

BETONGS LIVSLÄNGD MED NYA DELMATERIAL



Lufthalters effekt på saltfrostbeständigheten hos betong med flygaska eller slagg

Martin Strand

Avd. Byggnadsmaterial

Lunds Tekniska Högskola

2017-02-06

FÖRORD

De som medverkat i projektet är följande:

- Martin Strand (doktorand, huvudförfattare)
- Katja Fridh och Lars Wadsö (handledare)
- Anders Lindvall, Arvid Hejll, Erik Viggh, Kyösti Tuutti, Mikael Westerholm, Nils Rydén, Peter Utgenannt, and Ulf Jönsson (referensgruppen)

Tack till Skanska och Kyösti Tuutti för stödet under ansökningsprocessen. Tack till Sture Lindmark för viktig input i början av projektet samt tack till kollegerna på avdelningen för Byggnadsmaterial för allt stöd.

2017-02-06

SAMMANFATTNING

Syftet med rapporten är att avrapportera och ge en populärvetenskaplig sammanfattning av det arbete som resulterat i en licentiatavhandling om saltfrostnedbrytning av betong som innehåller flygaska eller slagg.

Då den globala uppvärmningen till följd av människans inverkan är ett faktum så måste koldioxidutsläppen från (bland andra) cementtillverkarna minska. Detta kan göras genom att ersätta en fraktion av cementen med flygaska eller slagg som också kan reagera och bidra med hållfasthet till betongen. Detta ger betong med annan mikrostruktur och därigenom andra egenskaper. Det är därför rimligt att anta att beständigheten också förändras, dvs. t.ex. kan betongens saltfrostbeständighet förändras då flygaska eller slagg blandas med betongen. För att bidra med kunskap om hur saltfrostresistensen påverkas så har detta projektet genomförts där okarboniserade, ej torkade betongytor testats med varierande lufthalter och olika mängd flygaska eller slagg. Dessa mätningar skall ses som en studie av materialens saltfrostbeständighet när de är opåverkade av omgivningen. 7 olika bindemedelskombinationer testades och för varje bindemedel så skapades 4 olika lufthalter genom att variera mängden luftporbildare så att lufthalterna varierade jämnt mellan ca 1.5% och 4.5%. Samtliga bindemedelskombinationer innehöll en CEM I blandat med tillsatsmaterial. Två av bindemedelskombinationerna innehöll 20 och 35 vikt% flygaska, tre innehöll 20, 35 och 70 vikt% slagg, en innehöll 25+10vikt% slagg+kalkfiller och en som innehöll 100% CEM I. En förstudie genomfördes för att hitta en kombination av flyttillsatsmedel och luftporbildare som skulle passa till respektive bindemedelskombination och möjliggöra skapandet av 4 olika lufthalter med jämna steg med minimal risk för vattenseparation. Samtliga prov fick hydratisera i slutna förhållanden under dygt 300 dygn för att samtliga recept skulle få en fördelaktig hydratation innan de sågades och frystestet startade. Resultaten indikerar att 20 vikt% kiselhaltig flygaska erhåller ungefär samma minskning av mängden avskalningar från en ökad mängd luftporbildare som för betong som innehåller 100% CEM I. Betong som innehåller 35 vikt% kiselhaltig flygaska verkar få en liten minskning i mängden avskalningar från en ökad mängd luftporbildare, dock så är mängden avskalningar större än både betongen med 100% CEM I och betongen med 20 vikt% kiselhaltig flygaska. Betong med 20 vikt% slagg med ingen eller endast en liten mängd luftporbildare resulterar i en lägre mängd avskalning jämfört med betong som innehåller 100% CEM I med ca 5% lufthalt. Då lufthalten närmar sig 5% för betongen med 20 vikt% slagg så verkar betongen erhålla ett visst skydd som resulterar i en minskning i massan avskalningar då en luftporbildare tillsatts. Betong med 35 och 70 vikt% slagg verkar få en ökad mängd avskalningar från en ökad mängd luftporbildare. Betong med 25+10 vikt% slagg+kalkfiller verkar få en reducerad mängd avskalningar då luftporbildare tillsätts, dock ingen förbättring då mängden luftporbildare ökar. Dessa resultat skall jämföras med mätningar på naturligt karboniserade och torkade prover av samma material, när projektet går in i sin nästa del.

INNEHÅLL

BAKGRUND	5
SYFTE.....	6
METODIK	7
MATERIAL	7
TEST AV KOMBINATIONER AV TILLSATTSMEDEL	8
TEST AV HÅRDNAD BETONG	10
RESULTAT	12
DISKUSSION	15
FORTSATTAS STUDIER.....	15
SLUTSATTSER	16
REFERENSER	17

BAKGRUND

Betong är det vanligaste byggnadsmaterialet på grund av dess mångsidighet, dock är det så att cementproduktionen bidrar med 5 till 8% av alla CO₂ emissioner producerade av människor [1]. För att minska dessa emissioner från cementindustrin så kan en del av cementen ersättas med något annat material som också gärna kan bidra till cementreaktionen, exempelvis flygaska eller slagg. Flygaska är en biprodukt från kolkraftverken och slaggen är en biprodukt från metallindustrin. Dessa kan reagera med cementen och vattnet och bidra med vissa förändringar av egenskaperna hos betongen. På grund av att vissa egenskaper förändras är det viktigt att använda materialet på rätt sätt så att betongen inte får en lägre beständighet mot skademekanismer som skulle kunna minska livslängden för en konstruktion. Broar är ett bra exempel på en betongkonstruktion med lång förväntad livslängd (på cirka 100 år) samtidigt som den utsätts för många skademekanismer. I länder där temperaturen kan variera mellan under och över 0 °C flera gånger om året, så är t.ex. en viktig skademekanism saltfrostavskalning. Denna sker då en salt lösning med låg koncentration fryser i kontakt med en betongyta. Då saltfrostmekanismen är en viktig nedbrytningsmekanism som man måste ta hänsyn till så har denna studie genomförts där 7 olika bindemedel har testats. För att få mer information om hur dessa påverkas av saltfrostmekanismen har varje bindemedel gjutits med fyra olika luftporsstrukturer för att se hur en ökad mängd små porer påverkar skadorna för respektive bindemedel. Samtliga härddas i förslutna förhållanden under över 300 dygn för att ge slaggen och flygaskan tid att reagera vilket därmed ger fördelaktiga förhållanden för samtliga bindemedelskombinationer (med hänsyn till hydrarationen) då saltfrosttestet startar. Tidigare forskare, bland andra Peter Utgenannt [2], har visat att karbonatisering av betong även har en stor inverkan på saltfrostbeständigheten. Med hänsyn till detta så undersöks därmed även karbonatiseringens inverkan hos saltfrostbeständigheten för respektive bindemedelskombination. Två mätserier genomförs därmed där den första består av prov som aldrig torkat och därmed aldrig karbonatiserat, medan den andra mätserien består av prov som hydratiserat lika länge men därefter fått karbonatisera i ett klimatrum med 20°C, 60% relativ fuktighet och en naturlig koldioxidhalt på ca 0.05% (500 ppmv).

SYFTE

Syftet med rapporten är att avrapportera och ge en populärvetenskaplig sammanfattning av det arbete som resulterat i en licentiat avhandling. Avhandlingen handlar om försök som testat hur olika lufthalter påverkar saltfrostskaorna hos betong som innehåller kiselhaltig flygaska eller slagg då testytan aldrig torkat och är okarbonatiserad.

Fortsättningen på projektet kommer testa prover från samma gjutningar som fått karbonatisera och torka för att även kunna jämföra hur åldring påverkar respektive bindemedelskombination med de olika lufthalterna. Resultaten kommer bidra till mer information om hur stora fraktioner av flygaska eller slagg som kan tillsättas i betongen utan att förlora saltfrostbeständigheten och därmed skulle kunna användas i brobetong.

METOD OCH MATERIAL

Material

I Tabell 1 och Tabell 2 redovisas samtliga tillsattsmedelskombinationer samt bindemedelskombinationer som användes i respektive gjutning samt vad gjutningarna kallas i resultatdiagrammen.

Tabell 1. Samtliga tillsattsmedel som testades.

Namn	Typ	Består av
Glenium 51	Flyttillsattsmedel	Polykarboxylat
Glenium SKY 558	Flyttillsattsmedel	Polykarboxylat
Glenium SKY 612	Flyttillsattsmedel	Polykarboxylat
Sika ViscoCrete RMC-520	Flyttillsattsmedel	Polykarboxylat
Sikament EVO 26	Flyttillsattsmedel	Polykarboxylat
Pozzolith 475-S	Flyttillsattsmedel	Sulfoonerat melamin-fomaldehydkondensat
Micro Air 100	Luftporbildare	Syntetisk detergent
Sika AirPRO	Luftporbildare	Syntetisk detergent
Sika 88L	Luftporbildare	Vinsol resin

Tabell 2. Samtliga bindemedelskombinationer som testades.

Namn	Bindemedelskombination
CEM I	100 % CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾
F20	80 vikt% CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾ 20 vikt % SFA ²⁾
F35	65 vikt % CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾ 35 vikt % SFA ²⁾
S20	80 vikt % CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾ 20 vikt% GGBFS ³⁾
S35	65 vikt% CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾ 35 vikt% GGBFS ³⁾
S70	80 vikt% CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾ 20 vikt% GGBFS ³⁾
K35	65 vikt% CEM I 42.5 N - SR 3 MH LA ¹⁾ 25 vikt% GGBFS ³⁾ 10 vikt% LF ⁴⁾

¹⁾ Degerhamn Anläggningscement.

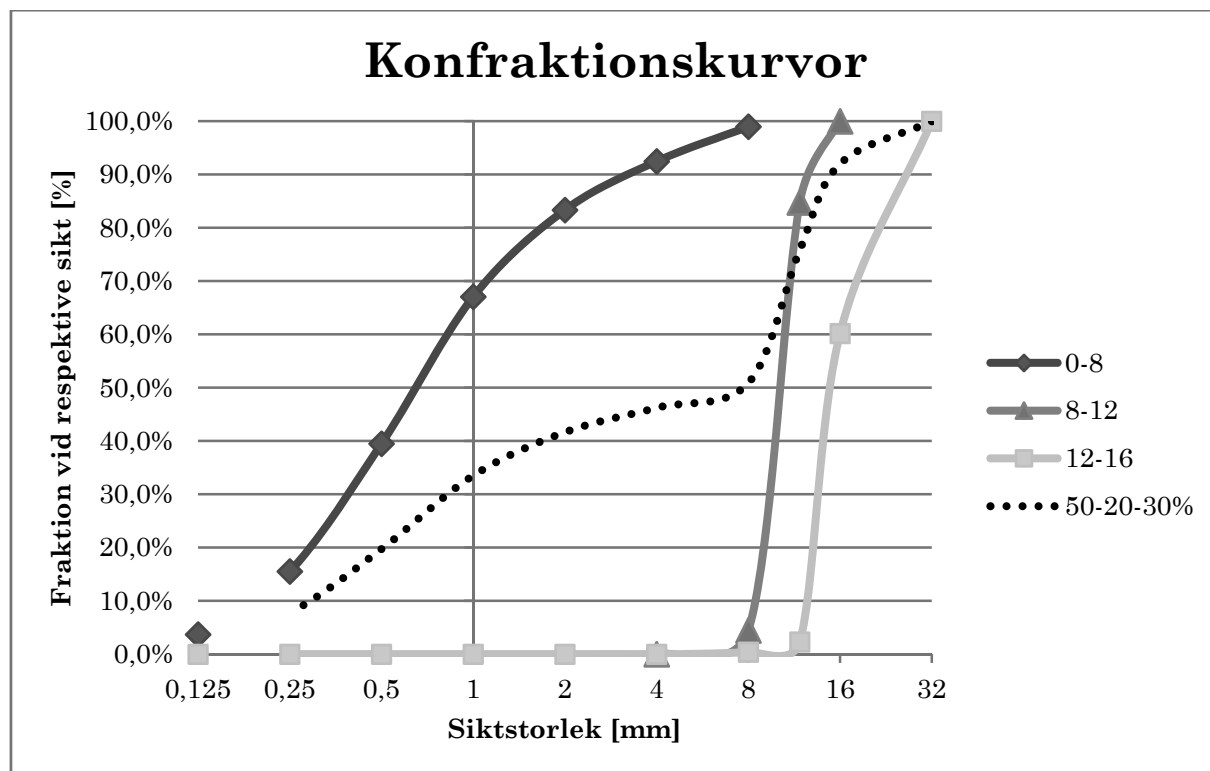
²⁾ Siliceous fly ash från Eminent A/S.

³⁾ Merit 5000 från Merox.

⁴⁾ Limus 25 från Nordkalk.

Följande mätningar har även utförts av Cementa på respektive bindemedel för att få mer information om materialet: LOI (indikation om obränt kol i flygaska samt karbonatiserad cement), XRF (oxidanalys), Densitet, Blaine faktor, Laserdiffraktion, Vicat, Tryckhållfasthet, ICP (löslig alkali-analys), SO₃, CO₂, och kalkfiller mätning. Samtliga resultat från dessa redovisas i [3].

Figur 1 redovisar respektive kornfraktionskurva samt den sammanlagda som användes till betongrecepten som frysprovades. 0-8 fraktionen var från Kvidinge stenkross AB och bestod till största delen av kvarts och fältspat. 8-12 och 12-16 fraktionerna var från Hardeberga stenkross och bestod till största delen av kvartsit.



Figur 1. Kornfraktionskurvor av respektive ballast samt den sammansatta sedan som användes till betongrecepten.

Test av kombinationer av tillsattsmedel

För att kunna skapa olika lufthalter med de olika bindemedelskombinationerna (Tabell 2) så testades olika kombinationer av flyttillsattsmedel och luftporbildare (Tabell 1) med respektive bindemedelskombination. En sammanfattande redovisning av metodologin inklusive en beskrivning av testmetoden för tillsattsmedelskombinationer finns i [4]. Ett av målen med dessa tester var att minimera risken för vattenseparation vilket i sin tur underlättar skapandet av olika lufthalter.

Testmetoden bestod av följande moment:

Blandning av ca 4 dm³ ”mikrobetong” (2000 g bindemedel, 800 g vatten, 6000 g sand med fraktioner 0-8) och blandningen sker kontinuerligt utan avbrott.

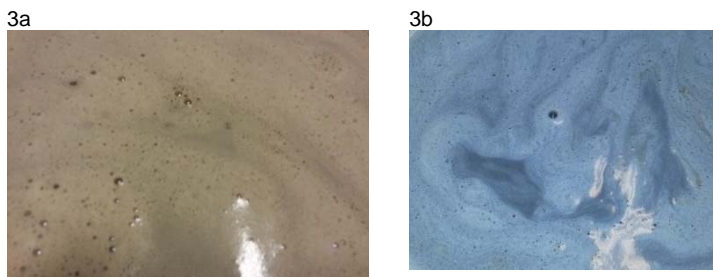
- 2.5 min ±5 sek blandning av bindemedlet och sanden
- Vattenet med bestämd mängd luftporbildare (medelvärde av den rekommenderade för den aktuella mängden bindemedel) tillsätts och 2.5 min ±5 sek ytterligare blandning sker från att vattnet börjar tillsättas
- Flyttillsattsmedel tillsätts kontinuerligt med pipett och blandningen fortsätter 2.5 min ±5 sek ytterligare från det att tillsättning av flyt börjar. Tillsättningen fortsätter tills blandningen fått något av följande

- God arbetbarhet (betyder att utbredningsmåtten med Hägermannkonen troligtvis blir över 13 cm i diameter)
- Vattenseparation (kan ses på ytan under blandningen)

Direkt efter blandningen mäts lufthalten på 1 dm³, sedan mäts arbetsbarheten med en Hägermannkon och till sist så görs ett test av luftporerna som bildats i den färska blandningen. Då arbetsbarheten mäts så kontrolleras också kanterna runt bruket enligt Figur 2b och 2c för att få en indikation av vattenseparation enligt Figur 2. Testet av luftporerna görs genom att försiktigt dispergera 5 slevar med bruk i en hink med vatten. Därefter så observeras bubblorna som kommer upp till ytan, där ett bra resultat är om de är små och inte spricker direkt utan bildar ett lager på ytan med skum enligt Figur 3a. Figur 3b visar ett dåligt resultat.



Figur 2. Mätning av arbetbarhet med Hägermannkon. 2a Hägermannkon. 2b Låg risk för vattenseparation. 2c Hög risk för vattenseparation.



Figur 3. Resultat från test av luftporer i färska blandningen. 3a tjockt lager med små bubblor. 3b tunt lager med bubblor som lätt spricker efter att de kommit till ytan.

Det var en bra korrelation mellan relativt hög lufthalt, ingen antydning på vattenseparation vid mätning av arbetsbarhet, god arbetsbarhet samt ett stabilt lager av skum. Genom detta försök hittades en tillsatsmedelskombination som fungerade bra till bindemedelskombinationerna med flygaska samt en kombination som fungerade bra med 100% CEM I och bindemedelskombinationer som innehöll slagg.

TEST AV HÅRDNAD BETONG

Varje bindemedelskombination göts med fyra olika lufthalter. Gjutning ”#1” göts endast med flyttillsatsmedel (utan luftporbildare), de övriga tre som kallas ”#2”, ”#3” samt ”#4” göts med ökande mängd luftporbildare där lufthalten i den färska betongen skulle stiga upp till ca 4.5 vol% med relativt jämna mellanrum beroende på vad gjutning #1 gav för lufthalt. Tabell 3 redovisar resultaten av mätningarna på lufthalten i den färska betongen samt utdrag av resultat från resultat från mätningar av luftporstrukturen i den härdade betongen med linjär travers. Dessa mätningar visar att det bildas en större mängd små porer vid en ökad mängd luftporbildare, dvs precis det som önskades. Linjär travers mätningarna utfördes av Pelcon i Danmark och samtliga resultat redovisas i [3].

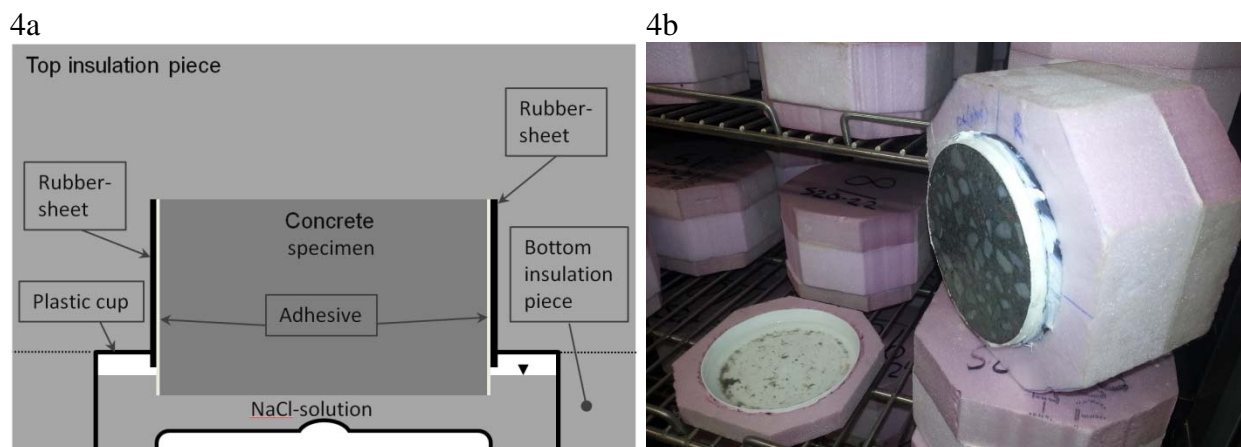
Tabell 3. Exempel på resultat från mätning av lufthalterna (LH) i färsk betong samt med linjär travers för härdnad betong.

Gjutning	Färsk LH [%]	LT Total LH [%]	LT <0.35mm [%]	LT <0.35mm i pasta [%]	Specifik yta [mm ⁻¹]	Spacing factor
CEM I - 1	3.20	2.6	2.6	2.8	17	0.41
CEM I - 2	3.00	2.7	2.7	2.8	19	0.38
CEM I - 3	4.50	2.8	2.8	3.9	21	0.32
CEM I - 4	5.10	4.1	4.1	5.7	24	0.25
F20 - 1	1.60	3.5	3.5	0.9	10	0.78
F20 - 2	2.60	2.0	2.0	2.6	25	0.32
F20 - 3	3.45	3.1	3.1	3.3	18	0.37
F20 - 4	4.45	3.5	3.5	5.9	22	0.27
F35 - 1	2.05	1.8	1.8	1.0	24	0.41
F35 - 2	2.70	3.8	3.8	2.2	20	0.35
F35 - 3	4.05	3.2	3.2	4.7	34	0.19
F35 - 4	5.05	4.8	4.8	5.8	27	0.22
S20 - 1	2,00	3,6	0,7	2,2	13	0,55
S20 - 2	2,85	5,1	1,1	3,0	17	0,38
S20 - 3	3,70	2,3	1,2	3,7	27	0,29
S20 - 4	4,70	3,7	2,1	6,1	30	0,20
S35 - 1	2,30	3,1	0,5	1,5	16	0,54
S35 - 2	3,80	3,6	1,3	3,9	19	0,33
S35 - 3	4,50	3,1	1,5	4,3	25	0,27
S35 - 4	5,20	5,6	2,4	6,7	23	0,23
S70 - 1	3,20	2,9	0,9	2,6	14	0,48
S70 - 2	4,10	2,7	1,1	3,2	21	0,35
S70 - 3	4,50	4,3	1,4	4,1	18	0,35
S70 - 4	4,70	3,3	1,2	3,5	17	0,38
K35 - 1	3,50	3,3	1,0	3,0	17	0,40
K35 - 2	3,70	3,7	1,2	3,5	18	0,35
K35 - 3	5,00	3,5	1,5	4,5	23	0,27
K35 - 4	5,10	3,2	1,6	4,9	23	0,27

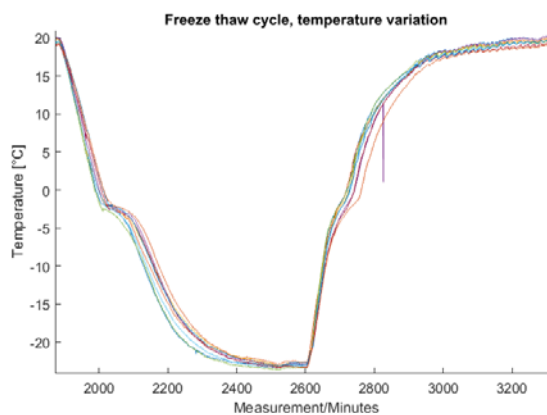
Cylindrarna som proverna till frystestet togs från härdade 306 dygn osågad (dvs endast utsätts för självuttorkning) samt 1 dygn med sågad provyta nedsänkt i vatten. Därmed har ytorna aldrig

fått torka eller karbonatisera. Syftet med härdningsförfarandet är att minska spridningen av hydratationsgraden och fukthalt hos de olika provkropparna från samma gjutning samt att prova det specifika förhållandet då ytorna är okarbonatiserade. Det bidrar även till att långsamma reaktioner från slaggen och flygaskan även hunnit ske innan saltfrosttesterna börjar.

En mer detaljerad beskrivning av frysmetoden är presenterad i [3]. Provkropparna var 100Ø mm² och 50 mm höga. Figur 4a och 4b presenterar provuppställningen. Figur 5a presenterar uppställningen av prov i fryssarna under testet och Figur 5b presenterar fryscykeln uppmätt under ett dygn i saltlösningen hos 7 provkroppar (en på respektive hylla) då frysen var full. Frysen var inställd på att hålla +20 °C i 12 timmar och -23 °C i 12 timmar.



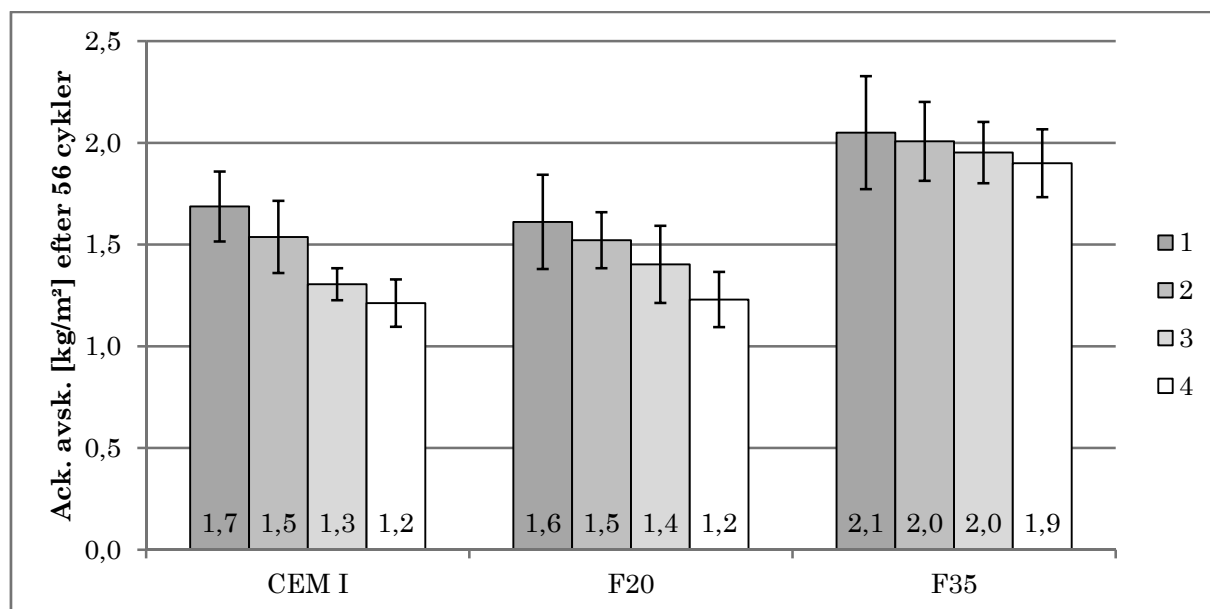
Figur 4. Provpuppställning under frystestet. 4a sektionsskiss. 4b foto under pågående test.



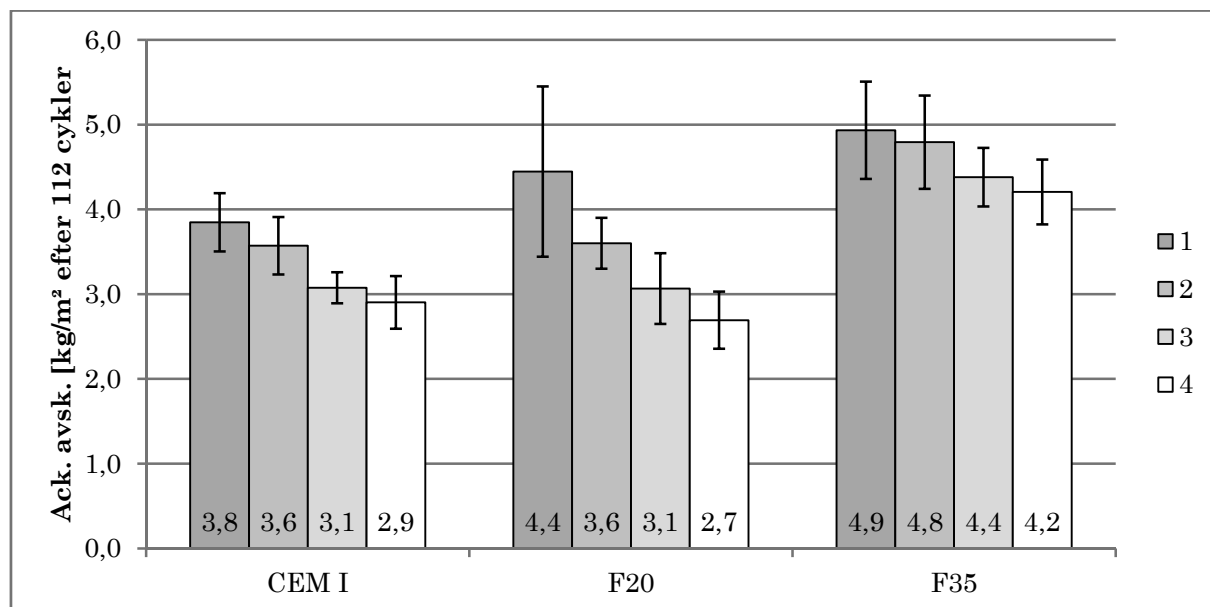
Figur 5. Provpuppställning i frysen under testet. 9 prov per hylla.

RESULTAT

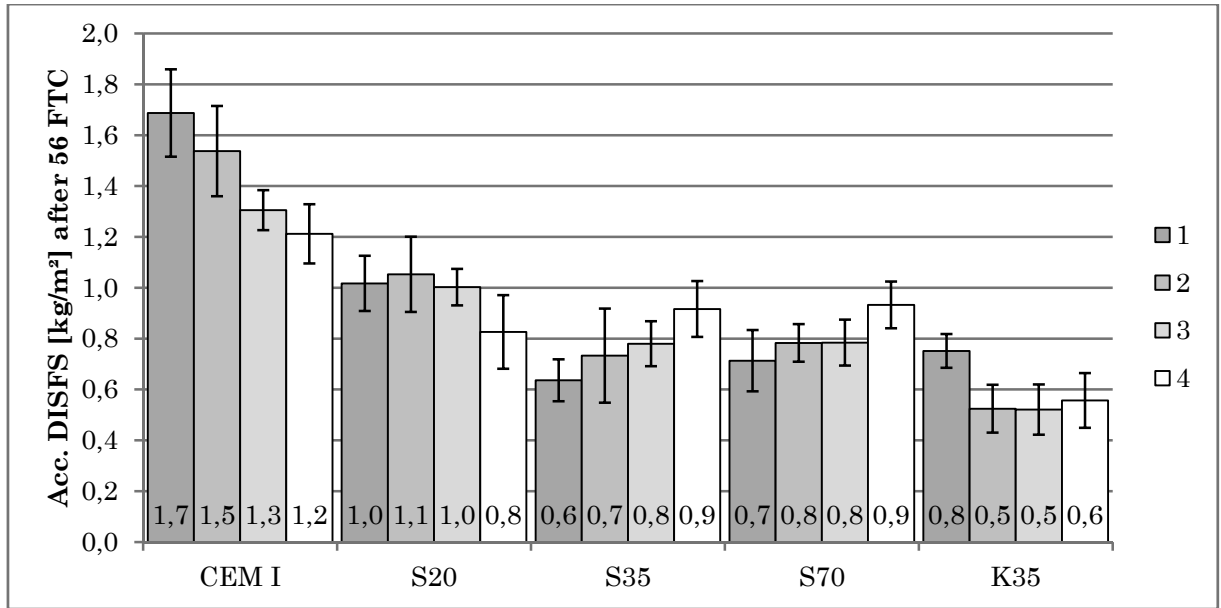
Figur 6 och Figur 7 presenterar ackumulerad avskalning efter 56 och 112 cykler för betong med 100% CEM I samt de som innehåller flygaska. Figur 8 och Figur 9 presenterar ackumulerad avskalning efter 56 och 112 cykler för betong med 100% CEM I samt de som innehåller slagg. De två diagrammen ger en indikation om avskalningen över tiden samt hur mycket inverkan det blir från större stenar som lossar vid slutet av saltfrosttesterna.



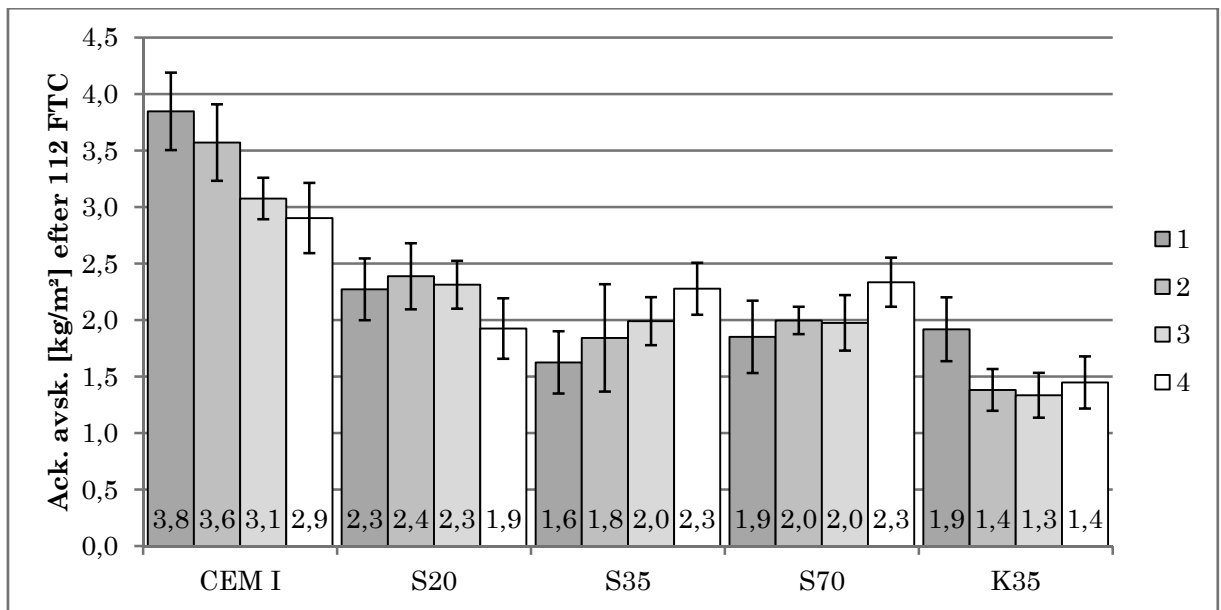
Figur 6. Ackumulerad avskalning efter 56 cykler för betong med 100% CEM I, 20 och 35 vikt% flygaska. Medelvärde av 6 provkroppar med standardavvikelse. #1 visar gjutning #1 som endast innehåller flyttillsattsmedel, #2 innehåller minst mängd luftporbildare osv.



Figur 7. Ackumulerad avskalning efter 112 cykler för betong med 100% CEM I, 20 och 35 vikt% flygaska. Medelvärde av 6 provkroppar med standardavvikelse. #1 visar gjutning #1 som endast innehåller flyttillsattsmedel, #2 innehåller minst mängd luftporbildare osv.

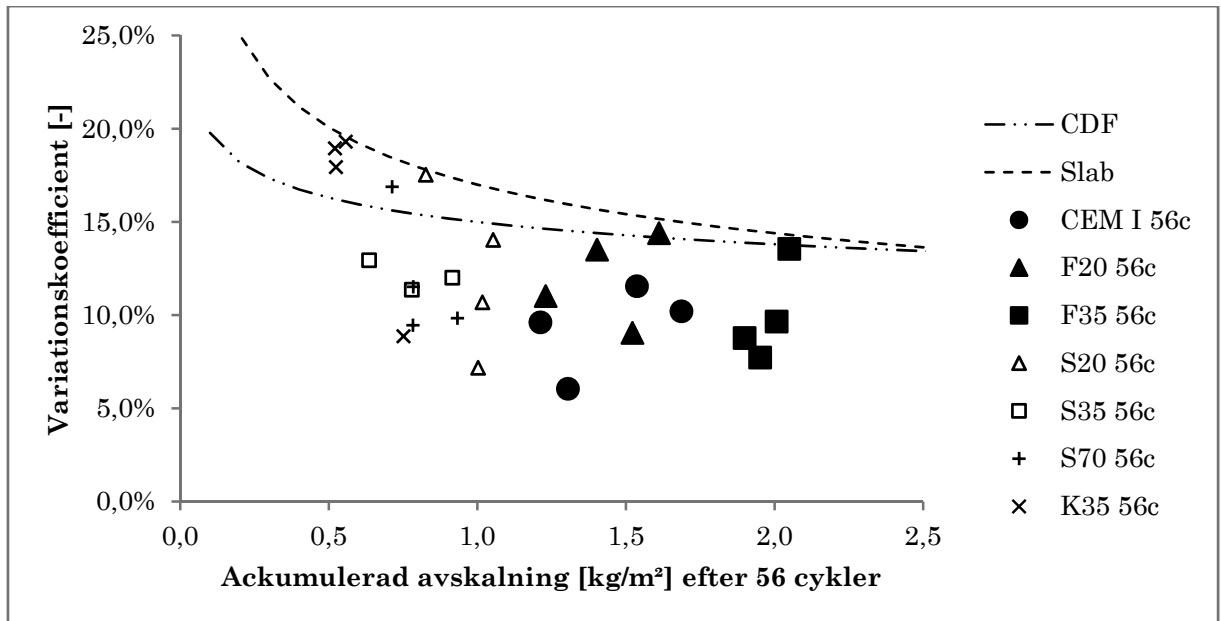


Figur 8. Ackumulerad avskalning efter 56 cykler för betong med 100% CEM I, 20 35 och 70 vikt% slagg samt 25+10 vikt% slagg+kalkfiller. Medelvärde av 6 provkroppar med standardavvikelse. #1 visar gjutning #1 som endast innehåller flyttillsattsmedel, #2 innehåller minst mängd luftporbildare osv.

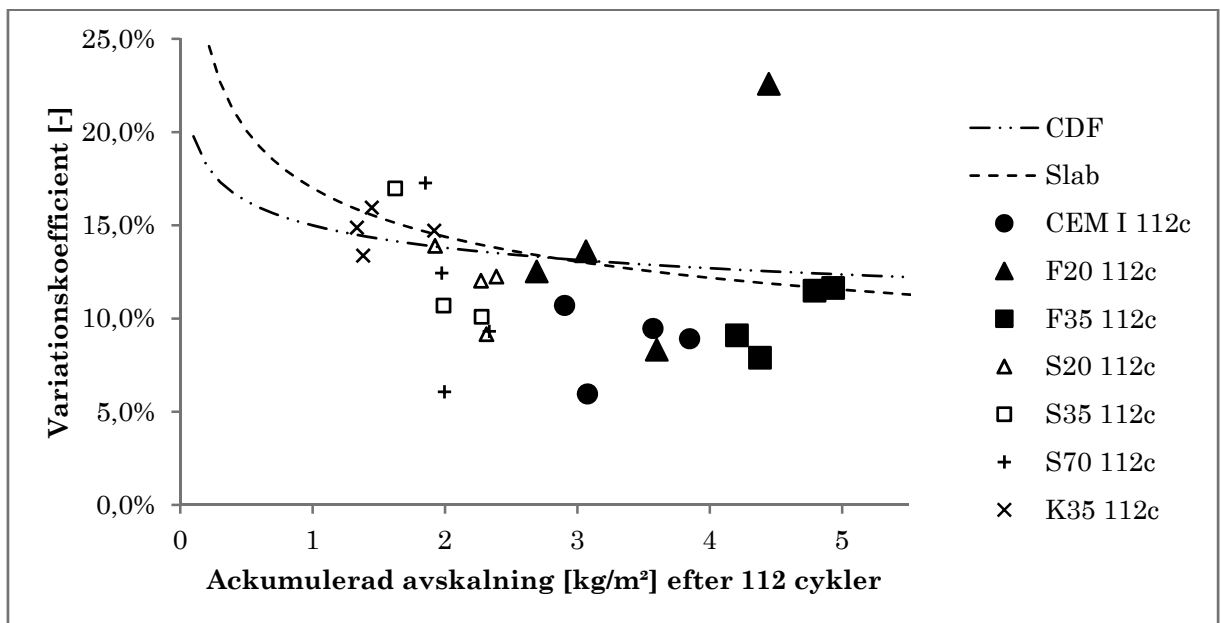


Figur 9. Ackumulerad avskalning efter 112 cykler för betong med 100% CEM I, 20 35 och 70 vikt% slagg samt 25+10 vikt% slagg+kalkfiller. Medelvärde av 6 provkroppar med standardavvikelse. #1 visar gjutning #1 som endast innehåller flyttillsattsmedel, #2 innehåller minst mängd luftporbildare osv.

Figur 10 och Figur 11 redovisar variationskoefficienterna efter 56 och 112 cykler för respektive recept samt jämför med de som finns angivna i den europeiska standarden [5].
 Variationskoefficienten är standardavvikelsen dividerat med medelvärdet, vilket innebär att den ger en uppfattning om spridningen av mätvärdena i förhållande till mängden avskalning för respektive betongrecept.



Figur 10. Variationskoefficienten i förhållande till ackumulerad avskaling efter 56 cykler. Jämförelse med de angivna i europa-standarderna [5].



Figur 11. Variationskoefficienten i förhållande till ackumulerad avskaling efter 112 cykler. Jämförelse med de angivna i europa-standarderna [4].

DISKUSSION

Resultaten visar att avskalningen med den aktuella frysmetoden verkar accelerera under testet för samtliga betongrecept. Detta skiljer sig från resultat med Boråsmetoden som visar en hög avskalning under de första 7 till 14 cyklerna, därefter en stor minskning i avskalningen per cykel under resten av frystestet. Anledningen till detta tros vara förbehandlingen av ytan som aldrig fått torka eller karbonatisera jämfört med då Boråsmetoden används och proverna torkar och karbonatiserar i fördelaktiga förhållanden under 1 vecka innan frystestet startar. Resultat som presenteras av Utgenannt [2] visar att en okarbonatiserad yta verkar få en linjär ackumulerad avskalningskurva dvs en mer eller mindre konstant avskalningshastighet vilket liknar resultaten från denna studie.

Enligt Figur 6 och Figur 7 så verkar det som att en ökad mängd små porer i betong med 20 vikt% kiselhaltig flygaska minskar mängden avskalningar på samma sätt som för betong med 100% CEM I. För betongen med 35 vikt% flygaska verkar det som att denna effekt från den ökande mängden små luftporer minskar, dock ger de små luftporerna en skyddande verkan. Betongen med 35 vikt% flygaska resulterar generellt sett i en större mängd avskalningar jämfört med betong som innehåller 100% CEM I samt 20 vikt% kiselhaltig flygaska.

Figur 8 och Figur 9 visar att betong med 20 vikt% slagg får en liten minskning av avskalningar om betongen innehåller tillräckligt många små luftporer (jämför gjutning #4 med #1, #2 och #3). Ökningen av mängden små luftporer verkar inte vara tillräcklig mellan gjutning #1 till #3. För betongen med 35 och 70 vikt% slagg ses istället en ökad mängd avskalningar då mängden små luftporer ökar. Detta skulle kunna bero på att en hög mängd slagg bidrar till en tätare struktur vilket innebär att vattnet inte kan transporteras lika snabbt som i betong med endast cement. Då bidrar troligtvis ett ökat antal luftporer endast med att det blir fler ställen där vatten kan börja frysa. För betong med 25+10 vikt% slagg+kalkfyller sker en minskning då luftporbildare blandas i, dock verkar det inte minska med en ökad mängd luftporbildare.

Figur 10 och Figur 11 visar att variationskoefficienten är generellt sett ungefär lika hög som standarden eller lägre. För betongrecept "F20-1" så lossnade flera stenar från 2 av de 6 provkropparna på slutet vilket resulterade i en väldigt hög variationskoefficient efter 112 cykler.

Fortsatta studier

Motsvarande frystest kommer göras på karbonatiserade och torkade provytor på provkroppar från samma betong som redan testats och redovisas här (okarbonatiserad och aldrig fått torka). Detta kommer göra det möjligt att se effekten från karbonatisering hos respektive bindemedelskombination i kombination med effekten från en ökad lufthalt. Dessa kompletterande frystest tillsammans med mätningar av kapillärsugning och lågtemperaturkalorimetri hos varje material kommer troligtvis ge indikationer om vilka egenskaper som har störst inverkan på saltfrostbeständigheten. Därmed kommer rekommendationer kunna ges med hänsyn till vilka bindemedelskombinationer som skulle kunna användas i t.ex. broar där betongen utsätts för saltfrostskador.

SLUTSATTSER

Följande slutsatser har dragits för de inom projektet utvecklade testmetoderna:

- Resultaten visar att testet av tillsatsmedelskombinationer ger en bra indikation om vilket flyttillsatsmedel som respektive luftporbildare fungerar bra tillsammans med varje bindemedelskombination.
- Med hänsyn till de generellt sett låga variationskoefficienterna så anses den utvecklade saltfrostmetoden vara lämplig för att studera saltfrostmekanismen för betong. Den utsätter samtliga prov för en jämn fryscykel och därmed så tros själva metoden bidra med en försumbar variation av avskalningsresultaten.

Följande slutsatser har dragits utifrån de erhållna resultaten på väl härdade, ej torkade och okarboniserade testytorna:

- Resultaten visar att betong med 100% CEM I samt 20 vikt% kiselhaltig flygaska erhåller liknande reduktion av avskalningar då mängden luftporbildare ökar. Betong med 35 vikt% kiselhaltig flygaska erhåller ett mindre skydd och har generellt sett en större mängd avskalningar.
- Resultaten tyder på att betong med 20 vikt% slagg kan erhålla en reduktion av avskalningar då erforderlig mängd luftporbildare tillsätts. Betong med 35 och 70 vikt% slagg fick en ökad avskalning då en ökad mängd luftporbildare tillsätts, d.v.s. luftporerna som bildats i den hårdnade betongen bidrog inte till ökat skydd mot saltfrostsador. Betong med 25+10 vikt% slagg+kalkfiller verkar få en positiv effekt då luftporbildare tillsätts, dock erhöles inte en ökad effekt då mängden luftporbildare ökades.

REFERENSER

1. Scrivener, K.L., *Options for the future of cement*. The Indian Concrete Journal, 2014. **88**(7): p. 11.
2. Utgenannt, P., *The influence of ageing on the salt-frost resistance of concrete*, in *Department och Building and Environmental Technology*. 2004, Faculty of Engineering, LTH, Lund University: Lund. p. 346.
3. Strand, M.J., *De-icing salt frost scaling in concretes with fly ash or slag with low air void contents*, in *Building Materials*. 2016, Lunds University. p. 222.
4. Strand, M.J. and K. Fridh, *Methodology to analyse the salt frost scaling mechanism(s) in concrete with different binders*, in *Materials, Systems and Structures in Civil Engineering 2016*. 2016: Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark.
5. CEN/TS, *CEN/TS 12390-9 in Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance - Scaling*. 2006. p. 24.