

# Karbonatisering av slagg- och flygaskebetong – och dess inverkan på transportegenskaper

Betong som innehåller alternativa bindemedel har en rad önskvärda och positiva egenskaper, vilka bland andra är mindre koldioxidutsläpp, lägre värmeutveckling och högre motståndskraft mot syra-, sulfat- och kloridattack. Dock kan alternativa bindemedel också påverka andra egenskaper, t.ex. ökad karbonatiseringshastighet eller reducerad hållfasthet. För att analysera dessa egenskaper har en studie där inverkan av karbonatisering hos betong med slagg och flygaska genomförts. Hur karbonatiseringen i sin tur påverkar transportegenskaper hos betongen har också undersökts. Syftet var att genomföra en förstudie med accelererade karbonatiseringstester för att ge en större förståelse om effekterna av mineraliska tillsatsmaterial.



Figur 1: Betongprover bestående av tre olika inblandningsmängder, sprayade med fenolfalein för att indikera hur långt in i betongen karbonatiseringen trängt in.

Betong består av ballast och cementpasta, där cementpasta är produkten av cement (bindemedel) och vatten, som härdar under hydratiseringsprocessen. Traditionell cement (portlandcement, benämnt CEM I enligt SS-EN 197-1) kan till viss del ersättas med andra bindemedel, t.ex. stenkolsflygaska eller mald granulerad masugnsslagg. Detta är två mineraliska tillsatsmaterial som är biprodukter från förbränning av kol respektive järnframställning. Mineraliska tillsatsmaterial påverkar beständigheten hos betong. Detta gäller i synnerhet den nedbrytande processen orsakad av karbonatisering då koldioxid i atmosfären reagerar med betongen; se Neville (1995). Karbonatiseringen i sig skadar inte betongen, däremot påverkas det passiva skiktet runt armeringen som bryts ned till följd av den sänkning av pH-värdet som karbonatiseringen orsakar. Detta i sin tur gör att armeringen kan börja korrodera om förutsättningar finns (tillgång till syre och fukt).

## Syfte och utförande

Syftet med studien har varit att undersöka inverkan av slagg och flygaska tillsatt till portlandcement samt vilka mängder av

dessa material som är möjliga med hänsyn till svenska krav på beständighet; se Bohlin & Snibb (2016). Karbonatisering av betong med olika inblandning av flygaska och slagg analyserades därför med avseende på: (1) hur karbonatisering är beaktat i gällande standarder (SS 137003 och EKS 10); och (2) hur karbonatisering påverkar transportegenskaper och kloridinträngning. Karbonatisering undersöktes på betong (bruk, med  $D_{max}$  2 mm) som exponerades för en förhöjd koldioxidhalt (2 procent  $CO_2$ ), dvs. accelererad karbonatisering. Karbonatiseringsdjupet bestämdes genom att applicera en fenolfaleinlösning som indikerar om och var pH-värdet understiger ca 9 (färglös vid pH 8,2 och magentafärgad vid pH över 9), se figur 2.

## Faktorer som påverkar karbonatisering

De huvudsakliga faktorer som påverkar graden av karbonatisering är diffusionen av koldioxid genom betongen, vilken styrs av porositet och porstruktur (vattencementtal,  $v_c$ ), och dess reaktioner med kalciumhydroxid ( $Ca(OH)_2$ ) i betongen. Då portlandcement ersätts med flygaska



Artikelförfattare är Karl Bohlin och Robin Snibb, examensarbetare Chalmers tekniska högskola

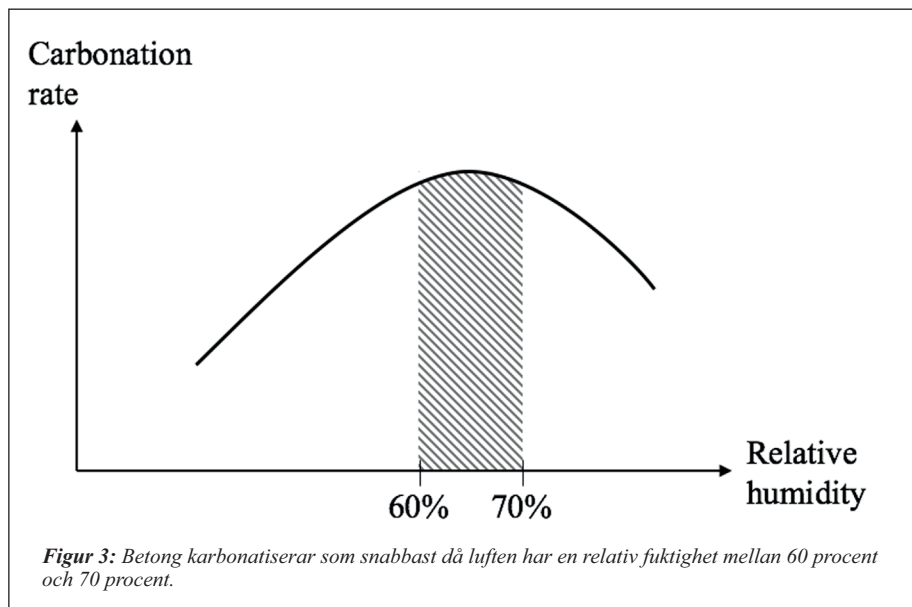
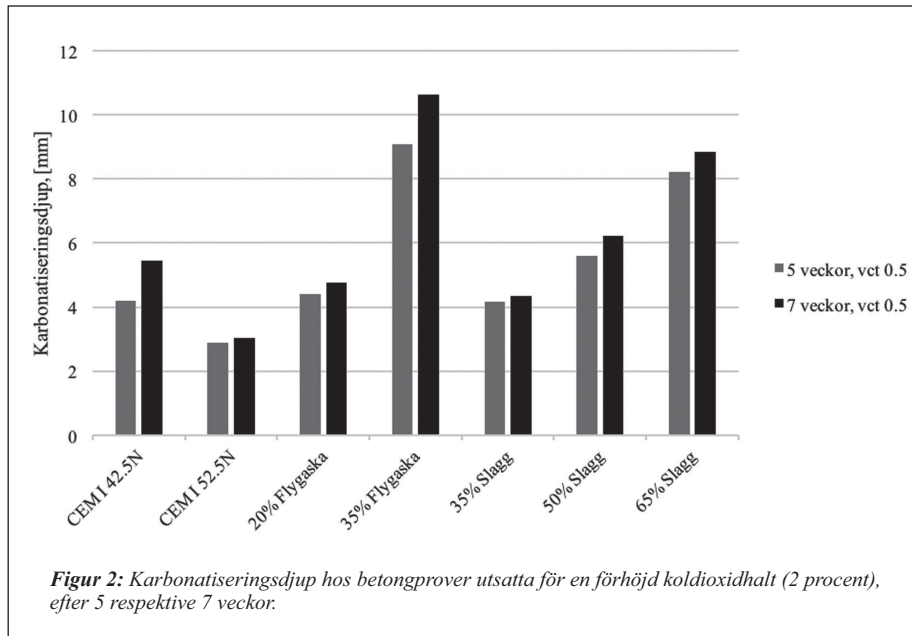


Ingemar Löfgren, Thomas Concrete Group / Chalmers tekniska högskola, Helén Jansson, Chalmers tekniska högskola

och slagg minskar kalciumhydroxidhalten vilket gör att karbonatiseringen, vid samma diffusionskoefficient, sker snabbare; se t.ex. Lye m.fl. (2015 & 2016). Karbonatiseringen påverkas också av koldioxidkoncentrationen i atmosfären, ju högre koncentration desto snabbare sker karbonatiseringen. Även luftfuktigheten spelar

stor roll för karbonatiseringshastigheten, hastigheten ökar med ökande relativ fuktighet (RF) upp till runt 80 procent, varefter den minskar, se figur 3. Minskningen av karbonatiseringshastigheten vid ett högt RF förklaras av att diffusionshastigheten för koldioxid är  $10^4$  gånger högre i luft jämfört med i vatten. Sålunda

förekommer nästan ingen karbonatisering när betongen är våt. Å andra sidan måste karbonatiseringsprocessen ha tillgång till vatten för att fortgå, vilket förklarar att ingen karbonatisering sker i det nedre spannet av den relativa fuktigheten, det vill säga i torr betong. Relativ fuktighet i spannet 60 procent till 70 procent har visat sig orsaka den högsta karbonatiseringshastigheten.



### Krav enligt gällande regelverk

I SS 137003 anges krav på ett ”ekvivalent” vattencementtal ( $vct_{ekv}$ ), vilka cementtyper som anses beprövade samt hur mycket tillsatsmaterial som får tillsättas i respektive exponeringsklass. Med avseende på karbonatisering tillåts 35 procent flygaska (CEM II/B-V) eller 6 procent slagg (CEM III/A) i XC1 (torr eller ständigt våt) och XC2 (våt, sällan torr). I exponeringsklass XC3 (måttlig fuktighet) och XC4 (cykliskt våt och torr) tillåts max 35 procent flygaska eller slagg (cement CEM II/B-V respektive CEM II/B-S). Erforderligt minsta täckskikt anges i Boverkets konstruktionsregler (EKS 10) och utifrån detta kan den tillåtna karbonatiseringshastigheten beräknas och som anges i tabell 1.

### Undersökning av likvärdig beständighet

I studien har slagg och flygaska använts som tillsatsmaterial och ersatt portlandcement vid konstant bindemedelshalt och vattenbindemedelstal ( $vbt$ ). Mineraliska tillsatsmaterial kan tillsättas antingen under betongtillverkning eller vid cementtillverkning, i det senare fallet klassas cement enligt någon av de ordinära cementen enligt SS-EN 197-1. Ersättning under betongtillverkningen är möjlig i standarden SS-EN 206, som tillåter användandet av tre olika koncept som antingen avser att erhålla en: (1) ”likvärdig prestanda” som ett CEM I; eller (2) ”likvärdig hållfasthet” som tillåtna beprövade cement (CEM I, CEM II, CEM III, etc.). Två av dessa koncept är tillåtna i det svenska tillämpningsdokumentet SS 137003. Dessa baseras antingen på föreskrivna reduceringsfaktorer genom det så kallade k-värdeskonceptet eller på provning av tryckhållfasthet enligt kraven i cementstandard SS-EN 197-1 genom det så kallade *Equivalent Performance of Combination Concept (EPCC)*. Förenklat kan koncepten ”likvärdig prestanda” beskrivas med att vattenbindemedelstalet ( $vbt$ ) ändras till dess att betongen visar lika goda eller bättre egenskaper än en betong med rent portlandcement. Därmed fås ett ekvivalent  $vct_{ekv}$  för betongen med

**Tabell 1,** Krav på  $vct_{ekv}$  tillåten mängd flygaska eller slagg samt beräknad tillåten karbonatiseringshastighet för XC1 & XC3/XC4 utifrån föreskrivet täckskikt i EKS 10 (Boverket 2016) i respektive livsängdsklass (L100, L50 & L20).

	Max $vct_{ekv}$	Mängd flygaska	Mängd slagg	$K_{req,L 100}$ [ $mm/\bar{a}r^{0.5}$ ]	$K_{req,L 50}$ [ $mm/\bar{a}r^{0.5}$ ]	$K_{req,L 20}$ [ $mm/\bar{a}r^{0.5}$ ]
XC1	0,90	35 %	65 %	1,5	1,4	2,2
	0,60	35 %	65 %	1,0	1,4	2,2
XC3/XC4	0,55	35 %	35 %	2,5	2,8	3,4
	0,50	35 %	35 %	2,0	2,1	2,2



slagg respektive flygaska som motsvarar ett  $v_{bt}$  för en portlandcement-betong.

I försöken har två olika portlandcement använts, CEM I 52,5 N (Cemex Standard) har använts som referens och CEM I 42,5 N SR3 MH/LA (Cementa Anläggningcement) för jämförelse. I de undersökta blandningarna med tillsatsmaterial har 35, 50 och 65 procent slagg eller 20 och 35 procent flygaska ersatt referenscementen, CEM I 52,5 N. För provningarna gällande karbonatisering undersöktes tre olika vattenbindemedelstal ( $v_{bt}$ ) 0,40, 0,50 och 0,60. Karbonatiseringshastigheten bestämdes genom accelererade försök där provkropparna exponerades för en förhöjd  $CO_2$  koncentration (2,0 procent), vid en relativ fuktighet av 65 procent, upp till 7 veckor. Den högre halten av  $CO_2$  medför att karbonatiseringen går cirka 7 gånger snabbare än under naturliga förhållanden. Karbonatiseringsprovningen påbörjades vid 28-dygn efter att proverna först härdades 7 dygn i vatten och därefter 21 dygn i 65 procent RF. Inverkan av karbonatisering på transportegenskaper

undersöktes för betong med  $v_{bt}$  0,50, där kapilläruppsugning (enligt NT Build 368) och kloridmigration (enligt NT Build 492) provades på både karbonatiserade och icke-karbonatiserade prover. För alla blandningar bestämdes också tryckhållfasthet.

### Karbonatiseringshastighet och tryckhållfasthet

Resultat från 28-dygns tryckhållfasthet visar en tydlig trend av minskad tryckhållfasthet med ökad ersättningsmängd av flygaska eller slagg, se figur 4. Att uppnå en erforderlig hållfasthet är en viktig parameter när flygaska eller slagg ersätter portlandcementen. Från de accelererade karbonatiseringstesterna framgår att karbonatiseringshastigheten ökar med ökad halt flygaska eller slagg.

Resultaten visar att karbonatiseringshastigheten ökar snabbare än vad hållfastheten minskar, vilket skapar en viss osäkerhet för beständighetskonceptet som använder hållfasthet som en indirekt indikator. Men för att bedöma be-

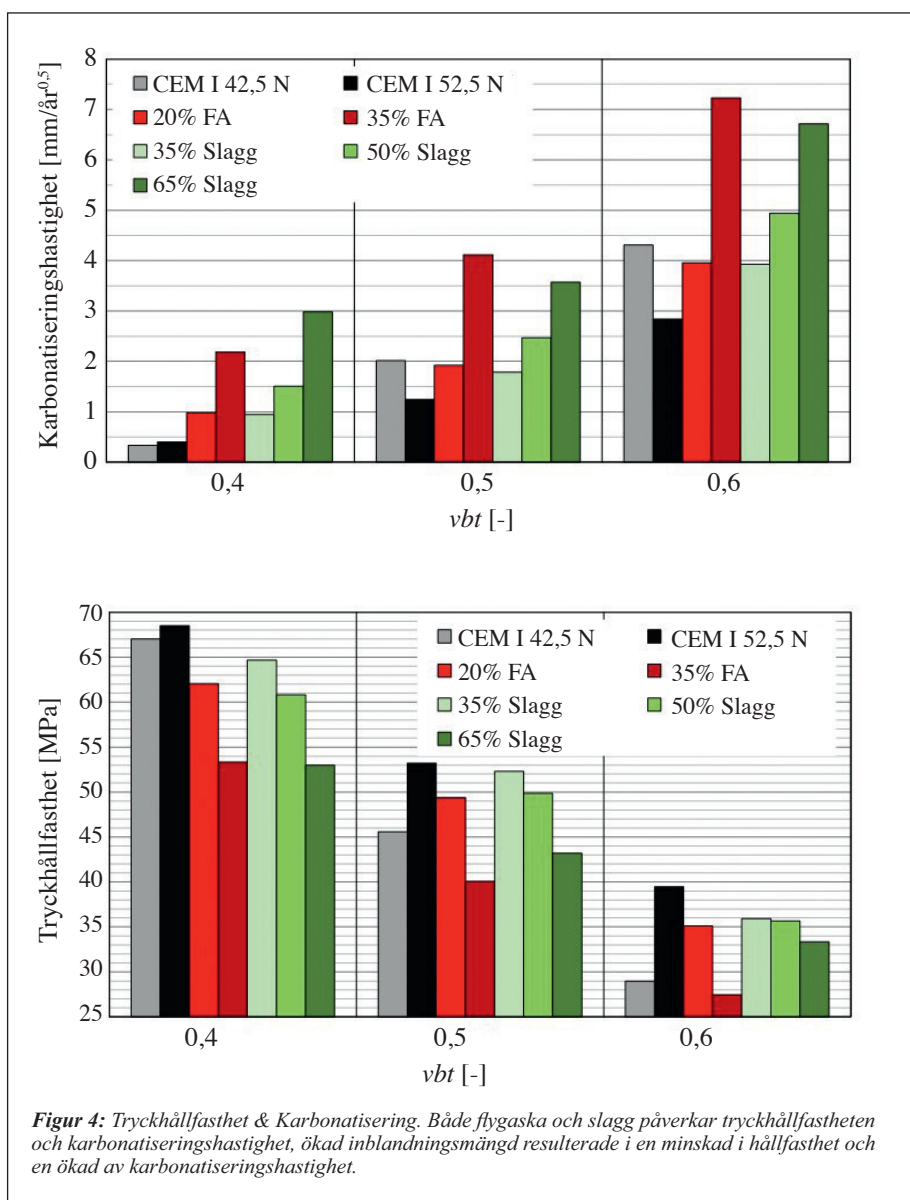
ständighetskoncepten i standarden måste det också beaktas att det för olika tillåtna cement (CEM I, CEM II, etc.) finns skillnader vad gäller hållfasthet och sammansättning inom ramen för cementstandard SS-EN 197-1. Från försöken kan det tydligt ses att det är skillnad mellan de olika portlandcementen, i dessa försök erhöles större karbonatiseringshastighet för CEM I 42,5 N SR3 MH/LA jämfört med CEM I 52,5 N. Resultaten visar också att vid  $v_{bt}$  0,50 och 0,60 var karbonatiseringshastigheten med 20 procent flygaska och 35 procent slagg motsvarande den som erhöles för CEM I 42,5 N, se figur 4. Vad gäller inverkan av inblandningsmängden på karbonatiseringen så tyder resultaten på att 20 procent flygaska och 35 procent slagg leder till samma ökning och att 35 procent flygaska motsvaras av cirka 65 procent slagg; se också Lye (2015 & 2016).

Den karbonatiseringshastighet som visas i figur 4 är omräknad från en förhöjd till en naturlig  $CO_2$ -halt och kan då jämföras med de värde som anges i tabell 1. Då provningen genomfördes vid 65 procent RF motsvaras försöken närmast av exponeringsklass XC3, som i sin tur motsvaras av ett RF mestadels mellan 65 och 85 procent. För  $v_{bt}$  0,50 är den uppmätta karbonatiseringshastigheten i linje med erforderlig för CEM I och för 20 procent flygaska eller 35 procent slagg. För högre inblandningsmängder är den uppmätta karbonatiseringshastigheten högre än den i tabell 1. Dock torde resultaten vara konservativa då provningen genomfördes vid konstant RF (65 procent) samt att det vid en accelererad provning (vid förhöjt  $CO_2$ ) inte beaktas den positiva effekten av fortsatt hydratation och förtätning av porstrukturen.

### k-värdes konceptet i SS-EN 206

I EN 206 och SS 137003 är det möjligt att tillgodoräkna sig slagg och flygaska som ersättning till portlandcementet med hjälp av det som kallas k-värden. K-värdena är schablonvärden som bestämmer hur mycket slagg och flygaska som måste tillsättas för att motsvara en viss mängd portlandcement i betongblandningen. De s.k. normala k-värdena är enligt SS-EN 206 antagna till 0,4 för flygaska och 0,6 för slagg, men i SS 137003 finns också s.k. förhöjt k-värde på 0,5 för flygaska och 0,8 för slagg som ställer extra krav på provning av tillsatsmaterialet med aktuellt cement.

K-värdena används för att beräkna ekvivalent cementmängd och  $v_{bt,ekv}$  se ekvation 1. Eftersom k-värdena för flygaska och slagg är lägre än 1,0 krävs det

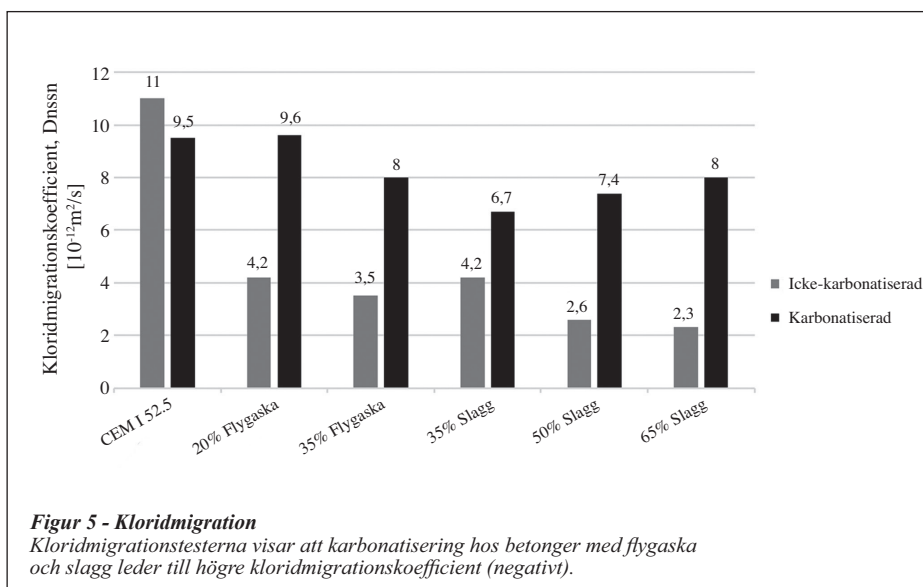


alltså mer slagg eller flygaska för att uppnå samma beständighetskrav ( $vct_{ekv}$ ) som för en blandning med bara portlandcement.

$$\frac{w}{c_{ekv}} = \frac{vatten}{cement + (k \cdot mineralisk tillsats)} \quad (1)$$

I denna studie har föreskrivna k-värden analyserats med avseende på tryckhållfasthet och karbonatisering. Alltså om betongens tryckhållfasthet och karbonatiseringshastighet försämras i den grad som föreskrivna värdena anger. Resultatet visade att både normala och förhöjda k-värdena är på den säkra sidan vad gäller hållfasthet för samtliga testade inblandningsmängder. Samma gäller de normala k-värdena för karbonatisering, förutom för blandningen med 35 procent flygaska, se tabell 2. Dock ska det påpekas att SS 137003 och SS-EN 206 förutsätter en högsta tillåten inblandningsmängd, som för flygaska är 25 procent (flygaska/cement  $\leq 0,33$ ) och för slagg 50 procent (slag/cement  $\leq 1,0$ ).

Inblandningsmängder högre än 20 procent flygaska och cirka 50 procent slagg visade sig dock vara på den osäkra sidan i de accelererade provningarna gällande förhöjt k-värde, alltså presterade dessa blandningar sämre än det i standarden antagna förhöjda k-värdet. Ett verktyg som k-värden i SS-EN 206 ska beakta flera olika beständighetskriterier, så som kloridinträngning, frost och karbonatisering, men är baserat på tryckhållfasthet som indikator. Eftersom slagg och flygaska förbättrar vissa egenskaper och försämrar andra jämfört med portlandcement så blir ett sådant schablonartat mått ganska trub-



**Figur 5 - Kloridmigration**  
Kloridmigrationstesterna visar att karbonatisering hos betonger med flygaska och slagg leder till högre kloridmigrationskoefficient (negativt).

bigt. Å andra sidan är det ett lätt verktyg att använda och som möjliggör enkel användning av mineraliska tillsatsmaterial.

### Karbonatiseringens påverkan på transportmekanismer

När koldioxiden i luften reagerar med betong sker en karbonatiseringsprocess som förändrar porstrukturen genom att hydrationsprodukter (kalciumhydroxid och kalciumsilikathydrat) omvandlas till kalciumkarbonat. En förändring av porstrukturen påverkar i sin tur transportegenenskaperna hos betongen och därmed även beständigheten eftersom möjligheten för fukt, syre och klorider att nå armeringen påverkas. Eftersom karbonatiseringshastigheten är högre i betong med slagg och flygaska så är det av intresse att analysera skillnaderna i porstrukturförändringen för betong med och utan tillsatser, både för

karbonatiserade respektive icke-karbonatiserade prover. För att få en indikation av porstrukturförändringen utfördes kapillärsugningstester på betong med olika mängd flygaska och slagg.

Kapillärsugningstesterna på icke-karbonatiserade prover indikerade att betong med flygaska och slagg var tätare. Testerna visade också att karbonatiseringen förtätade samtliga betonger, förutom blandningen med högst andel slagg (65 procent). Förtätningen orsakad av karbonatisering var som mest markant hos betong innehållande enbart portlandcement (CEM I 42,5 N SR3 MH/LA). Alltså, samtliga blandningar, förutom 65 procent slagg, hade samma grad av täthet efter karbonatisering trots en initialt högre täthet av de som innehöll flygaska och slagg.

### Kloridmigration efter karbonatisering

Kloridmigrationstesterna visade på minskad motståndskraft mot kloridmigration efter karbonatisering för samtliga blandningar med flygaska och slagg, se figur 5. Karbonatisering kan alltså ha en negativ påverkan på kloridmigration, trots den förtätning av porstrukturen (p.g.a karbonatisering) som observerades i kapillärsugningstesterna. Detta kan troligtvis förklaras med en reducerad möjlighet att binda klorider i karbonatiserade betong, vilket då också överväger de positiva effekterna av förtätningen.

För icke-karbonatiserad betong visar resultaten att blandningar med slagg och flygaska har bättre motståndskraft mot kloridmigration än portlandcement. Dock jämnas denna positiva inverkan ut efter karbonatisering. Viktigt är att notera att betong med flygaska och slagg hade en högre karbonatiseringsgrad, vilket troligtvis påverkar de negativa effekterna av kloridmigrationen som observerades.

**Tabell 2. Beräknade k-värden för tryckhållfasthet och karbonatisering.**

Blandning	vbt	Beräknat k-värde	Föreskrivet k-värde	
			Tryckhållfasthet	Karbonatisering
Flygaska 20 %	0,5	0,73	0,58	0,4 (0,5)
Flygaska 35 % <sup>i)</sup>	0,5	0,55	0,24	
Slagg 35 %	0,5	0,96	0,81	0,6 (0,8)
Slagg 50 %	0,5	0,92	0,75	0,6 (0,8)
Slagg 65 % <sup>ii)</sup>	0,5	0,81	0,65	

<sup>i)</sup> Högsta mängd som får medräknas i  $vct_{ekv}$  med k-faktor i EN 206 är 25 %

<sup>ii)</sup> Högsta mängd som får medräknas i  $vct_{ekv}$  med k-faktor i EN 206 är 50 %

## Betong med höga halter flygaska och slagg

Ökning av karbonatiseringshastighet och minskningen av hållfastheten med ökad mängd mineraliska tillsatser visade sig inte vara linjär. Höga halter, vilket i detta fall var 35 procent flygaska respektive 65 procent slagg, visade på en ökad negativ effekt på både karbonatisering och hållfasthet. Frågan är hur väl detta är beaktat i SS 137003 och EKS 10 (Boverket 2016). Dessutom, enligt SS-EN 197-1 tillåts hållfastheten för cement variera vilket gör en direkt jämförelse svår och fler provningsresultat behövs. Resultaten tycks dock stödja begränsningen i maximal halt flygaska och slagg vid användandet av k-värdes konceptet som rådande standarder tillämpar i exponeringsklass XC3, detta gäller också EPCC-konceptet och de s.k. beprövade cementen i SS 137003. Alla dessa koncept använder hållfasthet som indirekt indikator för beständighet, men höga halter tillsatsmaterial förefaller orsaka en större ökning av karbonatiseringshastigheten än vad hållfastheten minskar, vilket kanske inte beaktas fullt ut. Utifrån resultaten så verkar det också finnas en diskrepans i SS 137003 beaktat effekten på karbonatisering i XC3 (XC4) för flygaska och slagg. Den högsta tillåtna mängden flygaska är nämligen densamma som för slagg, max 35 procent. Detta trots att studier har visat att flygaska har en större negativ påverkan, se Lye (2016), och vilket t.ex. beaktas i Norge (NS-EN 206+NA).

Höga halter av slagg (65 procent) visade sig också ge en minskad täthet av porstrukturen efter karbonatisering i motsats till de andra blandningar som blev tätare. Detta beror troligen på karbonatisering av kalciumsilikathydrater (CSH), som en följd av minskad mängd kalciumhydroxid, skapar en mer porös betong. Minskad täthet p.g.a. karbonatiseringen av CSH kan också ligga bakom den avsevärt högre kloridmigrationen som observerades på den höga slagginblandningen. Kappillarsugningstesterna indikerar även på en ökad hastighet för vattenmättnad, vilket kan ha negativa effekter på beständigheten mot frost vid höga slagghalter. Det är dock osäkert hur stor del av dessa negativa effekter som också kan härledas till låg grad av hydratisering av betong med slagg och flygaska på grund av en relativt kort vattenhärdningstid.

## Diskussion och sammanfattning

Vid måttliga mängder flygaska (<20 procent) och slagg (<50 procent) var inverkan på de undersökta egenskaperna (karbonatiseringshastighet och transpor-

tegenskaper) begränsade för de undersökta betongerna, detta trots lägre hållfasthet och en relativt sett lägre hydratiseringsgrad. Höga halter av flygaska (35 procent) och slagg (65 procent) innebar dock ett försämrat karbonatiseringsmotstånd. Anledningen till detta är minskad mängd kalciumhydroxid samt en långsammare hydratisering, vilket är negativt i accelererade försök. Resultaten visar att m.a.p. karbonatisering så ger 35 procent slagg liknade effekt som 20 procent flygaska och vid högre inblandningsmängd motsvaras 35 procent flygaska av cirka 65procent slagg. Karbonatiseringshastigheten med 20 procent flygaska och 50 procent slagg var likvärdig med den för CEM I 42,5 N SR3 MH/LA, som användes för jämförelse. I SS 137003 är föreskrivet  $v_{ct,ekv}$  detsamma oavsett typ av cement (CEM I, CEM II/A, CEM II/B eller CEM III/A). Men i motsvarande regelverk i Norge, NS-EN 206+NA (2014), krävs däremot ett lägre  $v_{ct}$  vid högre halter tillsatsmaterial för att beakta effekten på karbonatisering. I Norge föreskrivs således  $v_{ct,ekv}$  0,60 för CEM I men för CEM II/B-V och CEM III/A krävs  $v_{ct,ekv}$  0,50. Resultaten från denna studie indikerar att en liknande justering av  $v_{ct,ekv}$  beroende på cementtyp, ev. skulle behöva införas. Men för dettas behöver fler material och sammansättningar undersökas och resultat från naturlig exponering inventeras.

Resultatet från studien har också visat att karbonatisering kan påverka kloridin-

trängning, där ökad karbonatisering leder till högre kloridmigrationskoefficient för betong innehållande flygaska eller slagg. Frågan som kvarstår är om denna effekt är av samma storlek i naturliga förhållanden. Under naturliga förhållanden sker karbonatisering och kloriddiffusion betydligt långsammare och betongen fortsätter också att hydratisera och blir tätare. En annan skillnad är också att exponeringsförhållandena i verkliga konstruktioner i de flesta fall utsätts för högre fuktbelastning, ofta cykliskt våt och torr, vilket leder till långsammare karbonatisering. Genomgående i studien har accelererade tester med 7 dagars härdning utförts, förutom vid tryckhållfasthetstesterna. Detta skapar en viss osäkerhet i resultatet eftersom slagg och flygaska härdar långsammare än portlandcement, vilket troligen ger en större negativ inverkan än under naturlig exponering. Det finns därmed ett behov av att ta studierna vidare till tester baserade på naturlig karbonatisering och naturliga kloridtester, i syfte att kontrollera om de observerade effekterna i denna studie kan vara beroende av valet av testmetoder och accelererade försök.

För mer utförlig beskrivning av testmetoder, fler resultat, diskussion, bakgrundsfakta och källor så hänvisas till det examensarbetet som denna artikel baseras på: ”Carbonation of concrete – Effect of mineral addition and influence of transport properties”, som går att ladda ner från Chalmers databas <http://studentarbeten.chalmers.se/>. ■

## Referenser

- [1]. Bohlin, K., & Snibb, R., (2016): *Carbonation of concrete - Effect of mineral additions and influence on transport properties*. Master's Thesis BOMX02-16-42, Chalmers University of Technology.
- [2]. Lye, C-Q., Dhir, R K., Ghataor, G S. (2015) Carbonation resistance of fly ash concrete. Magazine of Concrete Research, vol. 67, issue 21, pp. 1150-1178
- [3]. Lye, C-Q., Dhir, R K., Ghataor, G S. (2016) Carbonation resistance of GGBS concrete. Magazine of Concrete Research, vol. 68, issue 18, pp. 936-969.
- [4]. Neville, A.M. (1995): *Properties of Concrete*. 4<sup>th</sup> edition. Essex: Pearson Education Limited.
- [5]. NS-EN 206+NA (2014): *Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*. Standard Norge, Oslo, 2014.
- [6]. NT Build 368 (1991): *Concrete, repair materials: Capillary Absorption*. Espoo: Nordtest
- [7]. NT Build 492 (1999): *Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments*. Espoo: Nordtest
- [8]. SS-EN 197-1 (2011): *Cement – Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement*. SIS Swedish Standards Institute, Stockholm.
- [9]. SS-EN 206 (2013): *Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse*. SIS Swedish Standards Institute, Stockholm.
- [10]. SS 137003 (2015): *Betong - Användning av EN 206 i Sverige*. SIS Swedish Standards Institute, Stockholm.