



Anvendelse af flyveaske fra SSV3 og AVV2 til betonfremstilling

Anvendelse i jordfugtig beton



Titel:

Anvendelse af flyveaske fra SSV3 og AVV2 til betonfremstilling
Anvendelse i jordfugtig beton

Rekvirent:

DONG Energy Thermal Power
Att. Søren Sripathy
Kraftværksvej
7000 Fredericia

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Beton
Thomas Svensson

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Thomas Svensson, tlf. 7220 1911, thsv@teknologisk.dk

Godkendt af: Claus Pade, tlf. 7220 2183, cpa@teknologisk.dk

Opgave nr.: 712840

Versions nr.: 01

Dato: 31. januar 2017

Resultater af Institutts opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutts navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionsskretariatet.

Indhold

1.	Indledning	4
2.	Baggrund	4
3.	Formål	4
4.	Data og modtagne materialer.....	4
5.	Analyse- og målemetoder	5
6.	Målinger og resultater	7
7.	Vurdering	15

1. Indledning

Efter aftale med DONG Energy Thermal Power har Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg den med start den 11. oktober 2016 gennemført en undersøgelse af nye flyveasketyper anvendelighed til fremstilling af belægningssten med jordfugtig beton.

2. Baggrund

Dong Energy Thermal Power vil i 2016 omlægge de to store kulfyrede kraftværksblokke SSV3 og AVV1 til biomassebaseret drift, og der produceres allerede en tilsvarende flyveaske fra kraftværksblokken AVV2. Umiddelbart er det ikke muligt at få flyveaske produceret ved biomassefyrede kraftværksblokke certificeret efter flyveaskestandarden DS/EN 450-1 og derved godkendt til general brug i beton.

Emineral A/S vil derfor levere flyveaskerne certificeret i henhold til DS/EN 12620 som filler tilslag, og vil i den forbindelse få Teknologisk Institut til at vurdere flyveaskernes indflydelse på betonegenskaber ved anvendelse i jordfugtig beton til belægningssten.

3. Formål

Ifølge aftale med kunden havde undersøgelsen følgende formål:

- At undersøge spaltetrækstyrken for belægningsprodukter produceret med tørbeton med varierende indhold af kalkfiller, kulflyveaske og de nye flyveasketyper fra AVV2 og SSV3.
- At vurdere det visuelle udtryk af de producerede prøveemner med hensyn til farve og overfladestruktur.

4. Data og modtagne materialer

Rekvirenten har udleveret de to undersøgte flyveasker fra henholdsvis Avedøreværket (AVV2) og Studstrupsværket (SSV3).

Teknologisk Institut har rekvireret den anvendte betonrecept og tilslagsmaterialer fra en dansk producent af tørbetonprodukter. Der er brugt en typisk blanding af bakkematerialer og granitskærver i recepten. Der er blevet brugt Aalborg Portland Rapidcement, CEM I 52,5 N (LA), og som referencefiller er der blevet brugt kalkfiller betonfiller C20 fra Faxe Kalk A/S henholdsvis flyveaske B4 fra Emineral A/S, Nordjyllandsværket.

5. Analyse- og målemetoder

Indledningsvis blev der gennemført en indkøringsfase, hvor referencerecepten blev kørt ind og testet i Teknologisk Instituts ICT gyrokompaktor ved forskellige arbejdsstryk og kompakteringscykler. Her valgtes maskinindstillinger som med den valgte referencerecept med 15% kalkfiller resulterede i prøveemner med en højde af 100mm og en frisk densitet modsvarende den rekvirerede betonrecepts tilstræbte densitet. De endelige maskinindstillinger fremgår af tabel 1.

Maskine indstillinger, ICT gyrokompaktor	
Rotations cykler	140
Rotations vinkel (mrad)	40
Arbejdsstryk (bar)	4
Fyldevægt (g)	1800

Tabel 1. Maskinindstillinger i ICT gyrokompaktor.

Alle tilslagsmaterialer er brugt i ovntørret tilstand.

Der blev blandet 3 liter beton af hver recepter på en 8 liters mørtelblander (Hobart type). Det blev blandet et batch pr. prøvetermin. Umiddelbart efter blanding blev 3 prøveemner produceret i ICT gyrokompaktor. Umiddelbart efter at prøveemnerne er blevet produceret er de placeret i en lukket plasticpose og opbevaret i standard laboratorieklima ved 20 °C indtil en dag før termin. En dag før termin er prøveemnernes trykflader planslibet og efterfølgende er prøveemnerne placeret i vandkar ved 20 °C i 1 døgn.

I tabel 2 fremgår de metoder, der er brugt ved forsøgene. Betonens friske densitet er direkte ud-data fra ICT gyrokompaktor, betonens hærdnede densitet er målt gennem vejning og måling af dimensioner af prøveemnerne i overflade tørt tilstand lige før test af styrke. Styrken, angivet som spaltetrækstyrke, er testet ved 3 terminer, ved 2, 7 og 28 døgn modenhed.

	Egenskab	Metode
Frisk beton	Kompaktering/densitet	NT Build 427
Hærdet beton	Densitet	DS/EN 1338, Annex H
	Styrke	DS/EN 1338, Annex F

Tabel 2: Målemetoder.

Til forsøgene er der valgt at arbejde med et konstant cementindhold og vandindhold, og variere type og indhold af filler som fremgår af matrixen i tabel 3. I alt er der undersøgt 12 kombinationer hvor der er blandet 3 blandinger per kombination, i alt er der produceret 108 prøveemner.

Cement	Tilsatsmateriale	Indhold af tilsætning (% af cementvægt)
Aalborg Portland Rapid	Kalkfiller	5, 10, 15
Aalborg Portland Rapid	Flyveaske, NJV	5, 10, 15
Aalborg Portland Rapid	Ny flyveaske, AVV2	5, 10, 15
Aalborg Portland Rapid	Ny flyveaske, SSV3	5, 10, 15

Tabel 3. Undersøgte sammensætninger.

De resulterende betonrecepter i kg/m³ på V.O.T. basis fremgår af tabel 4. Det fremgår af receptoversigten at når indholdet af filler øges, reduceres indholdet af tilslagsmaterialer. Det indbyrdes forhold mellem de forskellige tilslagsmaterialer er dog konstant for alle blandinger.

	Recept v.o.t. (kg/m ³)									
	Aalborg Rapid Cement	Tilslagsmateriale	0/6 Grus (P)	4/8 Pærlesten (P)	4/8 Granit (E)	Procon Pave 30	Vand	Luftindhold, nominelt	Total (kg)	Maks densitet uden luft (kg/m ³)
Kalkfiller 5%	300	15	1376,4	402,5	131,9	1,35	107,06	6%	2334,2	2483,7
NJV 5%	300	15	1374,5	402,0	131,7	1,35	107,06	6%	2331,7	2481,0
AVV2 5%	300	15	1374,5	402,0	131,7	1,35	107,06	6%	2331,7	2481,0
SSV3 5%	300	15	1374,5	402,0	131,7	1,35	107,06	6%	2331,7	2481,0
Kalkfiller 10%	300	30	1365,9	399,4	130,9	1,35	107,06	6%	2334,6	2384,2
NJV 10%	300	30	1362,2	398,4	130,6	1,35	107,06	6%	2329,6	2378,8
AVV2 10%	300	30	1362,2	398,4	130,6	1,35	107,06	6%	2329,6	2378,8
SSV3 10%	300	30	1362,2	398,4	130,6	1,35	107,06	6%	2329,6	2378,8
Kalkfiller 15%	300	45	1355,4	396,4	129,9	1,35	107,06	6%	2334,6	2384,2
NJV 15%	300	45	1350,0	394,8	129,4	1,35	107,06	6%	2327,5	2376,6
AVV2 15%	300	45	1350,0	394,8	129,4	1,35	107,06	6%	2327,5	2376,6
SSV3 15%	300	45	1350,0	394,8	129,4	1,35	107,06	6%	2327,5	2376,6

Tabel 4. Betonrecepter, kg/m³ på V.O.T basis.

6. Målinger og resultater

Densitet

Den friske og hærdede betons densitet fremgår af tabel 5 respektive tabel 6, samt af diagram 1. Prøvningsrapporter for hærdnet beton findes i bilag 1. Det fremgår af diagram 1 at densiteten af betonerne generelt bliver lidt lavere ved udskiftning af kalkfilleren med flyveaske og at de nye flyveasketyper giver lavere densiteter end referencematerialerne. Af de to nye flyveasker resulterer flyveasken fra AVV2 generelt i højere densitet end flyveasken fra SSV3. Det fremgår også af diagram 1 at densiteten for beton med referencefiller øges ved større tilsætning af filler. Den samme tendens kan også observeres med den nye flyveaske fra AVV2, dog er størrelsen af densitetsforandringen mindre end for referencefillerne. For den nye flyveasken fra SSV3 er der ingen tydelig tendens til at densiteten stiger med øget tilsætning. Forskellen i densitet mellem betoner produceret med de undersøgte materialer bliver større ved højere tilsætning. Der er generelt god korrelation mellem opmålt densitet i frisk og hærdet beton.

	Densitet, frisk beton (kg/m ³)			
5% tilsætning	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Middelværdi
Kalkfiller	2330	2330	2333	2331
Kulflyveaske NJV	2327	2326	2328	2327
Ny flyveaske AVV2	2328	2327	2314	2323
Ny flyveaske SSV3	2325	2326	2311	2321
10% tilsætning				
Kalkfiller	2344	2335	2341	2340
Kulflyveaske NJV	2337	2331	2333	2334
Ny flyveaske AVV2	2333	2325	2324	2327
Ny flyveaske SSV3	2325	2319	2305	2316
15% tilsætning				
Kalkfiller	2359	2362	2352	2358
Kulflyveaske NJV	2345	2341	2340	2342
Ny flyveaske AVV2	2333	2332	2333	2333
Ny flyveaske SSV3	2345	2322	2317	2328

Tabel 5. Densitet af frisk beton.

	Densitet, hærdet beton (kg/m ³)			
	2 døgn	7 døgn	28 døgn	Middelværdi
5% tilsætning				
Kalkfiller	2322	2321	2321	2321
Kulflyveaske NJV	2322	2320	2321	2321
Ny flyveaske AVV2	2311	2321	2319	2317
Ny flyveaske SSV3	2307	2318	2318	2314
10% tilsætning				
Kalkfiller	2331	2332	2336	2333
Kulflyveaske NJV	2325	2325	2328	2326
Ny flyveaske AVV2	2319	2320	2328	2322
Ny flyveaske SSV3	2308	2318	2322	2316
15% tilsætning				
Kalkfiller	2339	2350	2345	2345
Kulflyveaske NJV	2329	2337	2338	2335
Ny flyveaske AVV2	2326	2332	2328	2329
Ny flyveaske SSV3	2326	2324	2330	2327

Tabel 6. Densitet af hærdet beton.

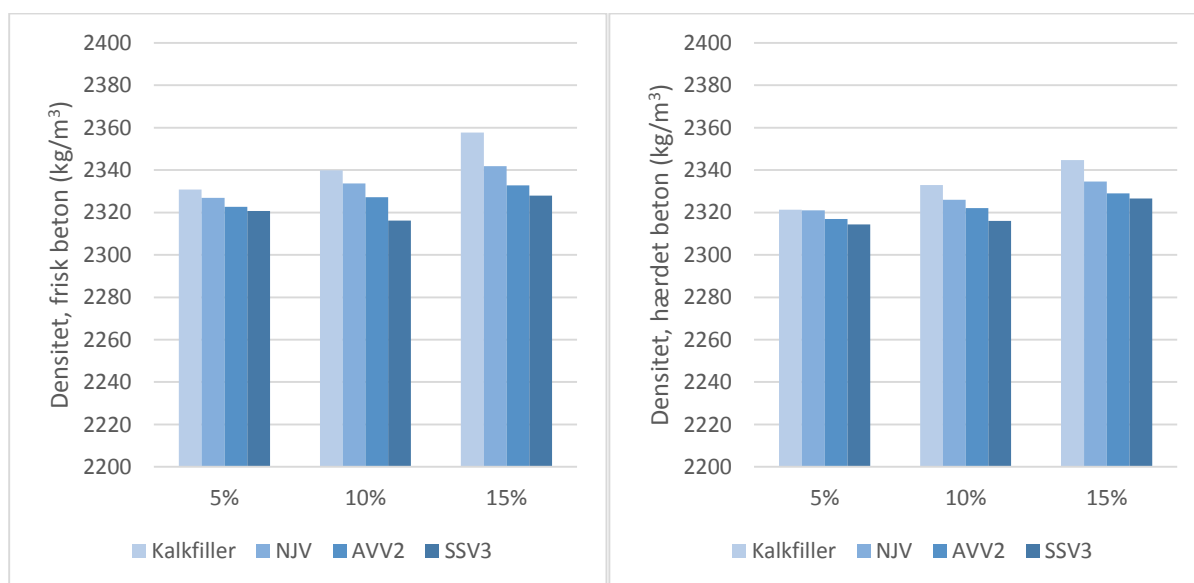


Diagram 1. Densitet af frisk og hærdet beton.

Styrke

De målte spaltetrækstyrker efter DS/EN 1338 er vist i tabel 7. Prøvningsrapporter findes i bilag 1. Der er ved 5% indhold af filler ikke nogen signifikant forskel på de opnåede styrker, ved 10% og 15% indhold er der en tendens til at beton produceret med kalkfiller giver en lidt højere styrke, og at beton produceret med ny flyveaske fra SSV3 giver noget lavere styrke. Betonernes endelige styrke ved 28 døgn er grafisk præsenteret i diagram 2.

	Spaltetrækstyrke (MPa)		
	2 døgn	7 døgn	28 døgn
5% tilsætning			
Kalkfiller	3,8	3,8	4,4
Kulflyveaske NJV	3,7	3,9	4,5
Ny flyveaske AVV2	3,6	3,9	4,4
Ny flyveaske SSV3	3,4	4,1	4,5
10% tilsætning			
Kalkfiller	3,9	4,4	4,9
Kulflyveaske NJV	3,8	4,2	4,4
Ny flyveaske AVV2	3,7	4,1	4,4
Ny flyveaske SSV3	3,4	3,8	4,3
15% tilsætning			
Kalkfiller	4	4,3	5,2
Kulflyveaske NJV	3,8	4,1	4,8
Ny flyveaske AVV2	3,9	4	4,4
Ny flyveaske SSV3	3,4	3,7	4,5

Tabel 7. Spaltetrækstyrke efter DS/EN 1338.

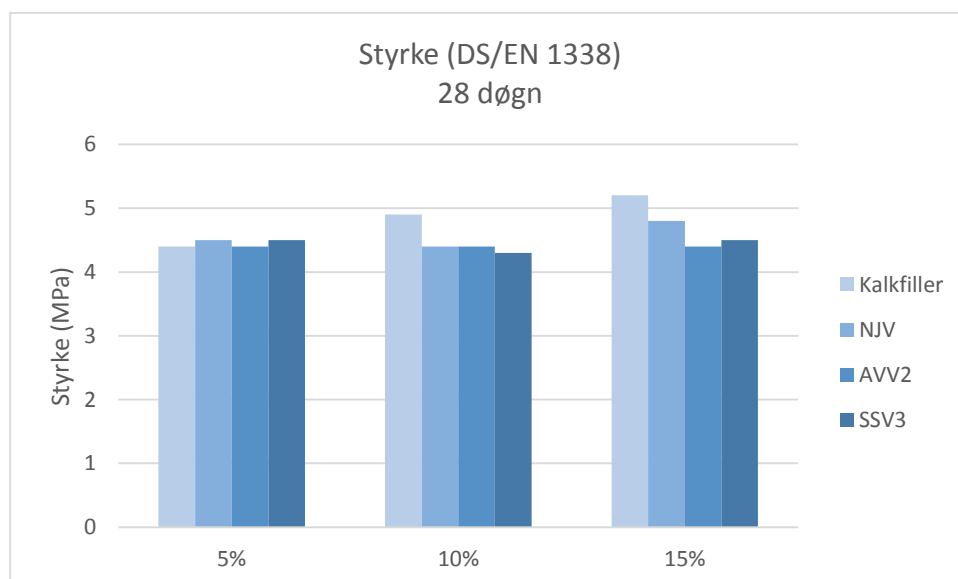


Diagram 2. Styrke ved 28 døgns modenhed.

Betonernes styrkeudvikling er vist i diagram 3 – 5. I diagrammerne er styrkekravet ved udlevering fra DS/EN 1338 angivet som en stiplede linje ved 3,6MPa. Det fremgår af diagrammerne at alle betoner, undtagen betonen produceret med ny flyveaske fra SSV3, opnår kravet indenfor 2 døgn. Betonerne produceret med den nye flyveaske fra SSV3 opnår styrkekravet efter 3, 4 og 5 døgn modenhed ved 5%, 10% respektive 15% indhold af flyveaske. Ved 10% og 15% indhold af filler er der ved alle terminer en tendens til lidt lavere styrke for betonen produceret med SSV3 og lidt højere styrke for betonen produceret med kalkfiller.

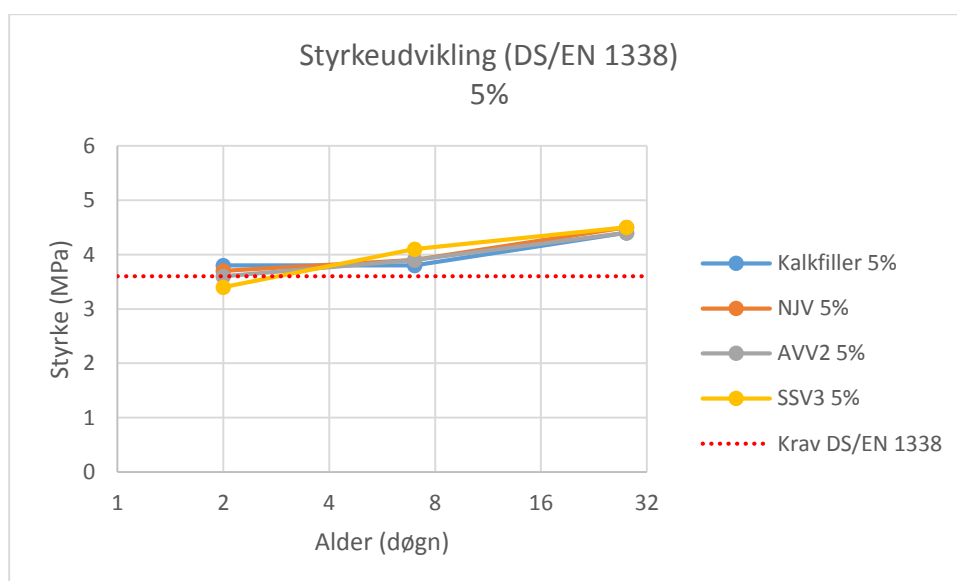


Diagram 3. Styrkeudvikling ved 5% indhold af filler.

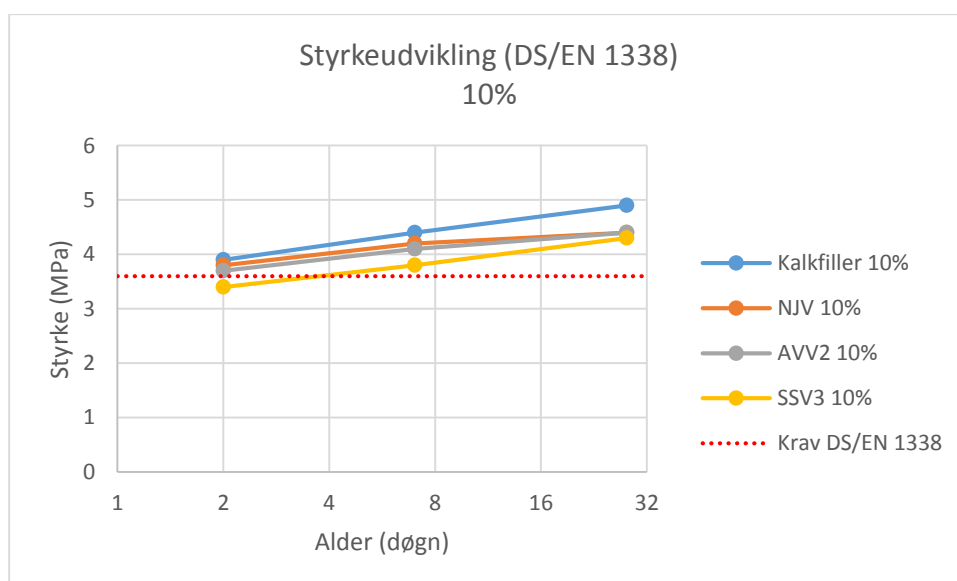


Diagram 4. Styrkeudvikling ved 10% indhold af filler.

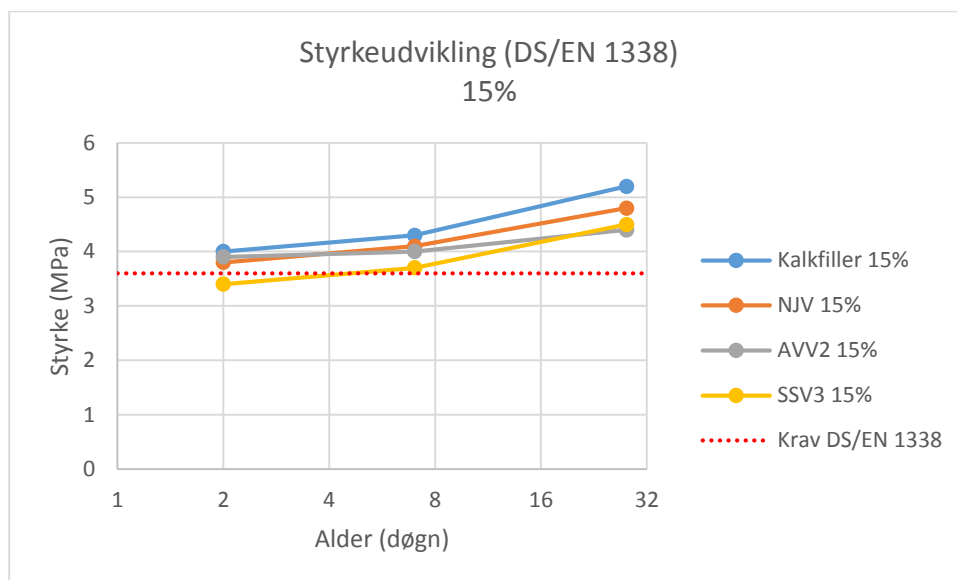
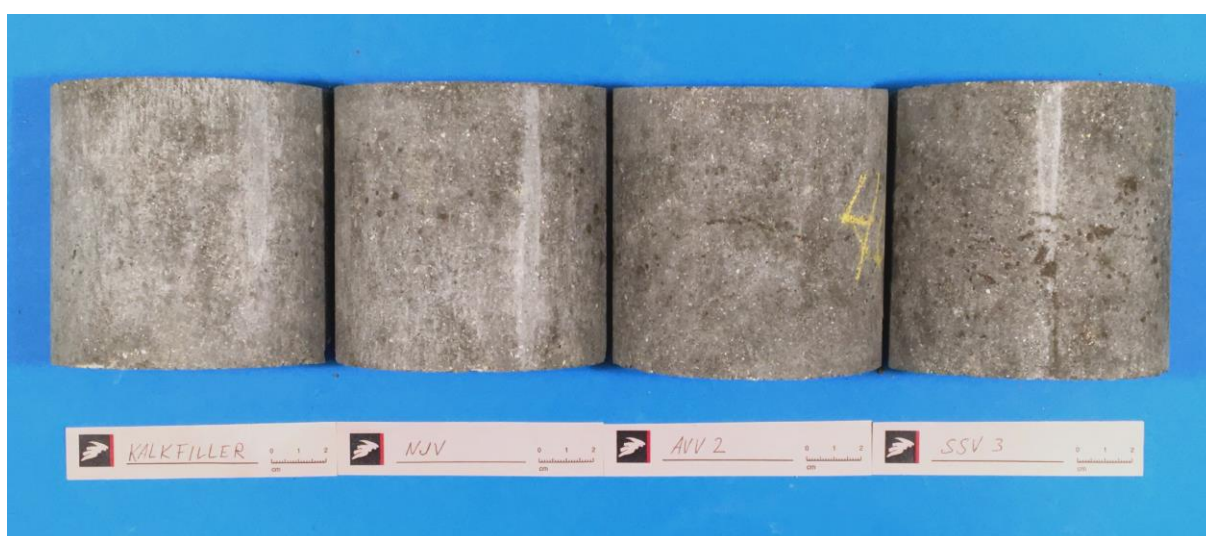


Diagram 5. Styrkeudvikling ved 15% indhold af filler.

Visuelt udtryk.

Billede 1 og 2 viser prøveemner med 10% tilsætning ved 2 døgn's alder, prøveemnerne i billede 1 fremstår overfladetørre og prøveemnerne i billede 2 fremstår våde. Ved den her vurderede alder er det en svag tendens til at prøveemnerne produceret med kalkfiller er svagt lysere og at prøveemnerne produceret med den nye flyveaske fra SSV3 er svagt mørkere. Forskellen er dog lille.

Der er ikke observeret nogen forskel i prøveemnernes overfladestruktur for de forskellige fillertyper.



Billede 1. Overfladetørre prøveemner ved en alder af 2 døgn. 10% indhold af filler.



Billede 2. Våde prøveemner ved en alder af 2 døgn. 10% indhold af filler.

I billede 3 til 6 vises prøveemner ved en alder af 40 døgn. Prøveemnerne i billede 3 og 4 fremstår tørre og er produceret med 5% respektive 15% indhold af tilsatsmateriale og prøveemnerne i billede 5 og 6 fremstår våde og er produceret med 5% respektive 15% indhold af tilsatsmateriale.

Ved en alder af 40 døgn fremstår prøveemnernes visuelle udtryk meget ensartet både i forhold til lyshed, farve og overfladestruktur.



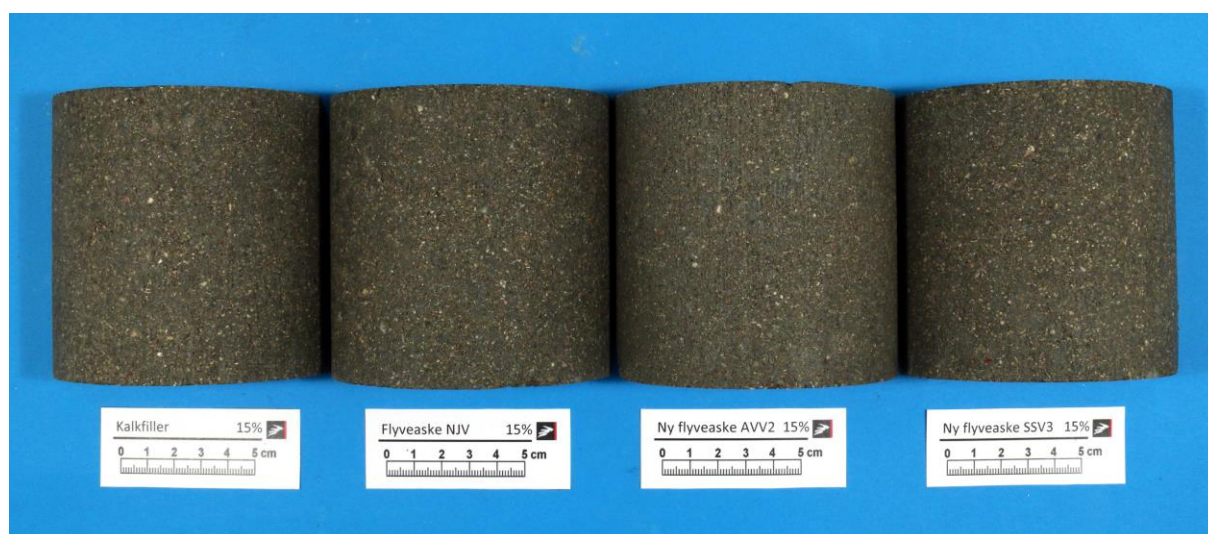
Billede 3. Tørre prøveemner ved en alder af 40 døgn. 5% indhold af filler.



Billede 4. Tørre prøveemner ved en alder af 40 døgn. 15% indhold af filler.



Billede 5. Våde prøveemner ved en alder af 40 døgn. 5% indhold af filler.



Billede 6. Våde prøveemner ved en alder af 40 døgn. 15% indhold af filler.

7. Vurdering

I forhold til de opnåede resultater for densitet og spaltetrækstyrke vurderes det, at det er muligt at bruge de to undersøgte nye flyveasker fra AVV2 og SSV3 til produktion af belægningssten.

Ved lavt indhold (5%) af tilsatsmateriale er der ikke nogen signifikant forskel i spaltetrækstyrke mellem betonene produceret med de undersøgte fillertyper.

Ved højere indhold (10 og 15%) af filler er der en tendens til at beton med kalkfiller opnår en lidt højere styrke end beton med flyveaske.

Sammenligner man de nye flyveasker fra AVV2 med referenceflyveasken fra NJV er der ikke nogen signifikant forskel i spaltetrækstyrke. Beton med SSV3-aske har derimod en tendens til lavere spaltetrækstyrke ved 2 og 7 døgns alder.

Det vurderes, at de observerede forskelle i densitet og spaltetrækstyrke for betonene produceret med de forskellige fillertyper ikke er større, end at de kan kompenseres med mindre justeringer af betonrecepter og/eller maskinindstillinger i produktionen.

I forhold til det visuelle udtryk af belægningssten produceret med de nye flyveasker fra AVV2 og SSV3 er der i denne undersøgelse ikke observeret nogen signifikant forskelle.

Bilag 1:

DS/EN 1338:2004 – Belægningssten af beton – Krav og prøvningsmetoder

Anneks F: Måling af styrke