

Genbrug af betonaffald i produktion af ny beton

- Undersøgelse af styrke egenskaber i genbrugsbeton



Hussein Awad – S113967

Diplom-afgangsprojekt

Department of Civil Engineering
2017

DTU – BYG
Juni 2017

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

Forord

I forbindelse med diplom-afgangsprojekt, er rapport og data udarbejdet under perioden 1. februar 2017 til 22. juni for instituttet DTU – Byggeri og Anlæg. Projektet er 20 ECTS, under vejledning af Lisbeth M. Ottesen og Gunvor Marie Kirkelund.

En stor tak rettes mod Lisbeth M. Ottesen og Gunvor Marie Kirkelund for sparringsessionerne og vejledningen under forløbet, som har været til stor hjælp.

Endnu et stort tak rettet mod laboranten Ebba Cederberg Schnell som har været en kæmpe hjælp gennem flere forsøg udført i laboratorierne.

En sidste særlig tak til Thomas Uhd, Anne Rosenkilde Lajer, Jens Nord og Erik Lauritzen, for at overværer midtvejs fremlæggelsen og for at udveksle ideer.

Henvisning til litteratur er beskrevet under reference listen.

Rapport er udarbejdet af Hussein Awad.

Danmarks Tekniske Universitet

Kongens Lyngby

22. juli 2017

Hussein Awad

Abstract

In this project, it is shown how the properties of recycled aggregates mixed with asphalt will be investigated. Studies of w/c ratio shows how well the recycled aggregates react with cement.

Recycled aggregate samples has been tested and it's shown that the workability is good regardless of the mixture. By increasing the samples gradually with recycled aggregates, there is shown a negative effect on the concrete strength. Bolomeys

A series of experimental investigation has been completed for the recycled aggregates. Experimental work is done to see if there is a connection between the strength development of the concrete and density, porosity and the rate of absorption. There has been made minor comparisons with other studies.

It has been determined, with the use of Bolomeys formula, that the results of the recycled aggregates are higher thus weaker. By experimental work it is shown that the recycled aggregates destabilize the concrete therefor unable to use for sustainable constructions.

Indholdsfortegnelse

Figurliste	1
Tabel liste.....	1
1. Indledning.....	3
2. Teori.....	4
2.1. Beton	4
2.1.1. Opbygning af beton	4
2.1.2. Tilslag.....	4
2.1.3. Hærdning og styrke	5
2.1. Asfalt.....	8
3.1. Metode og materialer	9
3.2. Absorption	9
3.3. Syreoplukning	9
3.4. Porøsitet og densitet	11
3.5. Sigteanalyse.....	13
3.6. Trykstyrke	14
3.5.1. Støbning.....	14
3.5.2. Trykstyrke	18
4. Resultater/ diskussion	20
4.1. Absorption	20
4.2. Syreoplukning.....	20
4.3. Porøsitet og densitet	21
4.4. Sigteanalyse.....	22
4.5. Trykstyrke	23
4.5.1. Luftindhold/sætmål	23
4.5.2. Trykstyrke for 28 dage	24
4.5.2. Trykstyrke for 7 dage	25
4.5.3. Lufthavnsbeton.....	26
4.5.3. Den regningsmæssige trykstyrke.....	27
4.6. Samlet diskussion	27
5. Konklusion	29
Referenceliste.....	30
Bilag	31

Figurliste

Figur 1 - Faser i beton ([BM2008] s.50)	4
Figur 2 – Hydratiseringsprocessen ([BM2008] s.57).....	5
Figur 3 – Sætmål ([BM2008] s.56)	5
Figur 4 - Små tilslag under salpetersyre	10
Figur 5 - Små pulver tilslag under salpetersyre	10
Figur 6 - Store tilslag under salpetersyre.....	10
Figur 7 - Store pulver tilslag under salpetersyre	10
Figur 8 - Illustration af prøver som filter.....	11
Figur 9 - Prøverne i 105 graders ovn	11
Figur 10 - Udskårne skiver	11
Figur 11 - Udskårne skiver	11
Figur 12 - Prøverne i en eksikator.....	12
Figur 13 - Vakuumpumpe	12
Figur 14 - Opfyldning af destilleret vand i vakuum	12
Figur 15 - Tilslags intervaller.....	13
Figur 16 - Lasermåler	13
Figur 17 - Kornsigte.....	13
Figur 18 - BASIS Portland Cement	15
Figur 19 - BASIS Portland Cement	15
Figur 20 - 1/3 fyldes op.....	16
Figur 21 - Der stemples 25 gange	16
Figur 22 - Sætmåling.....	16
Figur 23 - Luftmåler	17
Figur 24 - Luftmåler	17
Figur 25 - Formolie dispenser	18
Figur 26 - Ø100X200 Cylinderform	18
Figur 27 - TONY 3000.....	19
Figur 28 - Cylinder under tryk.....	19
Figur 29 - Gennemsnit for porøsitet.....	21
Figur 30 - Gennemsnit for overflade tørtæthed	22
Figur 31 - Logaritmisk kornkurve.....	22
Figur 32 – Sætmål for $v/c = 0,5$	23
Figur 33 - Luftindhold i beton	24
Figur 34 - Trykstyrken for 28 dage.....	24
Figur 35 - Illustration af brud ved asfalts stykke	25
Figur 36 - Trykstyrken for 7 dage	26
Figur 37 - Trykstyrken for lufthavnsbeton	27

Tabel liste

Tabel 1 – Basis cement konstanter for Bolomeys formel ([CB2010] s.88).....	6
Tabel 2 - Blandingsopskrift for 50 % erstattet.....	14
Tabel 3 - Blandingsopskrift til videre forsøg.....	15
Tabel 4 - Vandabsorption [%]	20

Tabel 5 - Vægt difference efter syreoplukning (asfalt).....	20
Tabel 6 - Vægt difference efter syreoplukning (lufthavn)	20

1. Indledning

Denne rapport omhandler hvorvidt genbrug af betonaffald kan udnyttes til bærende konstruktioner, med fokus på trykstyrken. For udvidet viden vil enkelte resultater sammenlignes med lignende rapporter, udarbejdet af elever på DTU, som også gennemgået samme forsøg og proces.

Genanvendelse af råstoffer fra bygge- og anlægsaffald vil være en primitiv løsning til at spare på råstofferne, da det er en begrænset resurse. Der ville være mindre gene for miljøet, ved øget genbrug af råstoffer, og reducere pladsen til deponering. Udnyttelse af materialernes energiindhold ville være en god ting for miljøet.

Genbrugsaggregaterne som er tilknyttet rapporten stammer fra House of Prince, den ældste bygning i Tobaksbyen ude i Gladsaxe. House of Prince blev bygget i 1952 og har været tobaksfabrik. Den indendørs gulvbelægning i maskine hallerne bestod af asfalt.

Den afhentede beton er derfor blandet med asfalt, med større mængde af asfalt. Dog testes aggregaterne stadig for styrke.

I rapporten beskrives en række forsøg med genbrugsaggregaterne, for at opnå viden omkring aggregaternes egenskaber i forhold til kvalitet og styrke.

2. Teori

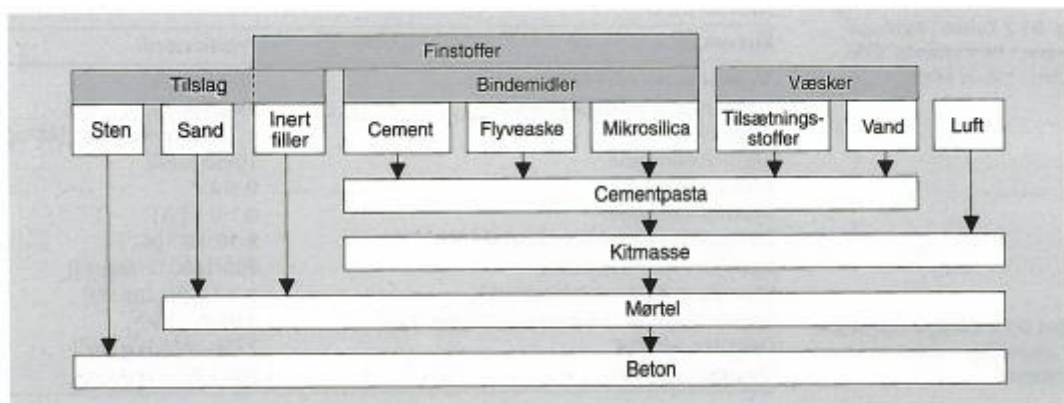
I dette afsnit, vil det relevante teori for projektet beskrives med viden fra bøger.

2.1. Beton

Beton er det mest efterspurgte materiale på verdensplan, eftersom dets egenskaber og bearbejdelse gør det anvendeligt, til f.eks. byggeri, til en billig pris. Som standard består beton af sand og sten, som er kittet sammen af en blanding mellem vand og cement, også kaldet cementpasta.

2.1.1. Opbygning af beton

Når cement kommer i kontakt med vand afbindes/hærdes det, og derfor fungerer det som hydraulisk bindemiddel. I tilfælde af mindskning af energiforbruget og pris ønskes, erstattes dele af cementen med mineralske pulver, såsom flyveaske eller mikrosilica. Når flyveaske eller mikrosilica reagerer med calciumhydroxid, dannes produkter tilsvarende reaktionsprodukter fra cement, da begge erstatningsmaterialer er puzzolaner. På Figur 1 ses de forskellige niveauer i betonens faser.



Figur 1 - Faser i beton ([BM2008] s.50)

2.1.2. Tilslag

Omkring 75% af betons volumen består af sand og sten. Maksimeret mængde af tilslag i beton, resulterer i betons styrke, samt kvalitet øges til billigere pris.

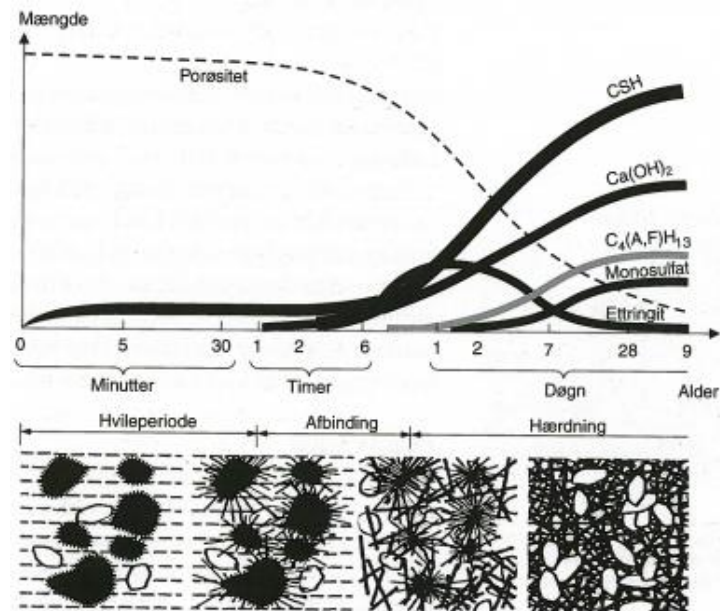
Klassificeringen af tilslag til beton bestemmes gennem porøsitet og densitet, sigteanalyse, og gradering. Sigteanalysen og gradering har betydning, for hvor stor en mængde tilslag, betonblandingen kan indeholde.

Grundet naturlige tilslag, kan densiteten af beton, komme over 2000 kg/m³. Ved brug af tilslag med ru overflade, forbedres bindingen mellem tilslag og cementpasta.

2.1.3. Hærdning og styrke

2.1.3.1. Hærdning

Ved hydratisering har cementpastaen væskeegenskaber i få timer, hvorefter det hærdes til fast form. Desto længere tid der går, jo mindre porøst bliver blandingen samtidig med at styrken stiger, så længe hærdningsprocessen er i gang. På Figur 2 ses en forenklet udgave af hydratiseringsprocessen.



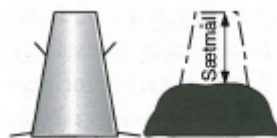
Figur 2 – Hydratiseringsprocessen ([BM2008] s.57)

2.1.3.2. V/c-forhold

V/c-forholdet er en parameter hvor mængden af vand i forhold til cement beregnes. Denne parameter er afgørende for betonens holdbarhed. I DS 481 findes kravene i forhold til v/c-forholdet og betons styrkeklasser. Der stilles krav til et maksimalt v/c-forhold i de forskellige miljøklasser. Teoretisk set er v/c-forholdet på 0,4 det mest optimale, hvorledes styrken reduceres ved større v/c-forhold.

2.1.3.3. Sætmål

For at kunne lave en beskrivelse af betons bearbejdelighed, anvendes sætmåls metoden. På Figur 3 ses det at sætmålet måles fra betonmassen til keglens højde. Skæv udfyld er indikation for at betonen kan bryde.



Figur 3 – Sætmål ([BM2008] s.56)

2.1.3.4 Styrke

Cementpastaens styrke er afgørende for hvor stærk beton kan blive, dog har tilslag, cementmængde og type, også en betydning for styrke. Porøsiteten af cementpastaen bestemmes ved hydratiseringsgraden, samt v/c-forholdet. Ved reducerende porøsitet stiger materialets styrke.

En af egenskaberne, som beton besidder, er trykstyrken. Trykstyrken udnyttes til bærende konstruktioner og skal ifølge DS/EN1992-1-1¹, testes på Ø100 X 200 cylinderformede støbninger, hvor styrken måles efter 28 dages hærdning, disse resultater bruges som dokumentation. Den karakteristiske styrke i beton identificeres som $f_{ck} - 5\%$ fraktil².

2.1.3.4.1. Bolomeys formel

Efter en termin af 28 hærdedage, vil der ved styrkemåling være opnået ca. samme hærdningsgrad. Tilknytningen mellem styrke og v/c-forholdet fremgår i Bolomeys formel.

Bolomeys formel³ er kun gældende for beton med luftindhold på 1,5-2%, og hvor v/c-forholdet skal være mellem 0,45-1,25.

$$F_c = K * \left(\frac{1}{\frac{v}{c}} - \alpha \right)$$

F_c er den regningsmæssige trykstyrke for betonen.

K er en konstant, som bestemmes i forhold til cementtype og termin.

v/c er masse-forholdet.

α er en konstant, som bestemmes i forhold til cementtype og termin.

Det vises i formlen at lavt v/c-forhold fører til større styrke.

På Tabel 1 ses vejledende værdier for K og α . Viste værdier gælder kun for basis Aalborg Portland cement.

Tabel 1 – Basis cement konstanter for Bolomeys formel ([CB2010] s.88)

Cementtype	Termin døgn	K	α
Basis Cement	1	17	0,9
	7	26	0,6
	28	30	0,5

¹ Anvendes for beton med styrke mellem 12-90 MPa

² Værdien under 5% af målresultaterne forstås som, at være den karakteristiske værdi af betonen trykstyrke.

³ [CB2010] s. 87

Kvaliteten af tilslag har en lille indflydelse på konstanterne, og er baseret i forhold til tilslagsklassen.

2.1.3.5. Porøsitet og densitet

Porøsitet defineres, som porevolumen i forhold til totalvolumen. Jo mere faststof der er i materialet, jo mere kan egenskaberne i faststoffet dominere, ved f.eks. en øgende styrke ved faldende porøsitet.

Når hulrummene i et materiale har en vis størrelse, betegnes de som porer. Porerne kan være fyldt med luft eller vand. Hvis porerne er isoleret fra omverdenen, så betegnes de som lukkede porer. Hvis der er fri adgang til porer, betegnes de som åbne porer. Åbne porer kan ses, som enten sæk- eller gennemgående porer.

Densitet er generelt defineret som massen af materialet per volumenenhed i aktuel tilstand. Porøse materialer kan indeholde enten en tør masse, eller åbne porer med en masse af vand.

2.1.3.5. Miljøklasser

Afhængigt af hvad de enkelte konstruktionsdele skal bruges til, inddeles de i forskellige miljøklasser. Når der arbejdes med beton skal der altid tages hensyn til miljøforholdene, f.eks. vejrforhold.

For færdig beton gælder følgende 4 miljøklasser:

Passiv miljøklasse

Den passive miljøklasse benyttes typisk indendørs ved tørre miljøer, således korrosion ikke forekommer. Elementer i den passive miljøklasse bruges primært som ikke-bærende vægge eller jorddækkende fundament.

Moderat miljøklasse

Den moderate miljøklasse bruges i et fugtigt miljø, hvorledes frost og mætning af vand ikke er mulig. Betonelementer i moderat klasse anvendes til udvendige facader, vægge, søjler, installationskanaler, og til jorddækkende fundament i høj sikkerhedsklasse.

Aggressiv miljøklasse

I fugtige miljøer hvor betonelementer kan udsættes for frost, vandmætning, salt, og syrer skal den aggressive miljøklasse benyttes. Elementer i aggressiv klasse kan f.eks. være støttemurer, udvendige trapper, udvendige bjælker osv.

Ekstra aggressiv miljøklasse

Når der tale om konstruktionsdele, som anvendes til parkeringskældre, svømmebassiner, kanaler, og funderingspæle i moderat aggressiv grundvand, skal der benyttes den ekstra aggressive

miljøklasse. Valg af miljøklasse er baseret på, at der er mulighed for ophobning eller tilføjelse af alkalier eller klorider.

2.1. Asfalt

Almindelig asfalt/bitumens opbygning består af 95% tilslag i form af sten og grus og 5% bitumen bruges som bindemiddel.

Alt gammel asfalt kan genbruges, så længe det bliver varmeblandet med nyt asfalt, så mangler på komponenter fyldes ud.⁴

⁴ [asfalt]

3.1. Metode og materialer

I dette afsnit beskrives de udførte forsøg samt tilhørende materialer, som er brugt til at udføre projektet.

3.2. Absorption

Genbrugsaggregaterne på 4-8mm og 8-16mm skal, i hver sin spand, lægge under vand i mindst 1 døgn, således at de er vandmættede.

Tre våde prøver på ca. 100g af de store tilslag (8-16mm), og tørres ét døgn i et tørreskab på 105 grader. De tørre prøver afvejes og vægten noteres.

3.3. Syreoplukning

Metoden for syreoplukning udføres i henhold til DS/EN 12390-3.

Forsøget skal udføres på 4 prøver. En prøve, som består af knuste tilslag på 4-8mm, og en med knuste tilslag på 8-16mm. De 2 sidste prøver består af tilslag 4-8mm og 8-16mm, uden at de knuses.

Tilslagene på 4-8mm og 8-16mm knuses separat ved at, 25g tilslag lægges i ringknuseren. Maskinen startes og kører 30 min. De knuste tilslag sorteres i poser.

Mængden af cementpastaen findes ved, at betonprøverne opløses i salpetersyre.

Forsøget er udført på følgende måde:

Der afvejes ca. 20 g af hver enkelt prøve, og lægges i koniske kolber.

50 mL af ca. 50 grader varmt destilleret vand tilsættes og blandes.

10 mL salpetersyre 1% HNO_3 tilsættes langsomt og blandes (arbejdet udføres i stinkskab).

For at kontrollere at alt materiale er opløst, tilsættes yderligere 1 mL HNO_3 . Dette gøres indtil luftudvikling slutter.

Mængden af cementpastaen findes ved, at betonprøverne opløses i salpetersyre.

Forsøget er udført på følgende måde:

Der afvejes ca. 20 g af hver enkelt prøve, og lægges i koniske kolber.

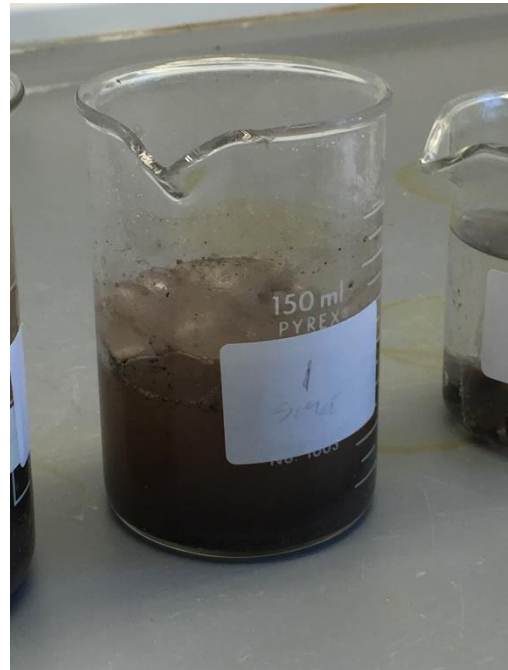
50 mL af ca. 50 grader varmt destilleret vand tilsættes og blandes.

10 mL salpetersyre 1% HNO_3 tilsættes langsomt og blandes (arbejdet udføres i stinkskab).

For at kontrollere at alt materiale er opløst, tilsættes yderligere 1 mL HNO_3 . Dette gøres indtil luftudvikling slutter.



Figur 4 - Små tilslag under salpetersyre



Figur 5 - Små pulver tilslag under salpetersyre



Figur 6 - Store tilslag under salpetersyre



Figur 7 - Store pulver tilslag under salpetersyre

Opløsningerne filtreres (alm filter) i et bægerglas.

Filteret skylles med 1% HNO_3 .

Destilleret vand tilsættes til en volumen 150mL.

Filtrene lægges i ovnen af 105 grader i et døgn.

Den tørre prøver afvejes.



Figur 8 - Illustration af prøver som filtreres



Figur 9 - Prøverne i 105 graders ovn

3.4. Porøsitet og densitet

De ekstra støbte betoncylindere skæres ud efter ét døgn's hærkning. Der skæres en skive ud på 1,5cm tyk, ca. 2cm fra toppen af cylinderen, og en skive på 1,5cm omkring midten af cylinderen, og tørres i min. 3 uger ved 50 graders varme.



Figur 10 - Udskårne skiver



Figur 11 - Udskårne skiver

For udførelse af analysen gøres følgende:

Skiverne vejes på en teknisk vægt (vægt noteres).

Skivestykkerne lægges i en eksikator med låg og hane tilsluttet en vakuumpumpe.

Der pumpes for luft i 3 timer.

En slange fra en dunk med destilleret vand med stuetemperatur, tilsluttes til hanen i stedet for vakuumslangen, og hanen åbnes.

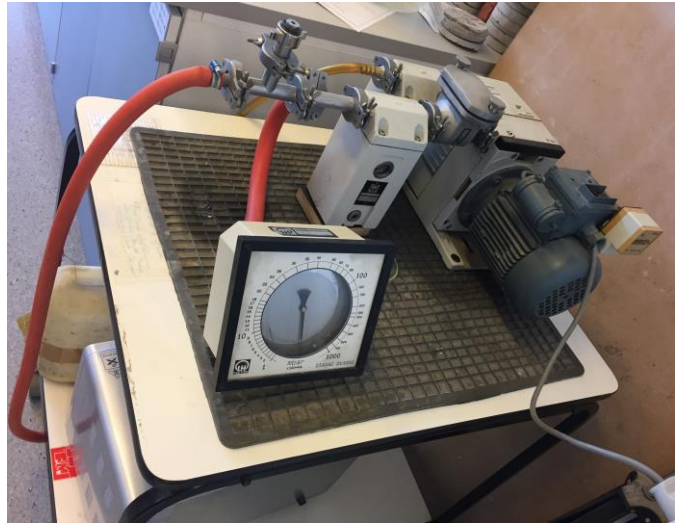
Når vandet er fyldt op til ca. 5cm over skiverne, lukkes hanen.

Efter 1 time åbnes hanen, og prøverne skal lægge under vand i et døgn, ved atmosfæretryk.

De vandmættede skiver vejes på en teknisk vægt. Først under vand og overfladen tørres af med en våd presset klud. Skiverne vejes igen over vand. Skivernes vægte noteres.



Figur 12 - Prøverne i en eksikator



Figur 13 - Vakuumpumpe



Figur 14 - Opfyldning af destilleret vand i vakuum

3.5. Sigteanalyse

Sigteanalysen er udført i henhold til DS-EN 933-1-2012.

Der afvejes 10 kg genbrugsaggregater som efterfølgende sigtes. Der sigtes i ca. 15 min på vibratorbordet med metalsigter. Metalsigternes maskevidde er: 31,5-16-8-4-2-0 mm (bunden).

Der sigtes 5 kg af gangen, herefter afvejes der for hvert interval (vægt noteres).



Figur 15 - Tilslags intervaller

For at finde størrelses intervallet for aggregaterne mellem 2-0 mm, sigtes der 5 gram gennem lasermåleren.

En lille ske bruges til at fylde en fin linje i midten af apparatet, hvorefter maskinen startes. Dette gentages 3 gange.

Resultaterne computeren gemmes på en USB.



Figur 16 - Lasermåler



Figur 17 - Kornsigte

3.6. Trykstyrke

3.5.1. Støbning

Herunder beskrives metoden for støbning af prøver, blandet med genbrugsaggregater og reference prøver. Geometri og dimensioner i henhold til DS/EN 12390-1, hvor fremgangsmåde for opfyldning af cylindere, er henhold til DS/EN 12390-2.

3.5.1.1. Proportionering

Genbrugsaggregaterne sigtes til størrelserne 4-8 mm og 8-16 mm. Tilslagene skylles, og herefter tørres de i ovnen på 55 grader i 4 dage, således at de er klar til blanding.

Betonblandingsopskrifter for 50 % erstattet genbrugsaggregater vises på Tabel 2.

Tabel 2 - Blandingsopskrift for 50 % erstattet

Prøvenavne	Antal prøvelegemer	CEM II (Kg/m ³)	Vand (Kg/m ³)	Sand (Kg/m ³)	Jomfruelige aggregater		Genbrugsaggregater	
					Grus-fin 4-8 mm (Kg/m ³)	Grus-grov 8-16 mm (Kg/m ³)	Grus-fin 4-8 mm 50 % (Kg/m ³)	Grus-grov 8-16 mm 50 % (Kg/m ³)
Ref-tør (v/c=0,5)	4	344	172	742	554	554	-	-
Ref-tør (v/c=0,6)	4	287	172	762	554	554	-	-
A1,50 (v/c=0,5)	4	344	172	742	554	277	-	277
A2,50 (v/c=0,5)	4	344	172	742	277	554	277	-
B1,50 (v/c=0,6)	4	287	172	762	554	277	-	277
B2,50 (v/c=0,6)	4	287	172	762	277	544	277	-

Blandingerne er henholdsvis blandet med v/c-forholdet 0,5 eller 0,6. Følgende punkter beskriver blandingens opfyldningsrækkefølge:

Først tilsættes tilslagene på 4-8 mm og 8-16 mm i betonblanderen.

Halvdelen af sandet hældes op efterfulgt af cementen, derefter det resterende sand, som blandes i 1 minut. Vand tilsættes og blandes i 3 minutter.

De første støbninger blev støbt med Dani Hassan⁵. Senere, laves der videreforskning med opskrifterne på Tabel 3, og lufthavnsbetonen skiftes ud med betonaffald fra Tobaksbyen.

Tabel 3 - Blandingsopskrift til videre forsøg

	Jomfruelige aggregater	Genbrugsaggregater
--	------------------------	--------------------

⁵ [DH2017]

Prøvenavn	Antal prøvelegemer	CEM II (Kg/m ³)	Vand (Kg/m ³)	Sand (Kg/m ³)	Grus-fin 4-8 mm (Kg/m ³)	Grus-grov 8-16 mm (Kg/m ³)	Grus-fin 4-8 mm (Kg/m ³)	Grus-grov 8-16 mm (Kg/m ³)
A1,30 (v/c=0,5)	5	344	172	742	554	387,8	-	166,2
A2,30 (v/c=0,5)	5	344	172	742	387,8	554	166,2	-
A1,60 (v/c=0,5)	5	344	172	742	554	221,6	-	332,4
A2,60 (v/c=0,5)	5	344	172	742	221,6	554	332,4	-
A1,90 (v/c=0,5)	5	344	172	742	554	55,4	-	498,6
A2,90 (v/c=0,5)	5	344	172	742	54,4	554	498,6	-

Cementtypen, som er brugt til blandingen, er BASIS Portland Cement.



Figur 18 - BASIS Portland Cement



Figur 19 - BASIS Portland Cement

3.5.1.2. Sætmål

Metode udføres i henhold til DS/EN 12350-2. Udførelse af sætmål gøres på følgende måde:

1/3 af sætmålskeglen op med betonblanding, og der stemples 25 gange, ned i blandingen.

2/3 af keglen fyldes op og der stemples igen.

3/3 af keglen fyldes op og der stemples igen.

Der fyldes op til kanten af keglen uden af der stemples.

Sætmålskeglen spindes stille og roligt af blandingen.

Herefter måles højden, og blandingens formbarhed vurderes. Billede viser eksempel på sætmåling.

1/3 af sætmålskeglen op med betonblanding, og der stemples 25 gange, ned i blandingen.

2/3 af keglen fyldes op og der stemples igen.

3/3 af keglen fyldes op og der stemples igen.

Der fyldes op til kanten af keglen uden af der stemples.

Sætmålskeglen spindes stille og roligt af blandingen.

Herefter måles højden, og blandingens formbarhed vurderes. Billede viser eksempel på sætmåling.



Figur 21 - Der stemples 25 gange



Figur 22 – Sætmåling



Figur 20 - 1/3 fyldes op

3.5.1.3. Luftindhold

Metode udføres i henhold til DS/EN 12350-7. Luftindhold måles for alle cementblandinger. Luftindhold måles ved følgende:

1/3 af luftmålerbeholderen fyldes med betonblandingen og vibreres.

2/3 fyldes op og vibreres.

3/3 fyldes op og vibreres.

Beholder kanten tørres af, og måleren monteres.

Vand sprøjtes med sprøjterør ind i den ene ventil, indtil ren vand kommer ud af den anden for at fjerne det resterende luft.

Ventilerne lukkes straks, og driftstryk påføres via luftpumpe (røde knop på Figur 23).

Måleren indstilles og trykket udløses.

Luftmængden aflæses og noteres. Når beton vibreres skal det gøres i så kort tid som muligt, for at opnå absolut komprimering.



Figur 23 - Luftmåler



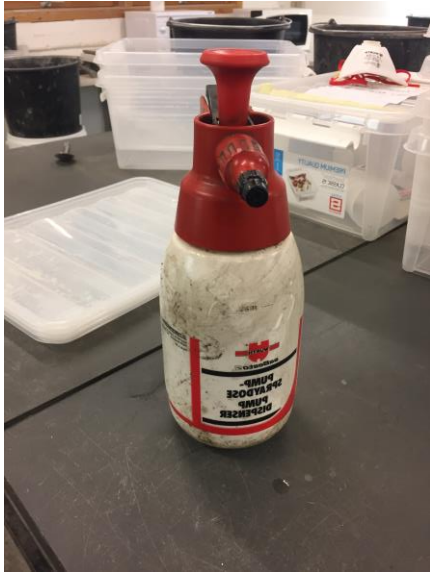
Figur 24 - Luftmåler

3.5.1.4. Cylinder forme

Metode udføres i henhold til DS/EN 12390-2-2012.

Indersiden af forme og metallåg smøres med formolie. Cylinder formen fyldes med tre lag beton, hvor vibrering foregår mellem fyldningerne. Kanten af formen tørres af, og metallåg spændes fast. Betonen får lov til at hærde i et døgn, i cylinderformene. Betonen presses ud af formene og lægges i bassinet. Når hærningstiden er nået, er cylindererne klar til tryk test.

Der bruges cylinder forme af $\varnothing 100 \times 200$ mm.



Figur 25 - Formolie dispenser



Figur 26 - Ø100X200 Cylinderform

3.5.2. Trykstyrke

Trykstyrken testes i henhold til DS/EN 12390-3. Til test af trykstyrken bruges trykmaskinen TONY 3000. Maskinen indstilles efter cylinder $\text{Ø}100\text{X}200$ mm. De cylinderformede støbninger anbringes i trykmaskinen TONY 3000, og der trykkes start.

Cylinderens trykstyrke vises på displayet med enheden KN.



Figur 27 - TONY 3000



Figur 28 - Cylinder under tryk

4. Resultater/ diskussion

I følgende afsnit, vil resultaterne fra udførte forsøg, som er beskrevet i metode afsnittet, behandles. Resultaterne vil blive diskuteret, samt en perspektivering for fremtidige undersøgelser.

4.1. Absorption

Da tilslagernes absorbering af vand ikke indgår ved beregning af v/c-forholdet, er det vigtigt at undersøge.

Det ses i Tabel 4, at der for tilslagene på 8-16 mm, har en gennemsnitlig maksimum absorbering på 6,85 % i tør tilstand. Ved maksimum absorption er porerne vandmættet.

Tabel 4 - Vandabsorption [%]

PRØVENR.	VANDABSORPTION [%]
1	6,61
2	6,75
3	7,20
GENNEMSIT:	6,85
JOMFRUELIGE SØSTEN	2,1

4.2. Syreoplukning

I dette afsnit vil mængden af cementpasta i genbrugsaggregaterne fra Tobaksbyen sammenlignes med genbrugsaggregaterne fra lufthavnen. Data for mængden af cementpasta i lufthavnsbetonen, er taget fra DH2017.

Det kan på nedenstående tabeller ses at mængden af cementpasta i aggregaterne fra lufthavnen er meget større end aggregaterne fra Tobaksbyen. Dette kan skyldes, at asfalten som er blandet i betonen ikke har været støbt tidligere. Hvorledes den store mængde af cementpasta i lufthavnsbetonen kan skyldes at det er gammel støbt, som højstyrke beton.

Tabel 5 - Vægt difference efter syreoplukning (asfalt)

Betegnelse	Difference af vægt i %
Små pulver	3,99
Små sten	2,17
Store pulver	2,09
Store sten	2,60

Tabel 6 - Vægt difference efter syreoplukning (lufthavn)

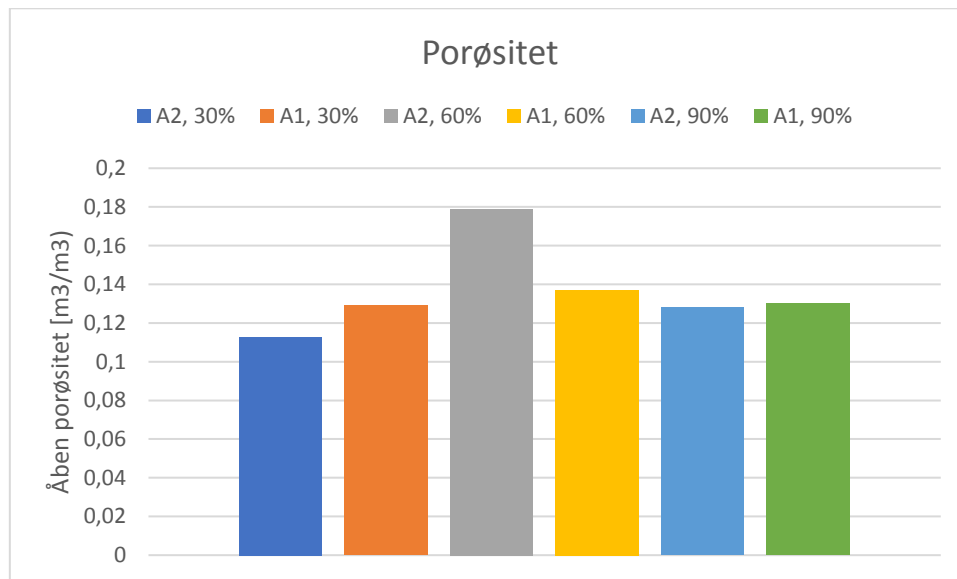
Betegnelse	Difference af vægt i %
Små pulver	26,82
store pulver	25,48
Små sten	21,07
Store sten	21,37

Resultaterne for lufthavnsbeton stammer fra [DH2017].

4.3. Porøsitet og densitet

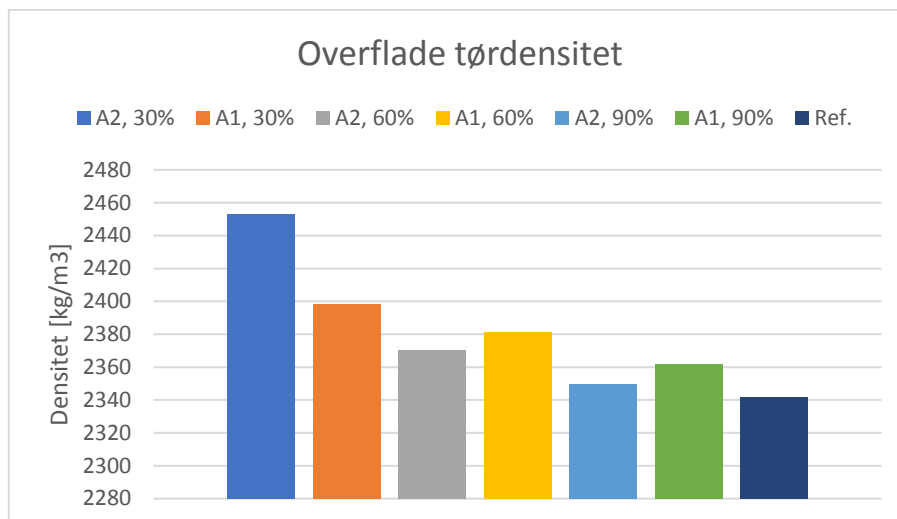
I dette afsnit undersøges porøsitet og densitet på videre støbte prøver, med henholdsvis 30%, 60% og 90% erstattet genbrugsaggregater. Åben porøsitet og densitet for prøverne, sammenlignes ud fra gennemsnittet af top- og midte skiverne.

På Figur 29 ses den gennemsnitlige åbne porøsitet for prøverne.



Figur 29 - Gennemsnit for porøsitet

Der kan på figuren ses A1 prøverne (8-16 mm) er mere porøse end A2 prøverne (4-8 mm). Dog afviger A2, 60 % fra de andre, da porøsiteten er meget højere end på de andre prøver. Afvigelserne for porøsitet kan skyldes, at der i det afhentede beton, både er asfalt, som ikke er gammelt, støbt sammen med gammelt støbt beton. Dvs. at mængde fordelingen for asfalt og beton er ukontrolleret.



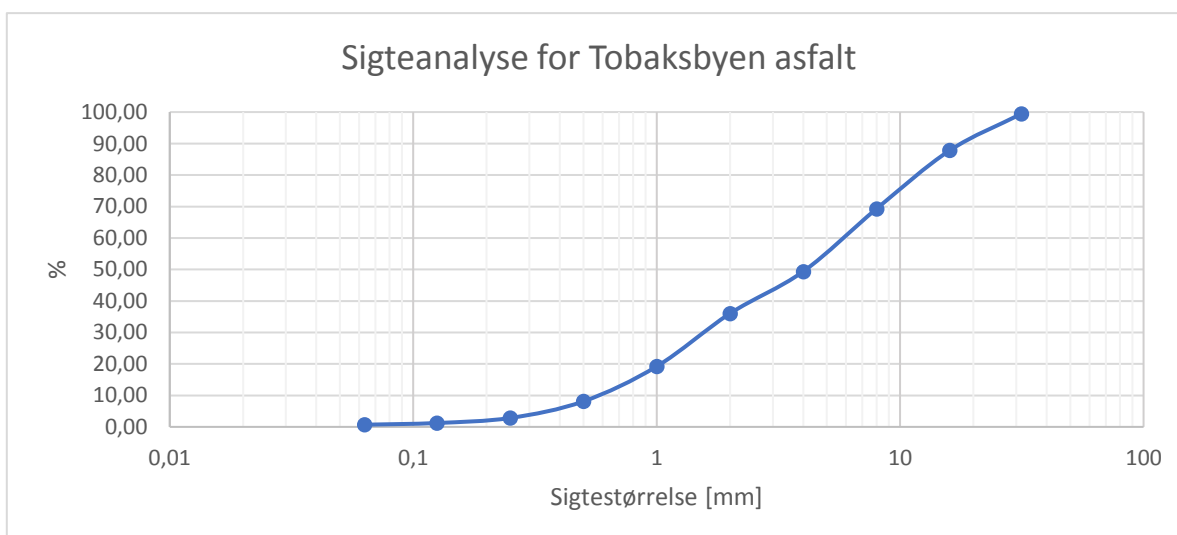
Figur 30 - Gennemsnit for overflade tørdensitet

Der kan på Figur 30 ses en dalende tørdensitet, jo mere erstatningsaggregat der er blandet i opskriften.

Det kan ses, at densiteten på prøverne er højere end referenceprøven. Det kan skyldes, at der i blandingerne kan indeholde tungere tilslag, i forhold til jomfruelige aggregater.

4.4. Sigteanalyse

På Figur 31 kan der ses en logaritmisk kornkurve, som beskriver hvor godt genbrugsaggregaterne kan pakke sig.



Figur 31 - Logaritmisk kornkurve

Kurven kan ses at være lidt flad, hvilket er karakteristisk for en velgraderet kornfordeling. Det vil sige, at der i den afhentede genbrugsbeton, indeholder interval for kornstørrelserne.

Uensformighedstallet beskriver hvorledes aggregaterne er velgraderet eller velsorteret. Hvis $U < 1$ så er der tale om velsorteret, og hvis $5 > U$ så er tale om velgraderet.

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{6 \text{ mm}}{0,55 \text{ mm}} = 10,91$$

Da $U = 10,91$ kan det konstateres, at genbrugsaggregaterne er velgraderet. Dette kan beskrives, som at genbrugsbetonen er god til at pakke sig.

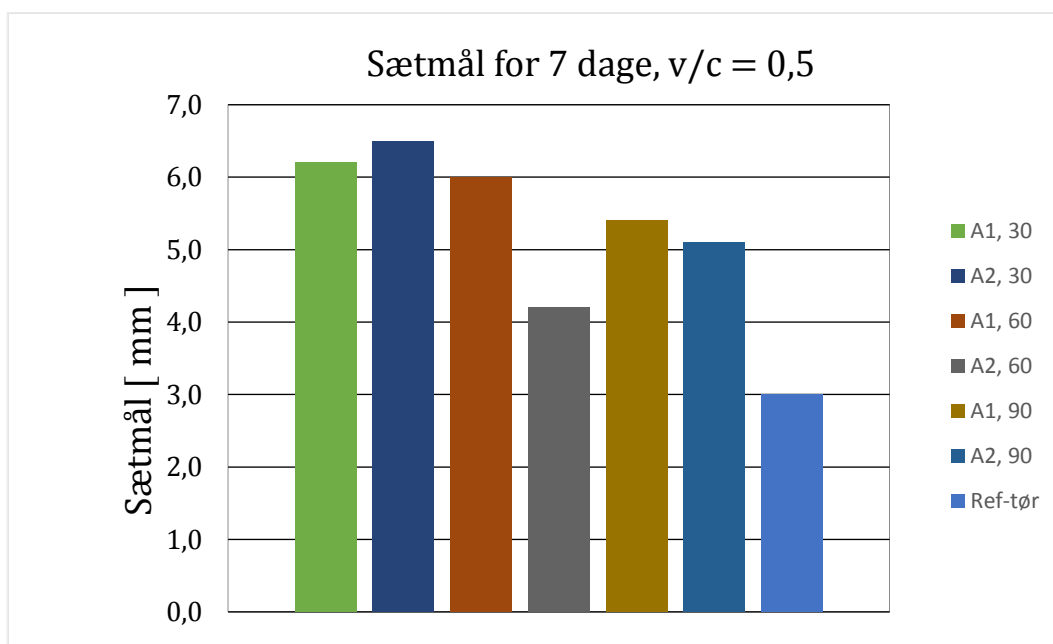
Eftersom genbrugsbetonen er god til at pakke sig, resulterer det i at et mindre behov for cementpastaen i blandingerne, hvilket gør betonen billigere at producere.

4.5. Trykstyrke

4.5.1. Luftindhold/sætmål

Sætmål udføres på alle blandinger, således bearbejdigheden kan vurderes.

På Figur 32 vises resultater af sætmål for de blandede opskrifter, lavet til optimering af tidligere opskrift. Resultaterne sammenlignes med referencen.

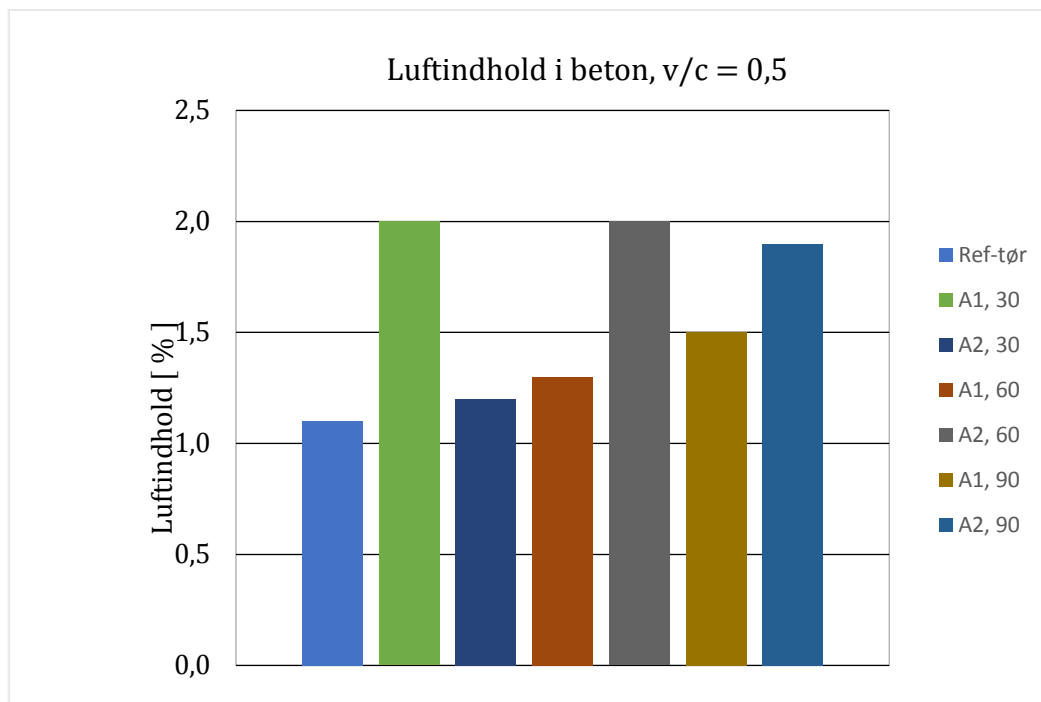


Figur 32 – Sætmål for v/c = 0,5

Det ses, at blandingerne med indhold af genbrugsaggregater, har højere sætmål end referencen. Dette kan skyldes, at genbrugsaggregaterne stadig indeholder væske, selv efter ovntørring, da stor mængde af genbrugsbetonen består af asfalt.

Det naturlige luftindhold i beton ligger normalt på 1-2 %. For høj luftindhold kan reducere styrken, da flere porer opstår.

På Figur 33 ses luftindholdet for de forskellige blandinger.



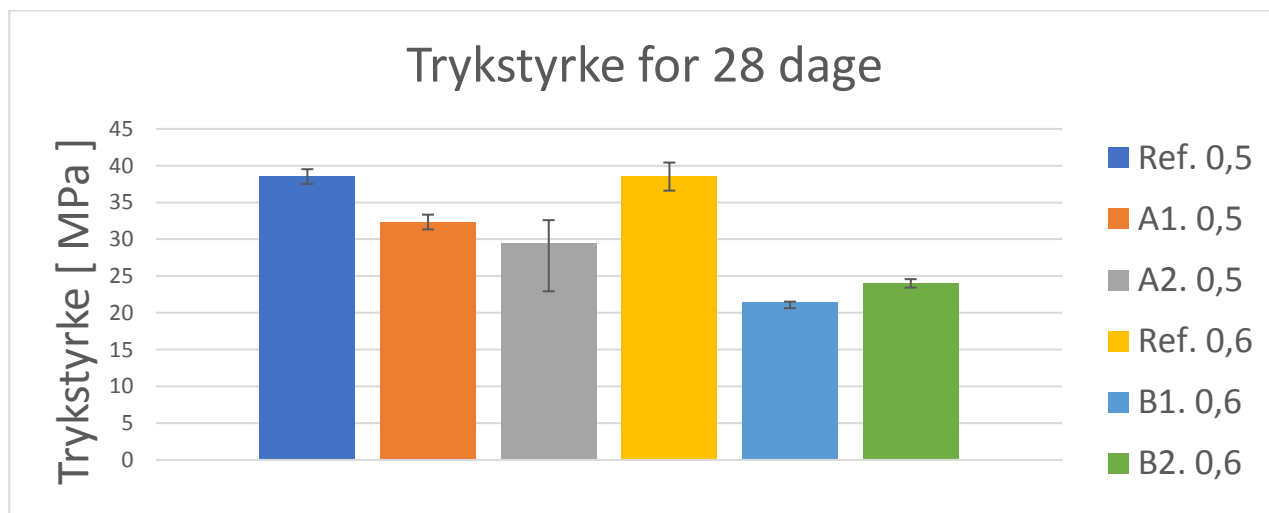
Figur 33 - Luftindhold i beton

Luftindholdet i blandingerne med genbrugsaggregater, indeholder større mængde luft, i forhold til reference-prøve, dog ligger blandingerne indenfor den naturlige grænse.

4.5.2. Trykstyrke for 28 dage

På Figur 34 kan der ses, en gennemsnitlig trykstyrke for prøverne over en hærdeningstid på 28 dage. De 3 første prøver er støbt med v/c-forhold 0,5.

Det ses på Figur 34 endnu en reference (ref. 0,5), en med 50 % af de små tilslag 4-8 mm, erstattet genbrug og en med 50 % af de store tilslag 4-8 mm erstattet genbrug. Genbrugsaggregaterne er ovntørre. Det samme ses for v/c-forhold 0,6. Her er genbrugsaggregaterne vandmættet.



Figur 34 - Trykstyrken for 28 dage

Der ses på figuren, at trykstyrken for prøverne, som indeholder genbrugsaggregater, er relativ lavere end styrken på reference prøverne.

Trykstyrken for prøverne med v/c-forhold 0,5, ligger tættere til reference prøven (Ref. 0,5), end prøverne med v/c-forhold 0,6. (Ref. 0,6). Derfor laves der videre forsøg med v/c-forhold 0,5, med nye beton blandingsopskrifter for optimering. Hærdningstiden ændres fra 28 til 7 dage.

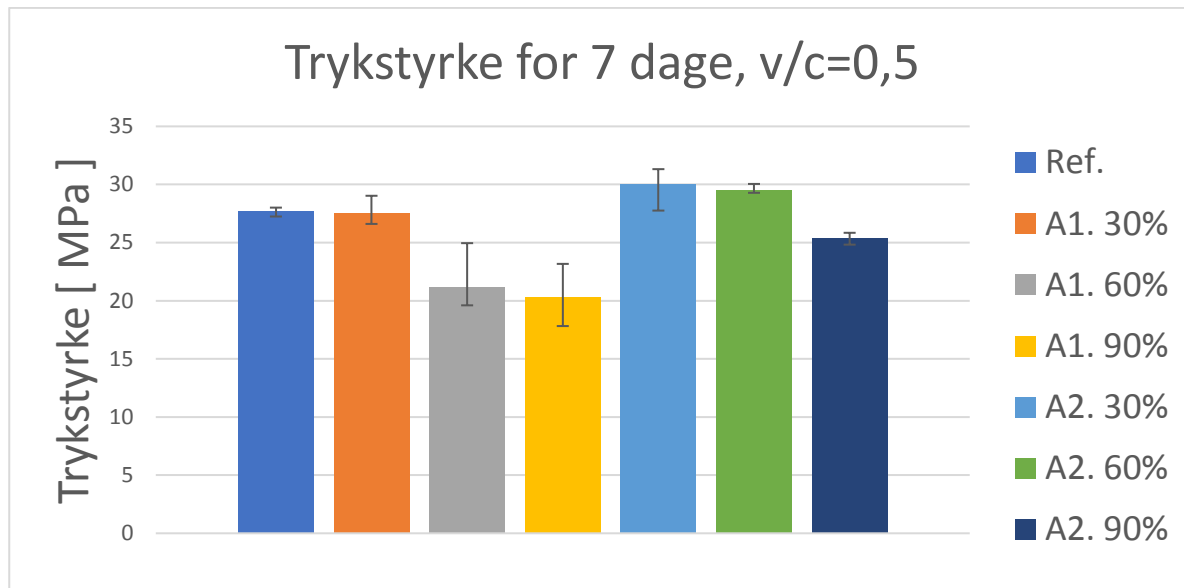
Der ses for prøven A2. 0,5, en høj spredning af trykstyrken. Dette skyldes, som det ses på Figur 35, at der er opstået brud omkring et asfaltstykke, som stammer fra afhentede beton.



Figur 35 - Illustration af brud ved asfalts stykke

4.5.2. Trykstyrke for 7 dage

På Figur 36 kan der ses en gennemsnitlig trykstyrke for prøverne, over en hærdningstid på 7 dage. Prøvernes blandingsopskrift er ændret, således at mængderne på 30%, 60% og 90% af jomfrusøsten erstattes med genbrugsaggregater.



Figur 36 - Trykstyrken for 7 dage

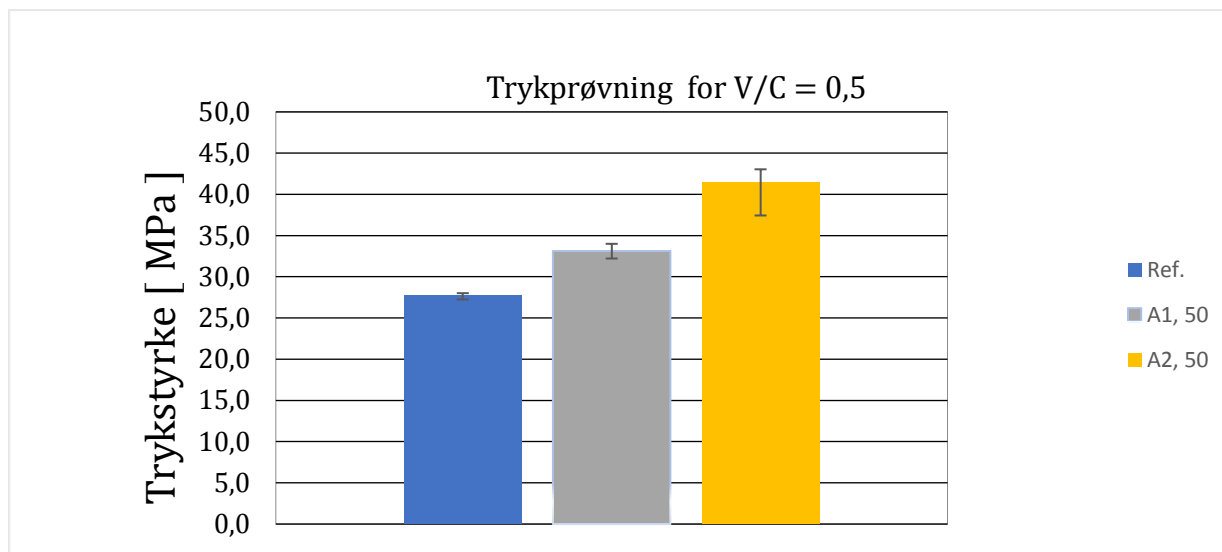
Der ses på figuren at prøvernes trykstyrke falder desto mere genbrugsaggregat prøverne indeholder.

Der ses på resultaternes spredning, at trykstyrkerne for prøverne er meget forskellige. Disse store udsving viser ustabilitet i de afhentede aggregater.

Resultaterne viser store udsving i trykstyrken for betonstøbningerne, hvilket kan skyldes mængden af asfalt i blandingerne. Yderligere kan det skyldes genbrugsaggregaterne kan indeholde spor af andre materialer i form af glas, tegl og metal.

4.5.3. Lufthavnsbeton

På Figur 37 kan det ses en gennemsnitlig trykstyrke for genbrugsbeton, der er erstattet med jomfru tilslag. Prøverne har fået en hærdningstid på 7 dage. Genbrugsbetonen stammer fra Københavns lufthavn og har tidligere været støbt som højstyrkebeton. Prøverne er støbt med v/c-forhold 0,5.



Figur 37 - Trykstyrken for lufthavnsbeton

Ved at sammenligne Figur 36 med Figur 37, kan de ses at jomfru tilslag der er erstattet med affaldsbeton fra lufthavnen i stedet for affaldsbeton fra Tobaksbyen, resultere i en højere trykstyrke.

Dette indikerer vigtigheden i, at man ved hvor affaldsbetonen stammer fra, da det kan være blandet med andre materialer.

4.5.3. Den regningsmæssige trykstyrke

Den regningsmæssige trykstyrke er udregnes til at være på 36,4 MPa, for blandinger med v/c-forhold 0,5. Det kan ud fra Figur 36 ses at trykstyrken for støbte prøver, ikke ligger nær den regningsmæssige trykstyrke.

4.6. Samlet diskussion

Flere resultater viser udsving under diverse forsøg, hvilket kan skyldes, at størrelsesandelen af asfalt i den afhentede genbrugsbeton er ukendt.

Forsøgene tilknyttet projektet, udføres med fokus på styrkeegenskaberne. Resultaterne viser, at affaldsaggregaternes absorption er højere end for jomfruelige tilslag. Hvilket har en betydning for v/c-forholdet, da mere vand reagerer med cement.

Eftersom asfalten som ikke er gammelt støbt er blandet med gammelt støbt beton, er det svært vurderer hvorledes asfalten er mere porøst end betonindholdet.

Ud fra resultaterne for overflade tordensitet, kan der ses at en aftagende værdi af densitet i sammenhæng med større erstatningsgrad. På hjemmesiden [Grus] er densiteten for asfalt fundet til at være 1600 kg/m³, hvilket er lavere end betons densitet på 2000 kg/m³.

Det kan ses på resultaterne at trykstyrken aftager for prøver afhængig af genbrugsaggregatsgraden: her prøvet 30 %, 60 % og 90 % erstattet genbrugsaggregat. Samtidig ses en stor spredning da risiko

for brud ved asfalt kan forekomme. Styrkerne reduceres ved større indhold af genbrugsaggregater. Dette viser ustabilitet i asfalten når det er tale om bæreevnen.

For at udvide rapportens horisont, er der endvidere søgt adskillige artikler med tilknytning til genbrug og bæredygtigheden for asfalt. Der er ved nærmere undersøgelse, fundet en artikel [Asfalt] som giver en beskrivelse af genbrug af asfalt. Artiklen fremhæver at 100 % af asfalten kan genbruges i forbindelse med vejbelægning. Der er dog desværre ikke fundet artikler, som indebærer undersøgelser af genbrugsasfalt til bærende konstruktioner.

5. Konklusion

Ved syreoplukning vises der markant forskel på indhold af gammelt cementpasta i aggregater fra Tobaksbyen og fra Kastrup lufthavnen. Dette viser, at baggrundshistorien for affaldsbetonen er en vigtig faktor, i tilfælde af forsøg med aggregater skal udføres.

Aggregaterne viste ved absorption af vand, en højere absorberingsevne, end med jomfruelige tilslag, hvilket har indflydelse på v/c-forholdet. V/c-forholdet beskriver hvorledes aggregater reagerer med cementpasta.

Blandingsopskrifterne viste at have god formbarhed uanset blanding. Dette gør det nemmere at arbejde med betonen.

De forskellige cylinderprøver, som er støbt med henholdsvis 30%, 60%, og 90% erstatningsgrad af tørre aggregater, kunne ikke optimere trykstyrken på betonen. Sammenligningen mellem erstatningsintervallerne var svære at vurdere, da store udsving pågik. Ud fra dette, ses der ustabilitet ved vurdering af bæredygtigheden. Yderligere er der set enkelte afvigelser i forhold til porøsitet og densitet. Materialet er derfor dårligt stillet til videreforskning i fremtiden, når der er tale om genbrug i bærende konstruktioner.

Referenceliste

Reference type:	Navn:	Forfatter:	Udgiver samt årstal:	Betegnelse:
Bøger:	Cement og beton	Aalborgportland	Aalborgportland - 2010	[CB2010]
	Bygningsingeniørens materialer – uddrag af materialebogen	Kurt Kielsgaard Hansen	Nyt Teknisk Forlag - 2008	[BM2008]
	Bygningsmaterialer – Grundlæggende egenskaber	Finn R. Gottfredsen og Anders Nielsen	Polyteknisk Forlag - 1997	[GE1997]
	Beton-konstruktioner	Bjarne Chr. Jensen	Nyt Teknisk Forlag - 2012	[BK2012]
	Webadresse:			
Websider:	http://potterager.com/article/asfalt			[Potte]
	https://www.asfaltindustrien.dk/Politikere/Miljoe/			[Asfalt]
	http://www.grusdirekte.dk/information/vaegtfylde.asp			[Grus]
	Præference nr.:			
DS/EN:	206-1		2011	
	933-1		2012	
	12350-2		2009	
	12350-7		2000	
	12390-1		2013	
	12390-2		2012	
	12390-3		2009	
	12390-4		2000	
	197-1		2000	
Rapporter af andre elever på DTU:				
	Anvendelse af nedknuste betonaggregater i ny beton	Dani Hassan	DTU - 2017	[DH2017]

Bilag 1 - Syreoplukning for beton med asfalt

Betegnelse	Vægt (skål)	Vægt (tragt)	Vægt efter (skål)	Vægt før (masse)	Vægt efter (masse)
1	49,2	2	71,17	20,8	19,97
2	47,2	2	68,88	20,1	19,68
3	45,7	2	67,56	20,3	19,86
4	46,6	2	68,08	20	19,48

Bilag 2 - Porøsitet og denistet

Del	Vægt	30 mm (små)	30 mm (stor)	60 mm (små)	60 mm (stor)	90 mm (små)	90 mm (stor)
Top	Før	266,1	253,23	247,25	269,54	253,43	246,6
	Efter	274,02	267,67	264,87	285,58	267,52	261,26
	Under vand	165,29	155,77	152,83	166,2	154,96	150,21
Midt	Før	240,80	241,30	271,31	261,21	245,64	243,50
	Efter	257,24	254,95	296,29	277,57	260,3	257,47
	Under vand	149,4	148,91	171,64	160,47	148,2	148,86

Del	Vanddensitet $\rho_w =$ 1000 Kg/m ³	30 mm (små)	30 mm (stor)	60 mm (små)	60 mm (stor)	90 mm (små)	90 mm (stor)	Enhed
Top	$V = (\text{Efter} - \text{Under vand}) / \rho_w$	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	m ³
	$V_{p\ddot{a}} = (\text{Efter} - \text{F\ddot{o}r}) / \rho_w$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	m ³
	$P\ddot{a} = V_{p\ddot{a}} / V$	0,07	0,13	0,16	0,13	0,13	0,13	Kg/m ³
	$\rho_d = F\ddot{o}r / V$	2447,35	2263,00	2206,80	2257,83	2251,51	2220,62	Kg/m ³
	$\rho_f = F\ddot{o}r / (V - V_{p\ddot{a}})$	2639,62	2598,30	2618,62	2608,28	2573,68	2558,36	Kg/m ³
	$\rho_{ssd} = \text{Efter} / V$	2520,19	2392,05	2364,07	2392,19	2376,69	2352,63	Kg/m ³
	$u_{ssd} = (\text{Efter} - \text{F\ddot{o}r}) / F\ddot{o}r$	0,03	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	Kg/kg
Midt	$V = (\text{Efter} - \text{Under vand}) / \rho_w$	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	m ³
	$V_{p\ddot{a}} = (\text{Efter} - \text{F\ddot{o}r}) / \rho_w$	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	m ³
	$P\ddot{a} = V_{p\ddot{a}} / V$	0,15	0,13	0,20	0,14	0,13	0,13	Kg/m ³
	$\rho_d = F\ddot{o}r / V$	2232,94	2275,56	2176,57	2230,66	2191,26	2241,97	Kg/m ³
	$\rho_f = F\ddot{o}r / (V - V_{p\ddot{a}})$	2634,57	2611,75	2722,08	2592,91	2520,94	2572,91	Kg/m ³
	$\rho_{ssd} = \text{Efter} / V$	2385,39	2404,28	2376,98	2370,37	2322,03	2370,59	Kg/m ³
	$u_{ssd} = (\text{Efter} - \text{F\ddot{o}r}) / F\ddot{o}r$	0,07	0,06	0,09	0,06	0,06	0,06	Kg/kg

Bilag 3 - Absorption

Prøvenummer	Glas vægt [g]	Våd vægt[g]	Tør vægt [g]	Vandabsorption [%]
1	64,24	105,53	98,99	6,606727952
2	61,3	92,7	86,84	6,748042377
3	83,7	98,38	91,77	7,202789583
Gennemsnit:				6,852519971

Bilag 4 - Sigteanalyse

Sigte	Masse	Passeret masse		
mm	g	g	%	
31,5	55	9925	99,45	
16	1159	8766	87,84	
8	1852	6914	69,28	
4	1988	4926	49,36	
2	1332	3594	36,01	Passeret masse under 2 mm i %
1	1076,76	1916,29	19,20	70,04
0,5	1707,66	809,58	8,11	29,59
0,25	526,68	282,90	2,83	10,34
0,125	159,78	123,12	1,23	4,5
0,063	54,72	68,40	0,69	2,5
Bund	68,40	0	0	0
I alt	9980	4926		

Bilag 5 - Sætmål og luftindhold

	Type:	Sætning(cm):	Luftindhold (%):
Reference 7 dage	Ref-tør (v/c 0.5)	3	1,1
	Ref-tør (v/c 0.6)	4	0,9
Asfalt 7 dage	A1 (v/c 0.5)	1	1,4
	A2 (v/c 0.5)	1,8	2,2
	B1 (v/c 0.6)	4	2
	B2 (v/c 0.6)	4	1,9

	Type:	Sætning(cm):	Luftindhold (%):
Asfalt 7 dage	A1, 30, tør ⁷ (v/c 0.5)	4	2
	A2, 30, tør ⁷ (v/c 0.5)	6,5	1,2
	A1, 60, tør ⁷ (v/c 0.5)	6	1,3
	A2, 60, tør ⁷ (v/c 0.5)	4,2	2
	A1, 90, tør ⁷ (v/c 0.5)	2	1,5
	A2, 90, tør ⁷ (v/c 0.5)	2	2

Bilag 6 – Trykstyrke

Ref. Efter 28 dages hærdnings tid med v/c-forholdene 0,5 og 0,6

	nr.	1	2	3	4
ref,0,5^28	Vægt(kg):	3,745	3,745	3,745	3,74
	Tryk (kN):	297	308	292	313
	MPa	37,81521448	39,21577798	37,17859471	39,85239775
	nr.	1	2	3	4
ref,0,6^28	Vægt(kg):	3,725	3,73	3,75	3,73
	Tryk (kN):	249	265	272	242
	MPa	31,70366466	33,74084794	34,63211562	30,81239698

Beton med asfalt efter 28 dages hærdningstid med v/c-forholdene 0,5 og 0,6

	nr.	1	2	3	4
A1, 0,5^28	Vægt(kg):	3,695	3,71	3,695	3,7
	Tryk (kN):	256	267	253	240
	Mpa	32,59493235	33,99549584	32,21296048	30,55774907
	nr.	1	2	3	4
A2, 0,5^28	Vægt(kg):	3,69	3,72	3,7	3,72
	Tryk (kN):	180	256	249	238
	Mpa	22,91831181	32,59493235	31,70366466	30,30310116
B1, 0,6^28	Vægt(kg):	3,69	3,69	3,7	3,69
	Tryk (kN):	162	169	172	170
	Mpa	20,62648062	21,51774831	21,89972017	21,64507226
B2, 0,6^28	Vægt(kg):	3,68	3,7	3,69	3,7
	Tryk (kN):	184	193	184	191
	Mpa	23,42760762	24,57352321	23,42760762	24,3188753

Ref. efter 7 dages hærdningstid for v/c-forhold på 0,5

	nr.	1	2	3	4
Ref, 0,5^7	Vægt(kg):	3,75	3,74	3,74	3,74
	Tryk (kN):	217	220	214	219
	MPa	27,62929812	28,01126998	27,24732626	27,88394603
	nr.	1	2	3	4
Ref, 0,6^7	Vægt(kg):	3,735	3,735	3,72	3,75
	Tryk (kN):	198	200	205	207
	MPa	25,21014299	25,46479089	26,10141067	26,35605858

Beton med asfalt efter 7 dages hærdningstid med v/c-forholdene 0,5

	nr.	1	2	3	4
A1, 30, tør^7	Vægt(kg):	3,71	3,73	3,74	3,72
	Tryk (kN):	212	209	217	228
	Mpa	26,99267835	26,61070648	27,62929812	29,02986162
A2, 30, tør^7	Vægt(kg):	3,69	3,69	3,705	3,705
	Tryk (kN):	246	218	239	242
	Mpa	31,3216928	27,75662208	30,43042512	30,81239698
D.16-05-17	nr.	1	2	3	4
A1, 60, tør^7	Vægt(kg):	3,67	3,68	3,69	3,67
	Tryk (kN):	157	157	154	196
	Mpa	19,98986085	19,98986085	19,60788899	24,95549508
A2, 60, tør^7	Vægt(kg):	3,65	3,66	3,67	3,68
	Tryk (kN):	230	236	231	230
	Mpa	29,28450953	30,04845326	29,41183348	29,28450953
D.16-05-17	nr.	1	2	3	4
A1, 90, tør^7	Vægt(kg):	3,67	3,68	3,69	3,67
	Tryk (kN):	140	182	175	142
	Mpa	17,82535363	23,17295971	22,28169203	18,08000154
A2, 90, tør^7	Vægt(kg):	3,65	3,66	3,67	3,68
	Tryk (kN):	201	199	203	195
	Mpa	25,59211485	25,33746694	25,84676276	24,82817112

Den regningsmæssige trykstyrke

Bolomeys formel					
v/c-forhold	K	alpha	hærdedøgn	Trykstyrke [MPa]	
0,5	26	0,6	7	36,4	
0,6	26	0,6	7	27,73	

Bilag 7 – Vejledning til syreoplukning

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

Titratortitrator 716 DMS Titrimeter

C Kemikaliesikkerhed

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser**1) Salpetersyre 1% HNO_3 :**

17 mL koncentreret HNO_3 overføres med måleglas til en 1000,00 mL målekolbe som er 1/2 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. HNO_3 til opslemningen som derefter

blandes godt og stilles til afkøling til stuetemperatur (skal foregå i stinkskaab).

Der tilsættes ca. 1 mL konc. HNO_3 for at kontrollere at alt materiale er opløst (luftudvikling). Fortsæt med at tilsætte HNO_3 indtil der ikke er mere luftudvikling.

Filtrer opløsningen gennem alm filter ned i et bægerglas. Skyl filtreret med 1% HNO_3 Tilsæt destilleret vand til ca. 150 mL volumen.

Titreer prøven – se vejledning for chlorid titrering

F Affaldshåndtering

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinkskaabet.

Bilag 8 – Vejledning til porøsitet og densitet

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. Hænen 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_{sv}).

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

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 ρ_w =	kg/m ³
Kontrollod:					
Før:	kg				
Efter:	kg				
Prøvelegeme nr:					
m_{105}	Kg				
m_{ssd}	Kg				
m_{sw}	Kg				
$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$	m ³				
$V_{p\grave{a}} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$	m ³ /m ³				
$P_a = V_{p\grave{a}} / V$	Kg/m ³				
$\rho_d = m_{105} / V$	Kg/m ³				
$\rho_r = m_{105} / (V - V_{p\grave{a}})$	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)
- $V_{p\grave{a}}$ Volumen af åbne porer (m³)
- ρ_r Faststoffdensitet (kg/m³)
- ρ_d Tørdensitet (kg/m³)
- ρ_{ssd} Densitet af prøvelegeme i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/m³)
- P_a Prøvelegemets åbne porøsitet (m³/m³)
- U_{ssd} Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)

Bilag 9 – Vejledning til sigteanalyse

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 sigt 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.