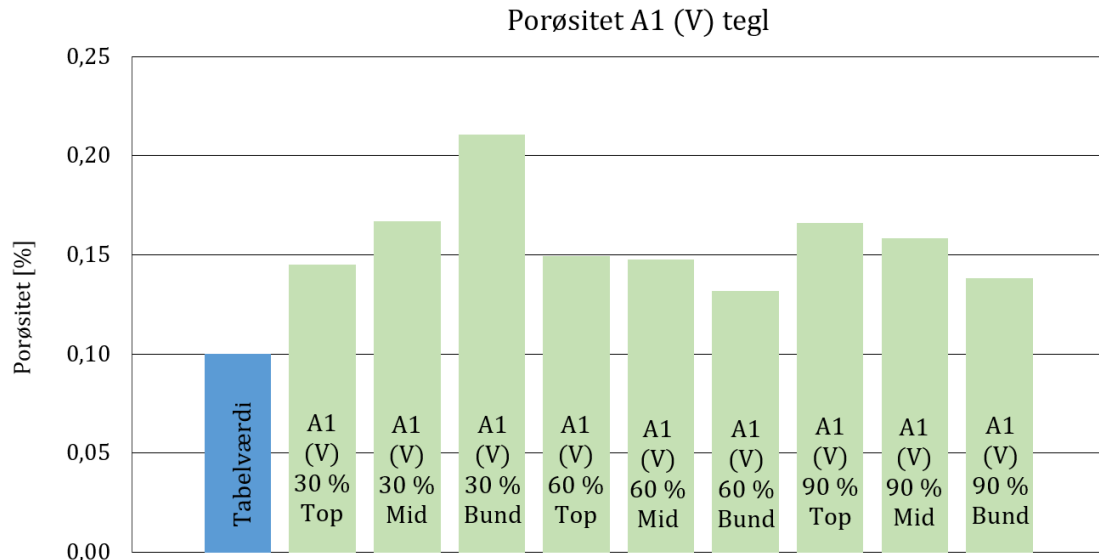
Figur 28: Brudfigurer fra venstre A2 90 %, A1 30 %, A1 90 %, A2 60 % og A1 30 %



Figur 29: Beton med tegl efter trykprøvning.

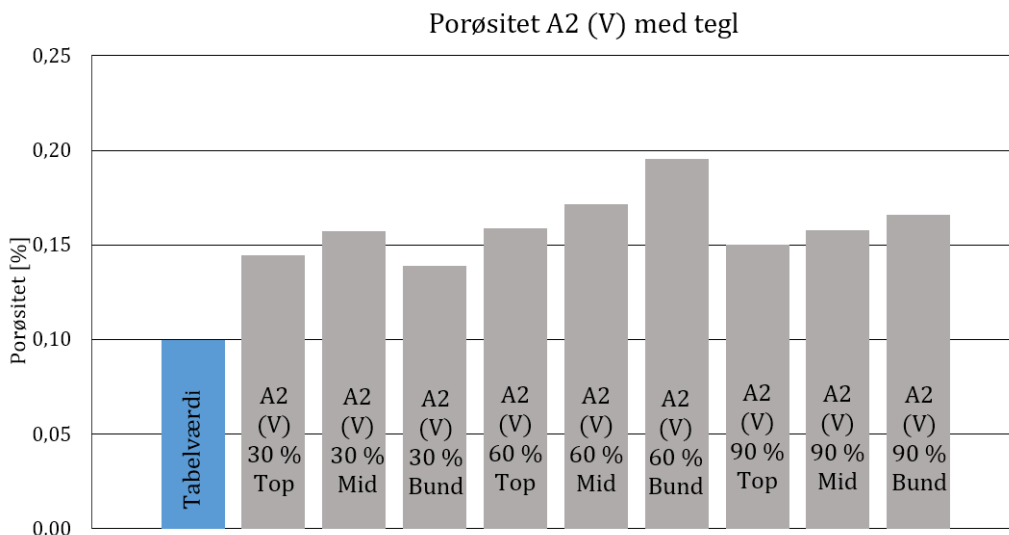
6.5.4 Porøsitet og densitet af genbrugsbeton med tegl

Eftersom tegl er et mere porøst materiale, ville det være interessant at se indvirkningen på genbrugsbetonens porøsitet og densitet. I kapitel 6.2.4 er der ikke lavet en reference for at have noget at holde resultaterne op imod. Derfor er der også i dette kapitel taget den samme tabelværdi for beton. Samme gælder for opdelingen af prøvelegemet. Skåret ud i 2 cm tykkelse i toppen, midten og bunden.

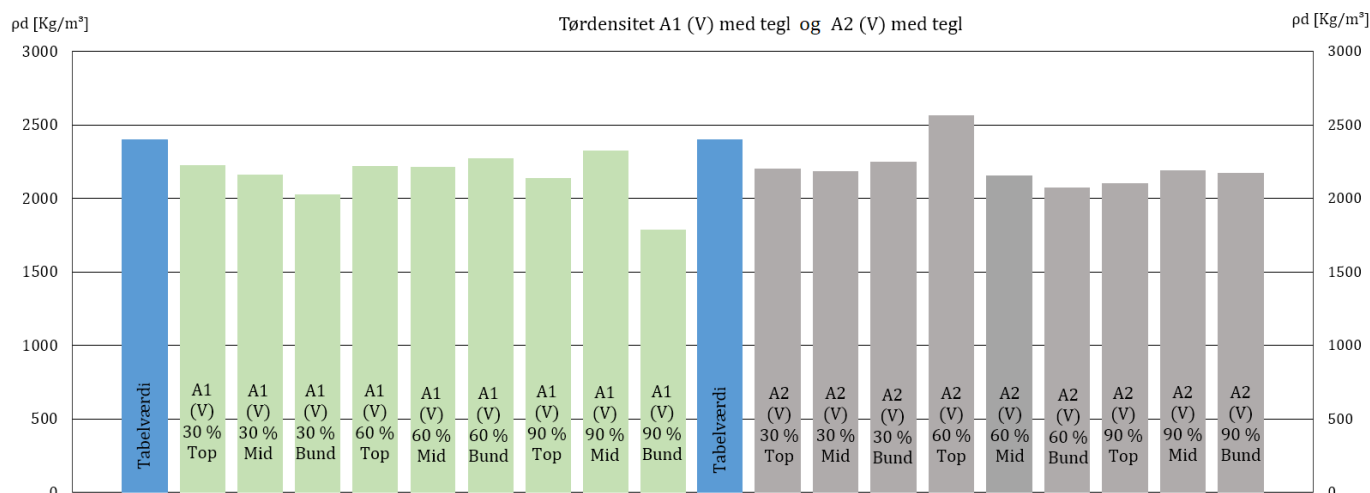


Figur 30 – Porøsitet A1 (V) tegl

Figur 30 viser porøsitet for A1(v) og A2 (V) med tegl. Her ses at begge prøver ligger porøsiteten over tabelværdien. Der er heller ikke noget entydigt svar om hvor på genbrugsbetonen er mest porøst. Det skyldes igen at hvordan genbrugsaggaterne har pakket sig. Det var egentlig forventet at teglen ville have større indflydelse på porøsiteten. Sammenlignet med kapitel 6.2.4 er der ikke den helt store forskel på porøsiteten, selvom at tegl prøverne har en lidt højere porøsitet. Udover bunden af A1(V) 30% tegl hvor porøsiteten er 21% er der ikke noget der skiller sig ud.



Figur 31 – Porøsitet A2 (V) tegl



Figur 32 – Tørdensitet A1 (V) med tegl og A2 (V) med tegl

Overstående resultater ses til venstre i figur 32, viser densiteten for A1 (v) med tegl, og til højre A2(v) med tegl. Generelt ligger Densiteten under tabelværdiens densitet. Dette er forventet da højere porøsitet giver lavere densitet. Densiteten for prøverne med tegl ligger væsentlig under dem uden tegl figur 25. Dette er med til at understøtte at det svage punkt ved genbrugsaggregaterne er urenheder og at inkonsistensen har en indflydelse.

6.5.3 Delkonklusion for genbrugsbeton med tegl

Genbrugsbeton med tegl har lavere styrke end konventionel beton. Genbrugsbetonen med tegl ligger styrkemæssigt højere end genbrugsbeton B-prøverne uden tegl. Tegl påvirker bruddet. Det ses på brudfigurer at betonen bliver svagere der hvor tegl er i brudlinjen. Det skal laves flere undersøgelser med tegl for at kunne sammenligne fundne resultater. Genbrugsbeton med tegl kan derfor godt benyttes styrkemæssigt til en passiv miljøklasse. Betonen skal dog undersøges for tidsforandringer og klima modstandsdygtighed da det ikke er undersøgt hvordan betonen materialefysisk kan klare passiv miljøklasse. Porøsiteten af betonen påvirkes ikke signifikant af teglen, men der ses en forskel på densiteten.

7. General diskussion og videre undersøgelse

Ved at benytte genbrugsaggregater i beton vil det være intuitivt at tænke at man sparer ressourcer og CO₂ i processen omkring fremstilling af betonen. Dermed at genbrugsbeton ville være mere miljøvenlig frem for konventionel beton når der kigges på CO₂. [Miljøstyrelsen 2015] har foretaget en vurdering på et eksempel med et betongulv. I eksemplet beskriver [Miljøstyrelsen 2015] at der bruges 4,3 % mere CO₂ og ved at benytte nedknust beton (Styrkeklasse 20 MPa til betongulv) som tilslag end ved konventionel beton. I eksemplet er der benyttet 4,5 % mere cement, 4,7 % mere flyveaske og 7,7 % mere mikrosilika end den konventionelle hvilket skal tages i betragtning da disse tilsætningsstoffer bidrager til en stærk forøgelse i CO₂-niveauet. Transportafstanden er afgørende: *”Transportdistancen, som den nedknuste beton skal transporteres, er et afgørende parameter for om det er en CO₂-besparende løsning”* [Miljøstyrelsen 2015]. Der kan altså spares CO₂ på transport hvis den knuste beton støbes *”in situ”*.

Det kunne være interessant at videreundersøge styrke- og V/C-forholdskravene, samt om genbrugsbetonen ville kunne modstå klimaforholdene i moderat miljø og ekstra aggressivt miljø. Til videreundersøgelse, kunne det også være interessant af undersøge om cementen på den nedknuste beton er færdig med at hærde, eller om den vil hærde videre i ny støb genbrugsbeton.

8 konklusion

Genbrugsbetonens egenskaber er nu blevet undersøgt, både med og uden tegl. Undersøgelsen, viser at man godt kan anvende samt benytte genbrugsaggregaterne, som tilslag i ny beton. Undersøgelserne viste dog at ved anvendelse af genbrugsaggregater, kunne give en ringere bearbejdelighed, da de suger mere vand. Der kan derfor med fordele anvende vandmættede aggregater, inden begyndelsen af støbningen for at øge bearbejdelighed af betonen. Undersøgelserne viste en tendens på at kornstørrelse 8-16 mm. var stærkere end kornstørrelse på 4-8 mm. Trykstyrken på alle prøverne, lå generelt på niveau med referenceprøverne. Det vurderes på baggrund af trykstyrken at genbrugsbeton kan benyttes i moderat miljøklasse (husbygningskonstruktioner). Det skal undersøges yderligere om betonen også kan stå imod klimaforandringerne der forekommer i moderat miljøklasse.

Inkonsistensen og fremmedlegemer har indflydelse på betonkvaliteten. Dette vurderes efter resultaterne fra trykprøvningen og på baggrund af andre undersøgelser. Ydermere Genbrugsbetonen er mere porøst end konventionel beton. Formerne på aggregaterne påvirker densiteten og porøsiteten i betonen. Det antages at den nedknuste beton har svært ved at fordele sig rundt i betonen, grundet forskellige former på aggregaterne.

Tegls høje porøsitet bevirker en høj bearbejdelighed ved støbning. Genbrugsbetonen med tegl har lavere trykstyrke end den konventionel beton. Erstatning af 30 %, 60 % og 90 % af hhv. [4 - 8 mm] og [8 – 16 mm] af genbrugsaggregaterne i støbning med tegl ses der ikke tendenser til at tegl svækker betonen ved trykprøvning. Tegl bevirker at betonen bliver svagere i tilfælde hvor tegl er i brudlinjen. Teglen i genbrugsbetonen, har en indflydelse på densitet og porøsiteten, grundet tegls højere porøsitet.

9 Referencer

- [Hansen et al., 2012]
Hansen et al. (2012)
Hansen, K. K., Linnet, E., Nielsen, A., Geiker, M. og Hoffmeyer, P. (2012).
Bygningsingeniørens materialer - uddrag af Materialebogen.
Nyt Teknisk, 1. udgave.
- [Aalborg Portland – 2014]
Aalborg Portland (2014)
Cement og Beton - Håndbogen om cement, beton og mørtel
Aalborg Portland, 21. udgave.
- [Gottfredsen & Nielsen, 2015]
Gottfredsen & Nielsen (2015)
Bygningsmaterialer - Grundlæggende egenskaber
Polyteknisk Forlag, 2. udgave.
- [DS 481, Forelæsningsnote kursus: 11765 og 11946, DTU]
DS 481 (1999)
Beton-Materialer
Dansk Standard
ICS: 91.100.30
- [Pepe et al. 2016]
Marco Pepe, Romildo Dias Toledo Filho, Eduardus A.B. Koenders, Enzo Martinelli (2016)
A novel mix design methodology for Recycled Aggregate Concrete
ELSEVIER, 1. udgave
- [Hassan og Awad, 2017]
Dani Fadi Hassan, Hussein Faissal Awad (2017)
Egenskaber for beton med recirkulerede betonaggater
Danmarks Tekniske Universitet, 1. udgave
- [M. Safiuddin et al, 2014]
Md. Safiuddina, Ubagaram Johnson Alengaramb, Md. Moshiur Rahmanb, Md. Abdus Salamb & Mohd.
Zamin Jumaatb
Use of recycled concrete aggregate in concrete: a review
Taylor & Francis, 1. udgave
- [DS/EN 12390-2]
DS/EN 12390-2 (2012)
Prøvning af hærdnet beton – Del 2: Tilvirkning og lagring af prøvelegemer til styrkeprøvning
Dansk Standard, 4. udgave
ICS: 91.100.30

[DS/EN 12350-7]

DS/EN 12350-7 (2002)

Betonprøvning – Prøvning af frisk beton – Del 7: Luftindhold – Trykmetoder

Dansk Standard, 2. udgave

ICS: 91.100.30

[DS/EN 1097-5]

DS/EN 1097-5 (2013)

Metoder til prøvning af tilslags mekaniske og fysiske egenskaber – Del 5: Bestemmelse af vandindhold ved tørring i ventileret ovn

Dansk Standard, 3. udgave

ICS: 91.100.15

[DS/ISO 13320]

DS/ISO 13320 (2009)

Analyse af partikelstørrelse – Laserdiffraktion

Dansk Standard, 1. udgave

ICS: 19:120

[DS/EN 12390-1]

DS/EN 12390-1 (2013)

Prøvning af hærdnet beton – Del 1: Form, dimensioner og andre krav til prøvelegemer og forme

Dansk Standard, 4. udgave

ICS: 91.100.30

[DS/EN 12350-2]

DS/EN 12350-2 (2012)

Prøvning af frisk beton – Del 2: Sætmål

Dansk Standard, 4. udgave

ICS: 91.100.30

[DS/EN 12390-3]

DS/EN 12390-3 (2009)

Prøvning af hærdnet beton – Del 3 Prøvelegemers trykstyrke

Dansk Standard, 2. udgave

ICS: 91.100.30

[DS/EN 12390-4]

DS/EN 12390-4 (2000)

Betonprøvning – Prøvning af hærdnet beton – Del 4: Trykstyrke – Specifikation for prøvemaskiner

Dansk Standard, 1. udgave

ICS: 91.100.30

[Miljøstyrelsen 2015]

Miljøstyrelsen (2015)

Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2015/04/978-87-93352-03-2.pdf>

(besøgt d. 18. juni 2017)

[Miljøstyrelsen 2017]

Miljøstyrelsen (2017)

Affaldsstatistik 2015

<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/05/978-87-93614-01-7.pdf>

(besøgt d. 18. juni 2017)

10 Bilag

A - Forsøgsvejledninger

A1	Syreoplukning af beton.....	Side 47
A2	Porøsitet og densitet (LBM-standard).....	Side 49
A3	Sigteanalyse.....	Side 51

B - Data for karakteristik af genbrugsaggregater

B1	Sigtekurve.....	Side 52
B2	Cememtindhold.....	Side 53
B3	Vandindhold.....	Side 53
B4	Laseranalyse.....	Side 54

C - Data for karakteristik af genbrugsbeton

C1	Trykstyrke af A-prøverne.....	Side 62
C2	Porøsitet og densitet for A-prøverne.....	Side 63

D - Data for karakteristik for genbrugsbeton med tegl

D1	Trykstyrke for genbrugsbeton med tegl.....	Side 64
D2	Porøsitet og densitet for A-prøverne med tegl.....	Side 65

E - Diverse

E1	Teglsten.....	Side 66
E2	Teglsten datablad.....	Side 67
E3	Kapillarsugning for tegl.....	Side 68
E4	Cement Basis Aalborg Portland.....	Side 69
E5	Tabelværdi for porøsitet og densitet af konventionel beton.....	Side 70
E6	Første trykprøvning med $V/C=0,6$	Side 71

A - Forsøgsvejledninger

A1 - Syreoplukning af beton

A Princip

Betonprøven knuses og cementpastaen opløses i salpetersyre. Alle chlorider vil herefter være opløst. Uopløselige dele filtreres fra, og mængden af chlorid i væskefasen bestemmes ved titrering med sølvnitrat.

Metoden bestemmer ikke på hvilken form chloriden findes i betonprøven. Den siger ikke, om chloriden findes som natriumchlorid (almindelig salt), calciumchlorid eller andre chlorider.

B Specielt apparatur

Titratør 716 DMS Titrino

C Kemikalie sikkerhed

Salpetersyre - Brandnærende; Ætsende; Brandfarlig ved kontakt med brandbare stoffer. Alvorlig ætsningfare. Undgå indånding af dampe. Brug syrehandsker, plastikforklæder, sikkerhedsbriller og stinkskab ved afmåling.

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

Salpetersyre 1% HNO₃:

17 mL koncentreret HNO₃ overføres med måleglas til en 1000,00 mL målekolbe som er ½ fyldt med destilleret vand. Der blandes godt og tilsættes vand til mærket. Efter blanding overføres opløsningen til en plastikflaske og mærkes.

E **Analysens udførelse**

5 g tørret knust prøve afvejes på teknisk vægt til en konisk kolbe. Der tilsættes ca. 50 mL varmt destilleret vand og det blandes.

Derefter tilsættes der langsomt 10 mL konc. HNO₃ til opslæmningen som derefter blandes godt og stilles til afkøling til stuetemperatur (skal foregå i stinkskab).

Der tilsættes ca. 1 mL konc. HNO₃ for at kontrollere at alt materiale er opløst (luftudvikling). Fortsæt med at tilsætte HNO₃ indtil der ikke er mere luftudvikling.

Filtrer opløsningen gennem alm filter ned i et bægerglas. Skyl filtreret med 1% HNO₃ Tilsæt destilleret vand til ca. 150 mL volumen.

Titrer prøven – se vejledning for chlorid titrering

F **Affaldshåndtering**

Ekstrakerne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinksabet.

[Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016]

A2 - Porøsitet og densitet (LBM-standard)

A Princip

Porøsiteten i et materiale fortæller hvor porøst materialet er, dvs. hvor skrøbeligt det er. Jo højere porøsiteten er, des større evne har materialet til at optage vand. Det betyder også at en god evne til at optage vand. Densiteten er materialets masse pr. volumenenhed. Massen af et porøst materiale kan være en tør masse eller en masse med vand i de åbne porer, dvs. ved at finde densiteten kan man udregne massen ved forskellige forhold.

B Specielt apparatur

Til målingen benyttes vakuumpumpe, teknisk vægt med mulighed for at veje under vand.

C Analysens udførelse

Prøven tørres ved 105°C til prøven er hel tør dvs. ved kontant vægt.

Hvis der er tale om en betonprøve skal denne tørres ved 50°C i min 3 uger, da en tørring ved høj temperatur vil medføre ændring i porestrukturen.

Prøven vejes på teknisk vægt og vægten noteres som (m_{105})

Prøven placeres i en eksikator med låg og hane. Eksikatorens tilsluttes vakuumpumpen og pumpes ned i minimum 3 timer.

Destilleret vand med rumtemperatur ledes ind i eksikatorens vha en slange og undertrykket i eksikatorens. Hænder lukkes lige så snart vandstanden er 3 cm over prøvelegemet. Derefter skal den stå lukket i 1 time.

Herefter lukkes luften ind og prøven skal stå under vand natten over ved atmosfæretryk.

Den vandmættede prøve vejes først under vand på en teknisk vægt med ophæng under. Vandet i karret skal have rumtemperatur. Vægten noteres som (m_{sw}).

Prøven duppes med en hårdt opvredet klud inden den vejes over vand. Vægten noteres som (m_{ssd}).

For at kontrollere om der er sket en udvaskning af prøven ved vandmætning tørres prøven ved 105°C og kontrolvejes.

D Beregning af resultat

Rumtemp: °C	Vandtemp: °C	Vanddensitet $\rho_w =$ kg/m ³		
Kontrollod:				
Før:	kg			
Efter:	kg			
Prøvelegement nr:				
m_{105}	Kg			
m_{ssd}	Kg			
m_{sw}	Kg			
$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$	m ³			
$V_{på} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$	m ³ /m ³			
$P_{å} = V_{på} / V$	Kg/m ³			
$\rho_d = m_{105} / V$	Kg/m ³			
$\rho_f = m_{105} / (V - V_{på})$	Kg/m ³			
$\rho_{ssd} = m_{ssd} / V$	Kg/m ³			
$U_{ssd} = (m_{ssd} - m_{105}) / m_{105}$	Kg/kg			

Definitioner, begreber og symboler

m_{105} Masse af prøvelegemet efter tørring ved 105°C (kg)

m_{ssd} Masse af prøvelegemet over vand efter vakuumvandmætning (kg)

m_{sw} Masse af vakuumvandmættet prøvelegeme vejet i vand (kg)

V Prøvelegemets volumen (m³)

$V_{på}$ Volumen af åbne porer (m³)

ρ_f Faststoffdensitet (kg/m³)

ρ_d Tørdensitet (kg/m³)

ρ_{ssd} Densitet af prøvelegeme i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/m³) $p_{å}$

Prøvelegemets åbne porøsitet (m³/m³)

U_{ssd} Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)

[Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016]

A3 - Sigteanalyse

A Princip

Tungmetaller findes oftest opkoncentreret i den fine fraktion af jorden pga. den større specifikke overflade samt den negative overfladeladning på lerminerale. Sigteanalyser benyttes desuden til udarbejdelse af kornkurver og til geologiske prøvebeskrivelser af jorden.

B Specielt apparatur

Til analysen anvendes metalsigter og rystemaskine

C Analysens udførelse

Der anvendes metalsigter med maskevidder i mm: 0,063 - 0,080 - 0,125 - 0,25 - 1,00 - 2,00 - 4,00 mm og bunden

Først afvejes hver sigte for sig på teknisk vægt, vægten noteres med 2 decimaler.

Den tørrede jordrest fra "slemmeanalysen" overføres til sigtesøjlen som starter med den sigte med den største maskevidde er øverst og derefter bliver maskevidden mindre for hver sigte indtil bunden. HUSK bunden!

Der sigtes i 15 minutter, hvorefter hver enkelt sigte med jord i vejes på tekniske vægt med 2 decimaler.

D Affaldshåndtering

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

[Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016]

B - Data for karakteristik af genbrugsaggregater

B1 - Sigtekurve

Sigtemask	Vægt [g]	Gennemfald [g]	Gennemfald [%]
0,12	190	92,86	0,93
0,478	194	283,02	2,83
1,1	84	477,22	4,77
2	462	561,44	5,61
4	1299	1023,86	10,24
8	1867	2322,40	23,22
16	3122	4189,10	41,89
32	2452	7311,44	73,11
64	236	9763,78	97,64
118	0	10000	100

B2 – Cementindhold for genbrugsaggregaterne

Kornstørrelse [8 - 16 mm]							
Filter	vægt + filter	vægt uden filter	ny vægt	ny vægt uden filter	Cement indhold	%	gns
1,95	20,1	18,15	17,4	15,45	2,70	14,9	14,2
2,00	20,39	18,39	17,9	15,90	2,49	13,5	
1,95	20,01	18,06	17,5	15,55	2,51	13,9	
1,99	20,05	18,06	17,4	15,41	2,65	14,7	

Kornstørrelse [4 - 8 mm]							
Filter	vægt + filter	vægt uden filter	ny vægt	ny vægt uden filter	Cement indhold	%	gns
1,96	20,08	18,12	17,2	15,24	2,88	15,9	17,2
1,98	20,14	18,16	17,2	15,22	2,94	16,2	
1,97	20,22	18,25	16,8	14,83	3,42	18,7	
1,95	20,57	18,62	17,2	15,25	3,37	18,1	

B3 – Vandindhold af genbrugsaggregaterne

Vandindhold ved tørring på 105 grader celsius

Vægt af skål [g]	Vægt af skål og beton [g]	Efter tørring [g]	Vandinhold [%]	Gns [%]	Spredning [%]
109,62	202,52	201,11	0,70	0,60	0,07
104,02	203,96	202,79	0,57		
110	204	202,89	0,54		
110,37	191,77	183,22	4,46	6,03	1,43
101,57	192,57	177,33	7,91		
110,02	191,25	180,33	5,71		

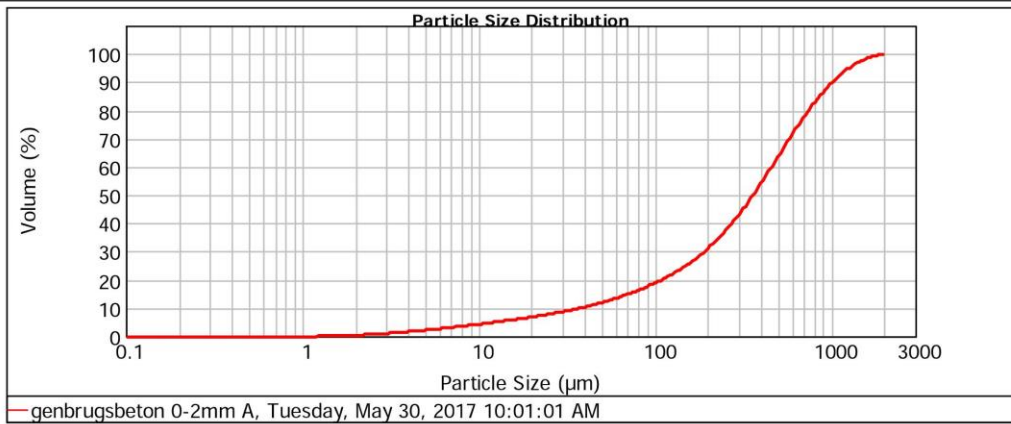
Vægt af skål [g]	Vægt af skål og beton [g]	Efter tørring [g]	Vandinhold [%]	Gns [%]	Spredning [%]
70,27	157,23	156,18	0,67	0,51	0,11
62,52	123,42	122,9	0,42		
63,19	111,98	111,47	0,46		
47,24	94,12	91,45	2,84	4,98	1,51
63,21	149,15	140,08	6,08		
47,45	142,58	134,01	6,01		

B4 – Laseranalyse



Result Analysis Report

Sample Name: genbrugsbeton 0-2mm A	SOP Name: Beton	Measured: Tuesday, May 30, 2017 10:01:01 AM	
Sample Source & type: Paris	Measured by: malm	Analysed: Tuesday, May 30, 2017 10:01:03 AM	
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement		
Particle Name: Beton	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 1.58 %
Dispersant Name:	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.504 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0027 %Vol	Span : 2.723	Uniformity: 0.831	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.107 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 56.056 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 455.173 um	
d(0.1): 37.451 um	d(0.5): 359.339 um	d(0.9): 1015.908 um	



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	1.096	0.00	11.482	0.49	120.226	2.18	1258.925	2.30		
0.011	0.00	0.120	0.00	13.183	0.51	138.038	2.50	1445.440	1.64		
0.013	0.00	0.138	0.00	15.136	0.56	158.489	2.87	1659.587	0.21		
0.015	0.00	0.158	0.00	17.378	0.59	181.970	3.30	1905.461	0.91		
0.017	0.00	0.182	0.00	19.953	0.64	208.930	3.78	2187.762	0.00		
0.020	0.00	0.209	0.00	22.909	0.70	239.883	4.30	2511.886	0.00		
0.023	0.00	0.240	0.00	26.303	0.77	275.423	4.80	2884.032	0.00		
0.026	0.00	0.275	0.00	30.200	0.85	316.228	5.63	3311.311	0.00		
0.030	0.00	0.316	0.00	34.674	0.95	363.078	5.85	3801.894	0.00		
0.035	0.00	0.363	0.00	39.811	1.05	416.869	5.90	4365.158	0.00		
0.040	0.00	0.417	0.00	45.709	1.15	478.630	5.76	5011.872	0.00		
0.046	0.00	0.479	0.00	52.481	1.27	549.541	5.43	5754.399	0.00		
0.052	0.00	0.550	0.00	60.256	1.40	630.957	5.43	6606.934	0.00		
0.060	0.00	0.631	0.00	69.183	1.55	724.436	4.94	7585.776	0.00		
0.069	0.00	0.724	0.00	79.433	1.72	831.764	3.68	8709.636	0.00		
0.079	0.00	0.832	0.00	91.201	1.93	954.993	2.99	10000.000	0.00		
0.091	0.00	0.955	0.00	104.713		1096.478					
0.105	0.00	1.096	0.00	114.822		1258.925					

Operator notes:



Result: Sieve ASTM E11:61 Report

Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm A
Sample Source & type:
Paris
Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Beton
Measured by:
malm
Result Source:
Measurement

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:01:01 AM
Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:01:03 AM

Particle Name:
Beton
Particle RI:
1.500
Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000
Absorption:
0
Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose
Size range:
0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual:
0.504 %

Sensitivity:
Enhanced
Obscuration:
1.58 %
Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0027 %Vol

Span :
2.723

Uniformity:
0.831

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.107 m²/g

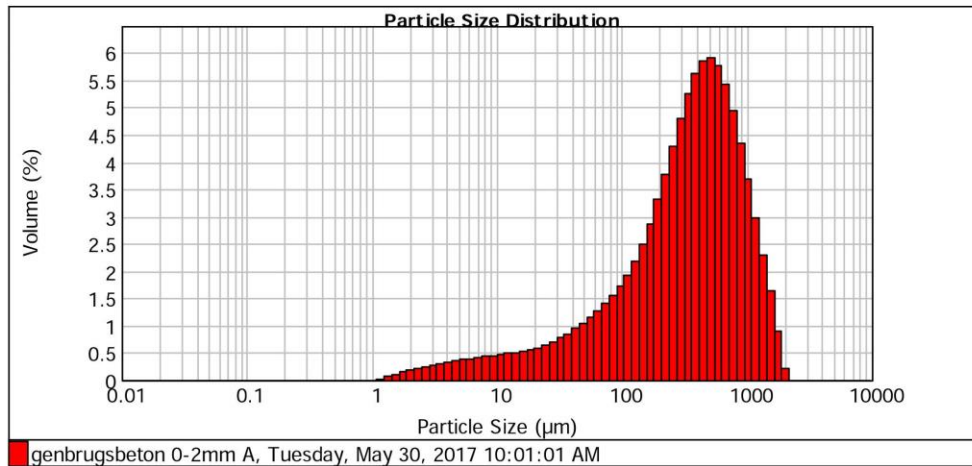
Surface Weighted Mean D[3,2]:
56.056 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
455.173 um

Density:
1.000 g/cm³

d(0.1): 37.451 um d(0.5): 359.339 um d(0.9): 1015.908 um

Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %
10	2000	0.91	100.00	35	500	6.91	63.76	120	125	2.36	21.99
12	1700	2.32	99.09	40	425	7.32	56.85	140	106	2.04	19.63
14	1400	3.14	96.76	45	355	6.27	49.52	170	90	1.99	17.60
16	1180	4.05	93.62	50	300	5.98	43.26	200	75	1.67	15.61
18	1000	4.92	89.57	60	250	4.64	37.27	230	63	1.47	13.93
20	850	6.43	84.65	70	212	3.92	32.63	270	53	1.24	12.46
25	710	6.74	78.22	80	180	3.67	28.71	325	45	1.13	11.22
30	600	7.72	71.48	100	150	3.06	25.05	400	38		10.09
35	500		63.76	120	125		21.99				



Operator notes:



Result: Sieve ASTM E11:61 Report

Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm- Averaged Result
Sample Source & type:
Paris
Sample bulk lot ref:
123-ABC

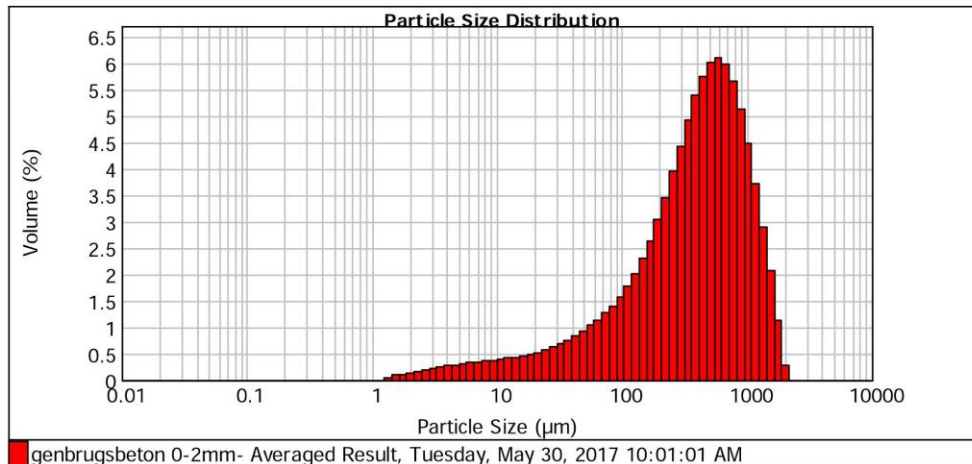
SOP Name:
Beton
Measured by:
malm
Result Source:
Averaged

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:01:01 AM
Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:01:03 AM

Particle Name: Beton	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 1.93 %
Dispersant Name:	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.548 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0041 %Vol	Span : 2.575	Uniformity: 0.785	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.0895 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 67.007 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 501.886 um	Density: 1.000 g/cm ³

d(0.1): 48.185 um d(0.5): 407.746 um d(0.9): 1098.169 um

Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %
10	2000	1.15	100.00	35	500	6.85	58.52	120	125	2.17	19.33
12	1700	2.91	98.85	40	425	7.00	51.67	140	106	1.87	17.16
14	1400	3.92	95.94	45	355	5.84	44.68	170	90	1.81	15.29
16	1180	4.97	92.02	50	300	5.49	38.84	200	75	1.51	13.48
18	1000	5.86	87.05	60	250	4.24	33.35	230	63	1.32	11.97
20	850	7.35	81.19	70	212	3.59	29.11	270	53	1.10	10.66
25	710	7.33	73.85	80	180	3.37	25.52	325	45	1.01	9.56
30	600	8.00	66.52	100	150	2.82	22.15	400	38		8.55
35	500		58.52	120	125		19.33				



Operator notes: Average of 3 measurements from 170530andersogjonas



Result: Sieve ASTM E11:61 Report

Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm B
Sample Source & type:
Paris
Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Beton
Measured by:
malm
Result Source:
Measurement

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:03:08 AM
Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:03:10 AM

Particle Name:
Beton
Particle Rf:
1.500
Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000
Absorption:
0
Dispersant Rf:
1.000

Analysis model:
General purpose
Size range:
0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual:
0.363 %

Sensitivity:
Enhanced
Obscuration:
1.32 %
Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0032 %Vol

Span :
2.349

Uniformity:
0.72

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0766 m²/g

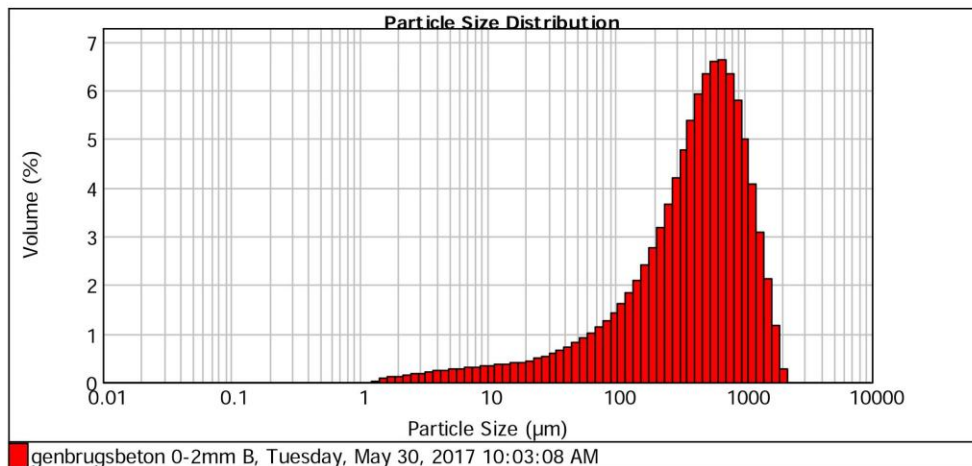
Surface Weighted Mean D[3,2]:
78.356 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
531.826 um

Density:
1.000 g/cm³

d(0.1): 60.950 um d(0.5): 450.990 um d(0.9): 1120.201 um

Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %
10	2000	1.16	100.00	35	500	7.09	54.58	120	125	1.98	16.86
12	1700	3.03	98.84	40	425	6.98	47.49	140	106	1.69	14.88
14	1400	4.23	95.82	45	355	5.63	40.51	170	90	1.62	13.19
16	1180	5.51	91.59	50	300	5.16	34.87	200	75	1.33	11.56
18	1000	6.59	86.07	60	250	3.92	29.71	230	63	1.15	10.23
20	850	8.25	79.48	70	212	3.28	25.80	270	53	0.95	9.09
25	710	8.09	71.24	80	180	3.08	22.51	325	45	0.87	8.13
30	600	8.57	63.15	100	150	2.58	19.44	400	38		7.27
35	500		54.58	120	125		16.86				



Operator notes:



Result: Sieve ASTM E11:61 Report

Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm C
Sample Source & type:
Paris
Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Beton
Measured by:
malm
Result Source:
Measurement

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:05:15 AM
Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:05:16 AM

Particle Name:
Beton
Particle RI:
1.500
Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000
Absorption:
0
Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose
Size range:
0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual:
0.776 %

Sensitivity:
Enhanced
Obscuration:
2.90 %
Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0063 %Vol

Span :
2.626

Uniformity:
0.801

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.085 m²/g

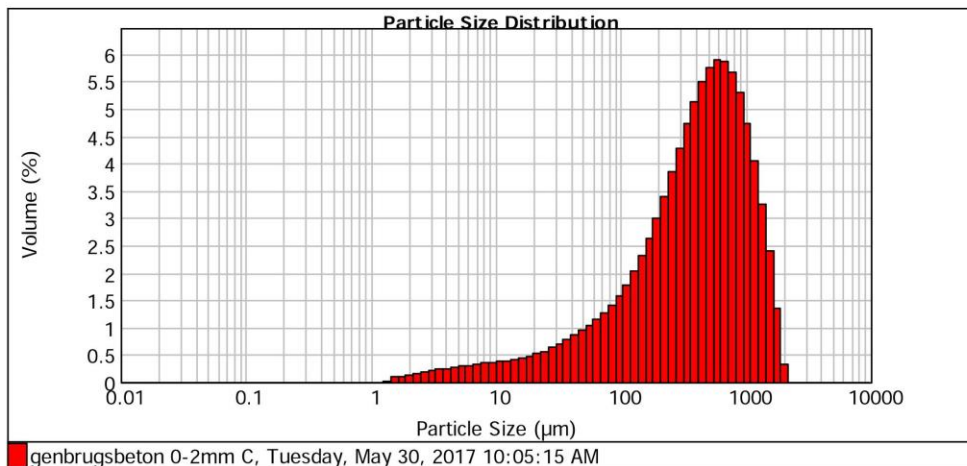
Surface Weighted Mean D[3,2]:
70.572 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
518.659 um

Density:
1.000 g/cm³

d(0.1): 49.904 um d(0.5): 417.552 um d(0.9): 1146.315 um

Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %	Mesh No	Aperture µm	Volume In %	Vol Below %
10	2000	1.36	100.00	35	500	6.54	57.22	120	125	2.18	19.14
12	1700	3.39	98.64	40	425	6.68	50.69	140	106	1.87	16.97
14	1400	4.39	95.25	45	355	5.61	44.00	170	90	1.82	15.09
16	1180	5.34	90.86	50	300	5.33	38.39	200	75	1.52	13.28
18	1000	6.07	85.52	60	250	4.17	33.06	230	63	1.33	11.76
20	850	7.37	79.45	70	212	3.56	28.90	270	53	1.12	10.43
25	710	7.17	72.08	80	180	3.37	25.34	325	45	1.02	9.31
30	600	7.69	64.92	100	150	2.83	21.97	400	38		8.29
35	500		57.22	120	125		19.14				



Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm- Averaged Result

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Beton

Measured by:
malm

Result Source:
Averaged

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:01:01 AM

Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:01:03 AM

Particle Name: Beton
Accessory Name: Scirocco 2000
Analysis model: General purpose
Sensitivity: Enhanced

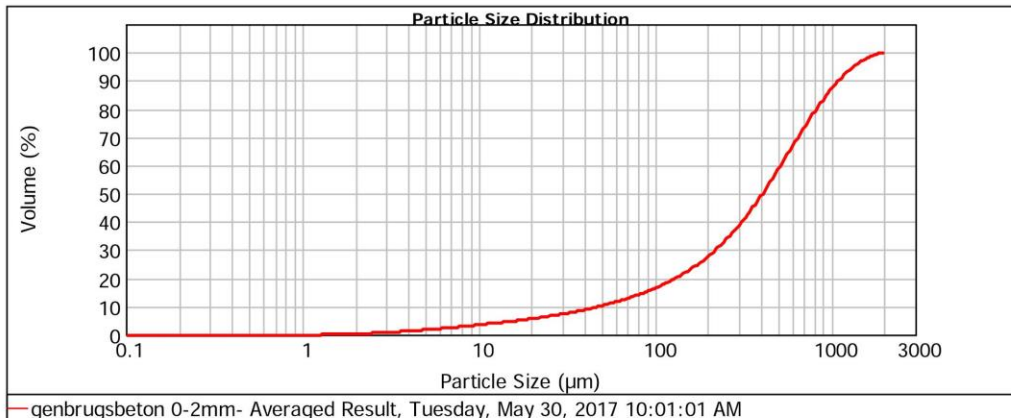
Particle Rf: 1.500
Absorption: 0
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Obscuration: 1.93 %

Dispersant Name:
Dispersant Rf: 1.000
Weighted Residual: 0.548 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0041 %Vol
Span : 2.575
Uniformity: 0.785
Result units: Volume

Specific Surface Area: 0.0895 m²/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 67.007 um
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 501.886 um

d(0.1): 48.185 um d(0.5): 407.746 um d(0.9): 1098.169 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.41	120.226	2.02	1258.925	2.88
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.04	13.183	0.43	138.038	2.30	1445.440	2.06
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.09	15.136	0.45	158.489	2.64	1659.587	1.14
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.12	17.378	0.48	181.970	3.03	1905.461	0.27
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.14	19.953	0.52	208.930	3.46	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.17	22.909	0.56	239.883	3.93	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.19	26.303	0.62	275.423	4.43	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.22	30.200	0.68	316.228	4.92	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.24	34.674	0.76	363.078	5.38	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.27	39.811	0.84	416.869	5.75	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.29	45.709	0.93	478.630	6.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.31	52.481	1.03	549.541	6.08	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.33	60.256	1.14	630.957	5.97	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.35	69.183	1.27	724.436	5.65	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.36	79.433	1.41	831.764	5.14	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.38	91.201	1.58	954.993	4.47	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.40	104.713	1.78	1096.478	3.70		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170530andersogjonas



Result Analysis Report

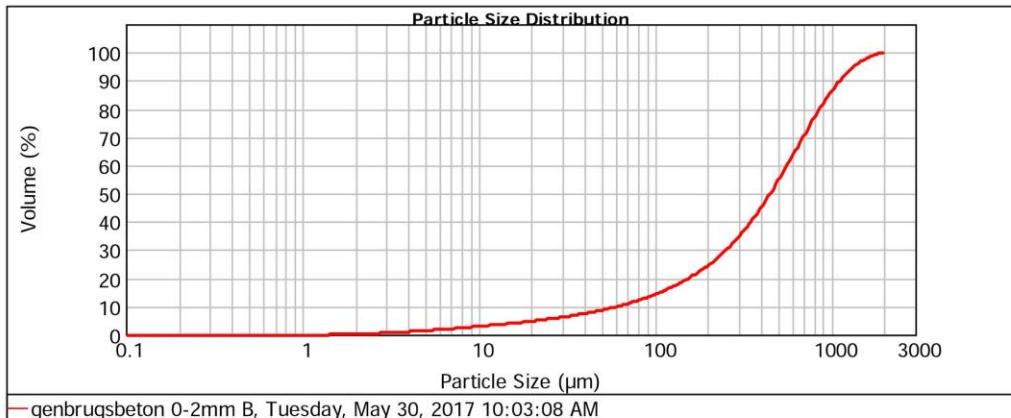
Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm B
Sample Source & type:
Paris
Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Beton
Measured by:
malm
Result Source:
Measurement

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:03:08 AM
Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:03:10 AM

Particle Name: Beton	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle Rf: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 1.32 %
Dispersant Name:	Dispersant Rf: 1.000	Weighted Residual: 0.363 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0032 %Vol	Span : 2.349	Uniformity: 0.72	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.0766 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 78.356 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 531.826 um	

d(0.1): 60.950 um d(0.5): 450.990 um d(0.9): 1120.201 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.35	120.226	1.84	1258.925	3.08
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.01	13.183	0.37	138.038	2.10	1445.440	2.13
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.08	15.136	0.39	158.489	2.41	1659.587	1.16
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.10	17.378	0.41	181.970	2.77	1905.461	0.27
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.12	19.953	0.45	208.930	3.19	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.14	22.909	0.48	239.883	3.67	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.16	26.303	0.53	275.423	4.20	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.18	30.200	0.59	316.228	4.78	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.20	34.674	0.65	363.078	5.37	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.22	39.811	0.72	416.869	5.92	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.24	45.709	0.81	478.630	6.35	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.26	52.481	0.90	549.541	6.61	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.28	60.256	1.00	630.957	6.62	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.30	69.183	1.12	724.436	6.34	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.31	79.433	1.27	831.764	5.78	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.32	91.201	1.43	954.993	4.99	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.34	104.713	1.62	1096.478	4.06		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



Result Analysis Report

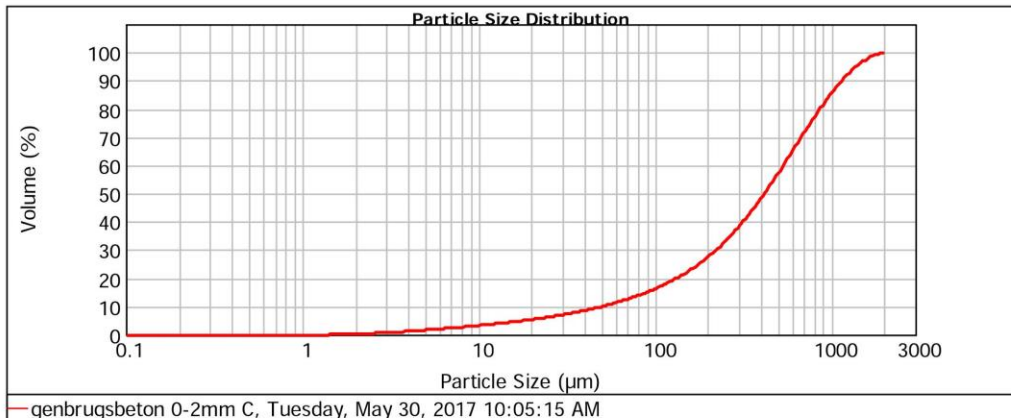
Sample Name:
genbrugsbeton 0-2mm C
Sample Source & type:
Paris
Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Beton
Measured by:
malm
Result Source:
Measurement

Measured:
Tuesday, May 30, 2017 10:05:15 AM
Analysed:
Tuesday, May 30, 2017 10:05:16 AM

Particle Name: Beton	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle Rf: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 2.90 %
Dispersant Name:	Dispersant Rf: 1.000	Weighted Residual: 0.776 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0063 %Vol	Span : 2.626	Uniformity: 0.801	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.085 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 70.572 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 518.659 um	

d(0.1): 49.904 um d(0.5): 417.552 um d(0.9): 1146.315 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.40	120.226	2.02	1258.925	3.26
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.01	13.183	0.42	138.038	2.31	1445.440	2.39
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.09	15.136	0.45	158.489	2.63	1659.587	1.35
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.11	17.378	0.48	181.970	3.00	1905.461	0.32
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.13	19.953	0.52	208.930	3.40	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.16	22.909	0.57	239.883	3.84	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.16	26.303	0.57	275.423	3.84	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.18	30.200	0.63	316.228	4.28	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.23	34.674	0.77	363.078	4.72	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.25	39.811	0.85	416.869	5.14	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.27	45.709	0.94	478.630	5.75	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.29	52.481	1.04	549.541	6.30	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.31	60.256	1.15	630.957	6.99	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.33	69.183	1.27	724.436	7.76	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.34	79.433	1.41	831.764	8.61	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.36	91.201	1.58	954.993	9.54	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.38	104.713	1.78	1096.478	10.56		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.40	120.226	2.02	1258.925	11.70		

Operator notes:

C – Data for karakteristik af genbrugsbeton

C1 – Trykstyrke for A og B-prøverne

Resultater trykstyrke							
ref v/c 0.5 gamle	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,745	7854,0	235000	29,9	28,584		
2	3,760	7854,0	243000	30,9			
3	3,740	7854,0	248000	31,6			
4 *	3,730	7854,0	172000	21,9			

3,0
6,7

0,8 1,6

Resultater trykstyrke							
ref v/c 0.5	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,780	7854,0	242000	30,8	30,048		
2	3,790	7854,0	236000	30,0			
3	3,805	7854,0	242000	30,8			
4 *	3,790	7854,0	224000	28,5			

0,8
1,5

Resultater trykstyrke							
A1	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,710	7854,0	239000	30,4	28,298		
2	3,705	7854,0	191000	24,3			
3	3,715	7854,0	232000	29,5			
4	3,700	7854,0	227000	28,9			

2,1
4,0

Resultater trykstyrke							
A2	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,745	7854,0	294000	37,4	30,685		
2	3,740	7854,0	292000	37,2			
3	3,705	7854,0	187000	23,8			
4	3,685	7854,0	191000	24,3			

6,7
6,4

Resultater trykstyrke							
B1	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,690	7854,0	172000	21,9	21,932		
2	3,685	7854,0	182000	23,2			
3	3,670	7854,0	182000	23,2			
4	3,665	7854,0	153000	19,5			

1,2
2,5

Resultater trykstyrke							
B2	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,690	7854,0	199000	25,3	21,741		
2	3,670	7854,0	166000	21,1			
3	3,688	7854,0	163000	20,8			
4	3,655	7854,0	155000	19,7			

3,597
2,005

Resultater trykstyrke							
B1 (v) ny	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,670	7854,0	155000	19,7	20,722		
2	3,690	7854,0	172000	21,9			
3	3,690	7854,0	164000	20,9			
4	3,695	7854,0	160000	20,4			

1,178
0,987

C2 – Porøsitet og densitet for A-prøverne

	A1 (v) Top	A1 (v) mid	A1 (v) bund	A2 (v) top	A1 (v) mid	A1(v) bund
Tørvægt	331,28	354,2	338,87	352	345,3	349,3
Vægt under vand	215,72	230,4	219	225,21	223,1	224,2
Vægt over vand	357,7	377,23	360,2	373,5	372,52	368,3
Væske	141,98	146,83	141,2	148,29	149,42	144,1
Volumen	0,142	0,147	0,141	0,149	0,150	0,144
Vpå	0,026	0,023	0,021	0,022	0,027	0,019
Porøsitet åben	0,186	0,157	0,151	0,145	0,182	0,132
Tør densitet	2328	2407	2395	2368	2306	2419
Faststof Densitet	2075	2647	2612	2851	2229	3096

D - Data for karakteristik for genbrugsbeton med tegl

D1 - Porøsitet og densitet for A-prøverne med tegl

	A1 (30) Top	A1 mid (30)	A1 bund (30)	A1 top (60)	A1 mid (60)	A1 bund (60)	A1 top (90)	A1 mid (90)	A1 bund (90)
Tørvægt	230	250	189	245	294	267	238	208	249
Vægt under vand	142	154	116	152	181	165	145	133	129
Vægt over vand	245	269	209	262	313	283	256	223	268
Væske	103	115	93	110	133	117	111	89	139
Volumen	0,103	0,115	0,093	0,110	0,133	0,118	0,111	0,090	0,139
Vpå	0,015	0,019	0,020	0,016	0,020	0,015	0,018	0,014	0,019
Porøsitet åben	0,145	0,167	0,211	0,149	0,148	0,132	0,166	0,159	0,138
Tør densitet	2224	2164	2027	2222	2213	2272	2140	2328	1788
Faststof Densitet	1770	1690	991	1848	2294	2299	1610	1443	2087

	A2 top (30)	A2 mid (30)	A2 bund (30)	A2 top (60)	A2 mid (60)	A2 bund (60)	A2 top (90)	A2 mid (90)	A2 bund (90)
Tørvægt	220	219	240	257	229	185	243	253	227
Vægt under vand	135	135	148	173	141	113	145	156	140
Vægt over vand	235	235	255	273	247	202	260	271	244
Væske	100	100	106	100	106	89	115	115	104
Volumen	0,100	0,100	0,107	0,100	0,106	0,089	0,115	0,115	0,104
Vpå	0,014	0,016	0,015	0,016	0,018	0,017	0,017	0,018	0,017
Porøsitet åben	0,145	0,157	0,139	0,159	0,172	0,196	0,150	0,158	0,166
Tør densitet	2205	2188	2248	2565	2155	2075	2103	2191	2177
Faststof Densitet	1691	1545	1929	1801	1488	1037	1830	1813	1526

D2 - Trykstyrke af A-prøverne med tegl

Resultater trykstyrke							Spredning
ref v/c 0.5	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,780	7854,0	242000	30,8	30,048		0,8
2	3,790	7854,0	236000	30,0			1,5
3	3,805	7854,0	242000	30,8			
4 *	3,790	7854,0	224000	28,5			

Resultater trykstyrke							Spredning
A1 30	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,500	7854	172000	21,9	23,969		4,9
2	3,705	7854	191000	24,3			3,2
3	3,715	7854	163000	20,8			
4	3,700	7854	227000	28,9			

Resultater trykstyrke							Spredning
A1 60	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,665	7854	214000	27,2	26,229		1,0
2	3,740	7854	232000	29,5			1,9
3	3,705	7854	187000	23,8			
4	3,542	7854	191000	24,3			

Resultater trykstyrke							Spredning
A1 90	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,690	7854	172000	21,9	24,478		5,1
2	3,685	7854	182000	23,2			2,6
3	3,670	7854	232000	29,5			
4	3,665	7854	183000	23,3			

Resultater trykstyrke							Spredning
A2 30	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,770	7854	211000	26,9	26,993		2,2
2	3,745	7854	230000	29,3			2,8
3	3,740	7854	217000	27,6			
4	3,755	7854	190000	24,2			

Resultater trykstyrke							Spredning
A2 60	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,695	7854	234000	29,8	27,375		2,4
2	3,702	7854	220000	28,0			2,0
3	3,687	7854	199000	25,3			
4	3,705	7854	207000	26,4			

Resultater trykstyrke							Spredning
A2 90	Vægt [kg]	Areal [mm ²]	Tryk [N]	Trykstyrke [MPa]	Gennemsnit trykstyrke [Mpa]		
1	3,670	7854	238000	30,3	26,802		3,5
2	3,685	7854	176000	22,4			4,9
3	3,670	7854	256000	32,6			0,0
4	3,670	7854	172000	21,9			0,0

E1 - Teglsten

Bilag E1 viser teglstene produceret af Vesterled Teglværk samt datablad der er benyttet i blandingerne.



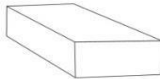
Teglsten fra byggemarked og tilhørende produktinformation.

E2 - Tegl Datablad

YDEEVNEDEKLARATION FOR TEGLBYGGESTEN

No. HT-03-01-03-2016

1. Vare type: Byggesten U Kategori I
2. Identifikation: Prøvegruppe - HT-03 - se bilag 1
3. Tilsigtet anvendelse: Ubeskyttet murværk
4. Fabrikant: Helligsø Tegl. A/S
Helligsøvej 34
DK-7760 Hurup
6. Vurdering og kontrol af ydeevnens konstans: System 2+
7. Notificeret FPC certificeringsorgan: Nr. 1073 udførte indledende inspektion af fabriksanlæg og fabrikkens egen
produktion kontrol, samt kontinuerlig overvågning, vurdering og evaluering af fabrikkens egen
produktion kontrol efter system 2+ og udstedte overensstemmelsesattest for fabrikkens egen
produktion kontrol, certifikat nr. 1073-CPR-M206
9. Deklarerede egenskaber:

Væsentlige egenskaber		Deklareret ydeevne	Harmoniseret standard
Dimensioner	Længde	228 mm.	DS/EN771-1 2011+A1:2015
	Bredde	108 mm.	
	Højde	54 mm.	
	Tolerance	T2	
	Vidde	NPD	
Konfiguration	Udformning		
	Gruppe	G1	
Trykstyrke	Middeltrykstyrke	40 Mpa (N/mm ²)	
	Normaliceret	30 Mpa (N/mm ²)	
	Retning af tryk	Vinkelret på liggeflade	
Fugtbevægelser		NPD	
Vedhæftningsstyrke (Tabelværdi)		NPD	
Indhold af opløselige salte		S0	
Brandbarhed		A 1	

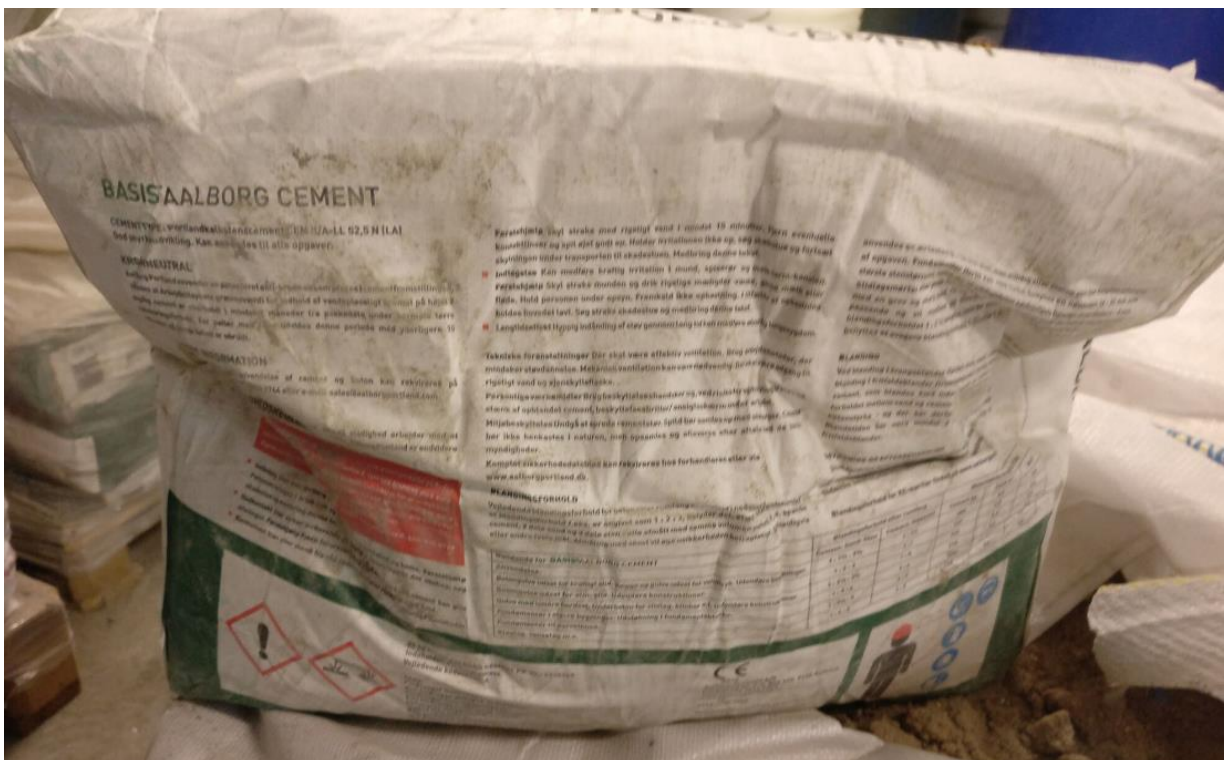
Vandoptagelse	NPD
Vanddampdiffusionsmodstand	EN 1745 Tabel 1
Lydisolering (Bruttodensitet og konfiguration)	1950 kg/m ³ (D1)
Netto tørdensitet	NPD
Frostbestandighed	F2
Farlige stoffer	NPD

Datablad: <http://www.egernsund-tegl.dk/produkter/mursten/13-1.2.03-r%C3%B8d-egebark> sidst besøgt d. 14/06 2017

E3 - Kapillarsugning for tegl

t [min]	Mt1	Q	t [min]	Mt2	Q
0	0,249	0,0	0	0,24	0,0
1	0,254	3,8	1	0,25	5,8
2	0,260	8,1	2	0,25	7,5
4	0,267	12,9	4	0,26	12,7
8	0,269	14,2	8	0,26	14,7
16	0,269	14,4	16	0,26	14,9
32	0,269	14,6	32	0,26	15,0
60	0,270	14,7	60	0,26	15,1
120	0,270	14,8	120	0,26	15,2
240	0,270	14,9	240	0,26	15,3
360	0,270	15,1	360	0,26	15,4

E4 – Cement Basis Aalborg Portland

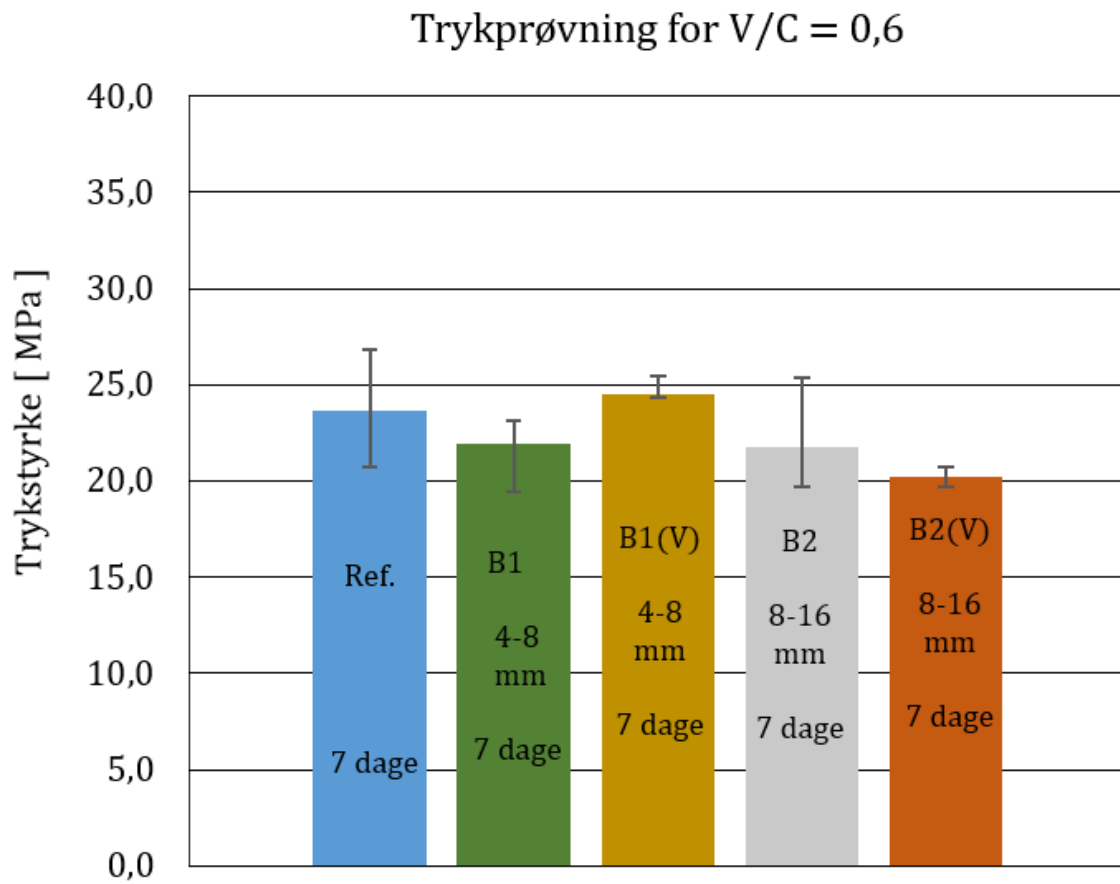


E5 – Tabelværdi for porøsitet og densitet af konventionel beton

Tabel 1. Densitet og porøsitet.

Materiale	Faststoffdensitet, ρ_f [kg/m ³]	Tørdensitet, ρ_d [kg/m ³]	Porøsitet, p [%]
Vand	1000		
Is	917		
Metaller			
Platin	21400		
Bly	11400		
Kobber	8960		
Jern/Stål	7850		
Zink	7130		
Aluminium	2700		
Magnesium	1740		
Silikat- og stenmaterialer			
Diabas	2900 - 3000		
Marmor	2650 - 2700	2600 - 2700	0,5 - 2,0
Granit	2650 - 2700	2600 - 2700	0,5 - 1,5
Kalksten	2700	2600	4
Sandsten	2700	2100 - 2400	11 - 22
Beton, v/c = 0,4	2650	2350 - 2450	5 - 10
Beton, v/c = 0,6	2650	2150 - 2350	10 - 20
Beton, v/c = 0,8	2650	1900 - 2250	15 - 30

E6 - Første trykprøvning for V/C=0,6



DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Technical University of Denmark

Brovej, Building 118
2800 Kgs. Lyngby
Telephone 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk