

Flygaskans inverkan på fuktegenskaper i betong

Ett sätt att minska koldioxidavtrycket vid cementtillverkning är att ersätta en viss del av cementklinkern med olika mineraliska tillsatsmaterial. Flygaska är ett sådant restmaterial från stenkolsförbränning som också har puzzolana egenskaper. Utöver de viktiga klimatvinsterna bidrar flygaskan till att betongen blir lättarbetad, något som underlättar övergången till krossballast.

Flygaskan ger även ett bättre skydd mot kloridinträngning och minskar risken för alkalisilikareaktioner (ASR) för att nämna ytterligare några goda egenskaper. Flygaskecement är därför en väl etablerad cementprodukt med kända egenskaper som har använts länge och i stor skala runt om i världen på marknader där tillgången varit god. Vårt norska systerbolag Norcem har till exempel sålt cement med flygaska i drygt 30 år.

En del av dessa goda beständighetsegenskaper fås genom att en fuktlagrad och välhärdad flygaskebetong över tid blir tätare än motsvarande betong med rent portlandcement.

En naturlig följdfråga blir då om flygaskan också kommer påverka betongens förmåga att släppa ifrån sig fukt och i förlängningen begränsa möjligheten för oss att påverka dess inre relativa fuktighet (RF).

Nedan redovisas i 5 punkter kunskapsläget om flygaska med avseende på betong med uttorkningskrav.

1. RF-mätningar i laboriemiljö

Vi redovisar här ett representativt urval från de provningar där närmare 400 provkroppar med cirka 1 000 mätpunkter har monterats och lästs av under perioden 2017–2019. Vi har för några scenarier genomfört samma provning vid två olika laborier, AK-konsult/Polygon respektive Lunds Tekniska Högskola (LTH).

De tre ingående produkterna i dessa figurer är:

- Portlandcement – CEM I, grovmald Velox s.k. "gammal OPC" från Slite.
- Byggcement – CEM II/A-LL, finmald Skövdecement med kalkstensfiller.
- Gamla Bascement - CEM II/A-V, finmald Slitecement med mindre än 20 procent flygaska.

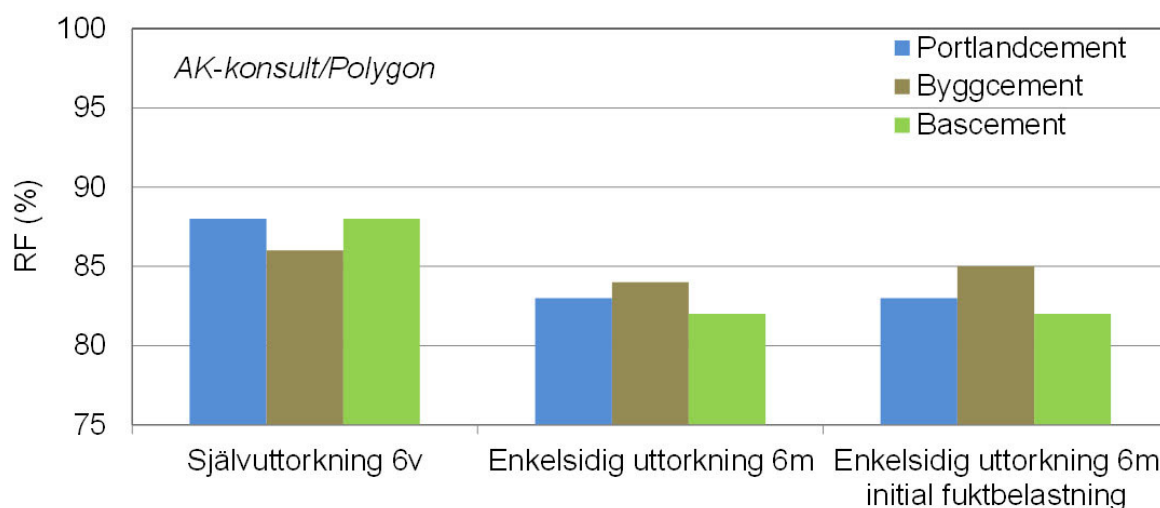
I Figur 1 och Figur 2 nedan visas tre exempel som diskuterats flitigt:

Självuttorkning. Den kemiska RF-sänkningen sker snabbt, och i takt med att fuktnivån sjunker avtar gradvis cementets förmåga att binda mer fukt. Förändringen i RF mellan 6–7 veckor och 6 månader har med nymonterade givare visat sig vara mindre än med

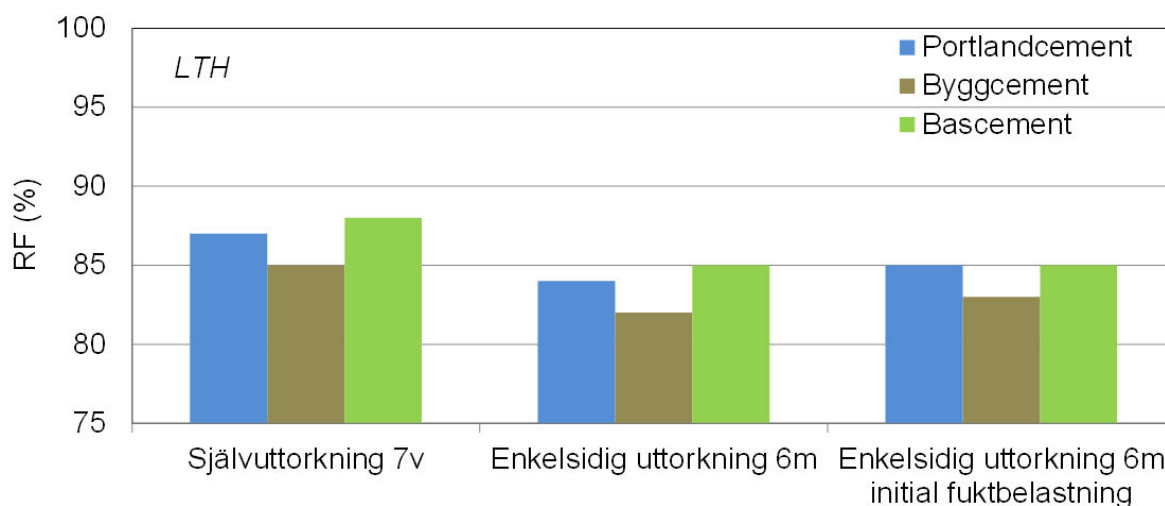
kvarsittande montage som tidigare erfarenheter byggt på. Provningen genomförs i plåtburkar med lock. Mätresultaten som redovisas är vid 6–7 veckors ålder.

Enkelsidig uttorkning. Efter att självuttorkningen avstannat behöver fukt lämna betongen för att nå ett lägre RF. Provningarna genomförs i plåtburkar utan lock där den omgivande luftens RF och temperatur ger drivkraften för RF-sänkningen. Mätresultaten som redovisas är vid sex månaders ålder.

Enkelsidig uttorkning med initial fuktbelastning. Provningsförfarandet skiljer sig från föregående endast i att ovanytan utsatts för cyklisk uppfuktning (tre perioder med fyra dygn under vatten och två veckors torktid däremellan). Mätresultaten som redovisas är vid sex månaders ålder.



Figur 1: Provning genomförd av AK-konsult/Polygon under 2017–2018. Betong med vct 0,36. Resultaten baseras på dubbel-/alternativt trippelprover där medelvärdet avrundats till hela procent RF. Provningen är genomförd vid 20°C. Mätvärdena ligger inom 2 % RF för samtliga serier.



Figur 2: Provning genomförd av LTH under 2018. Betong med vct 0,36. Resultaten baseras på trippelprover där medelvärdet avrundats till hela procent RF. Provningsen är genomförd vid 20°C. Mätvärdena ligger inom 2 % RF för samtliga serier.

Vår slutsats baserat på resultaten som redovisas i Figur 1 och 2 är att våra tre husbyggnads-cement är likvärdiga i nyproduktion med avseende på uttorkning.

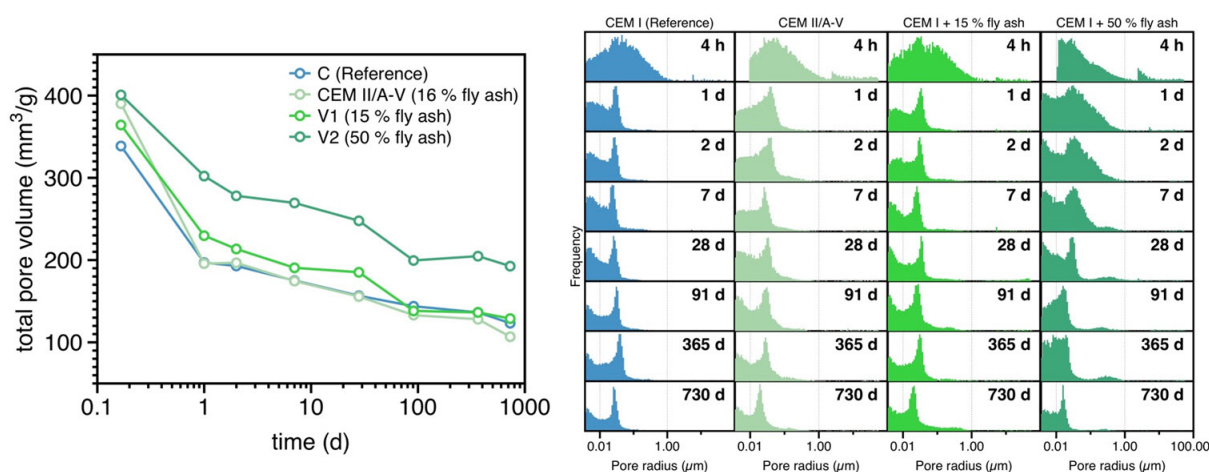
Detta konstaterades vid introduktionen av Byggcement respektive Bascement i de jämförande provningarna som då genomfördes, och det bekräftas nu. För en utförligare jämförelse mellan cementen hänvisas till (Selander & Westerholm, 2022) där de viktigaste resultaten från provningarna vid LTH presenteras.

2. Flygaskans inverkan på porstrukturen

Inblandning av flygaska har inverkan på porstrukturen, liksom cementklinkerns kemi och finhet. Mycket information kring detta finns i litteraturen.

Resultat från en undersökning vid CBI visar att porstrukturen i cementpasta med upp till 15 % flygaska redan efter 2–3 dygn är likvärdig den som uppstår i motsvarande cementpasta med enbart portlandcement. I figur 3 redovisas ålder och porstorleksfördelning för cementpasta med vattenbindemedelstal $vbt=0,45$.

Vid höga inblandningar av flygaska och oförändrade klinkeregenskaper fås däremot helt andra egenskaper vilket också avspeglas i porstrukturen, se figur 3.

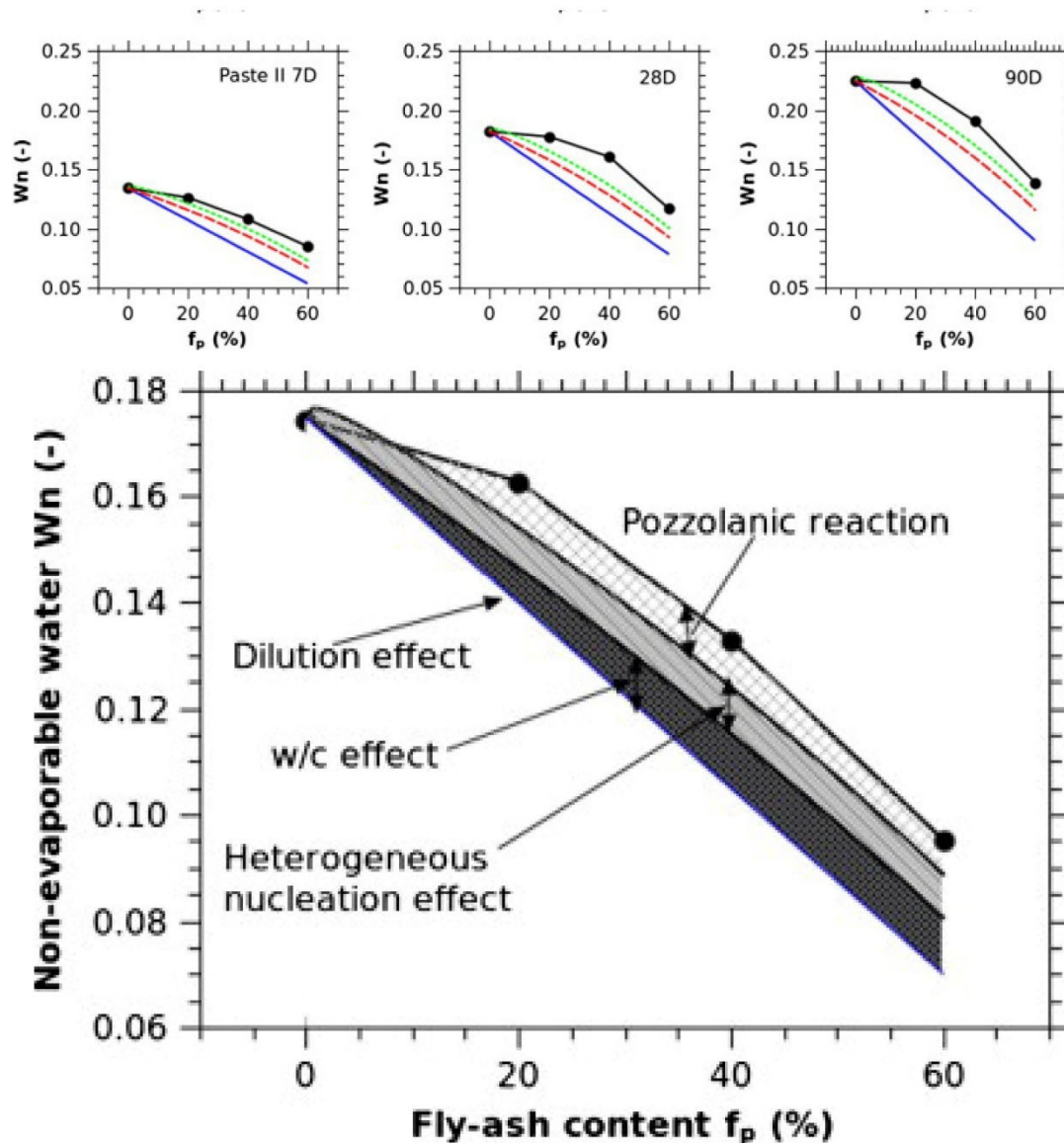


Figur 3. Porstorleksfördelning vid olika åldrar bestämd med kvicksilverporosimetri för olika inblandningar av flygaska. C är ett portlandcement (CEM I) från Norcem och CEM II/A-V är gamla Bascement. Resultat fram till 91 dygn är publicerade i Muller m.fl. (2015).

3. Flygaskans inverkan på kemisk bindning av vatten

Med de låga vattencementtal som ofta används när uttorkningskrav finns förlitar vi oss till största del på betongens självuttorkande förmåga. Mindre vatten binds kemiskt av flygaskan när den reagerar, men detta vägs upp av flera andra effekter vid lägre doseringar.

Signifikanta skillnader har endast påvisats vid stora inblandningar av puzzolana material som exempelvis flygaska. I figur 4 visas ett exempel på hur ökande andel flygaska påverkar cementets förmåga att binda vatten kemiskt.



Figur 4. Exempel på flygaskans inverkan på mängden kemiskt bundet vatten vid vattenbindemedelstalet, vbt = 0,30.; från Zeng m.fl. (2012). Flygaskan bidrar till en ökad

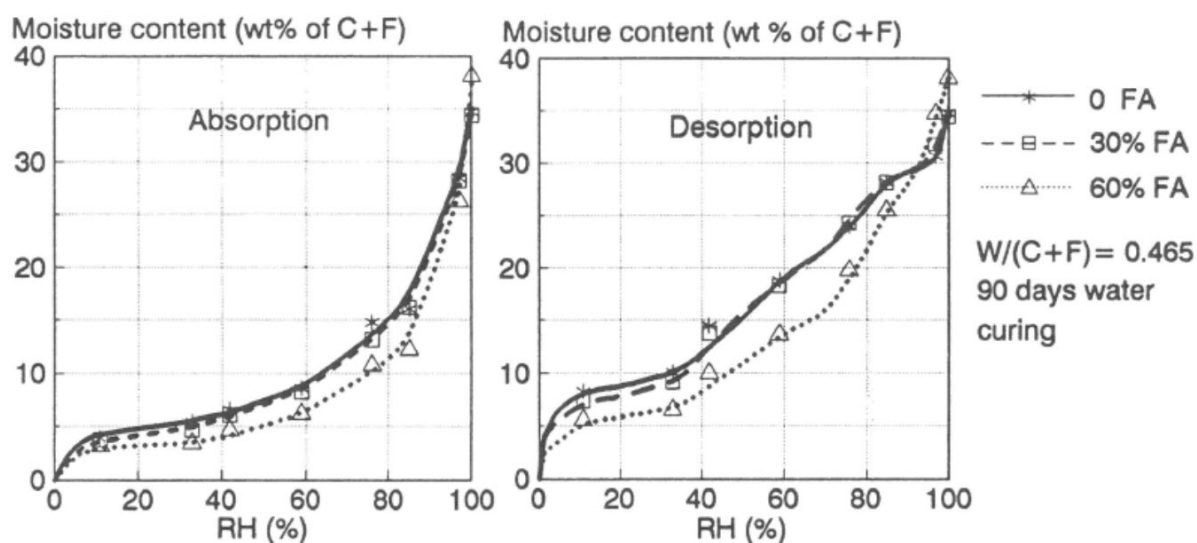
hydratationsgrad hos portlandcementen p.g.a. ökat vct (mer tillgängligt vatten för cementen) och en positiv nukleationseffekt. Resultat efter 7, 28 och 90 dygn samt 0, 20, 40 och 60 % inblandad flygaska.

4. Flygaskans inverkan på fysikalisk bindning av vatten

Fuktjämviktskurvor, även kallade sorptionsisotermer, talar om för oss hur mycket vatten som binds fysikaliskt i betongen vid olika relativa fuktigheter i den omgivande luften.

Fuktjämviktskurvor gäller vid en given temperatur, är svåra att bestämma och resultaten kan variera med bland annat mätmetod, ålder, ballast och vct. I litteraturen förekommer även beräknade kurvor, vilket komplicerar jämförelser. För att kunna dra några slutsatser är det därför helt nödvändigt med jämförande provningar utförda vid samma tillfälle och under samma förutsättningar.

Ett exempel där flygaskans inverkan har undersökts redovisas i Figur 5. Även när fuktjämviktskurvor studeras är det tydligt att flygaskans inverkan blir markant först vid högre halter. Detta överensstämmer även med de resultat som redovisats i föregående figurer.



Figur 5. Jämförelse av fuktjämviktskurvor för bruk med flygaska; från Xu (1992).

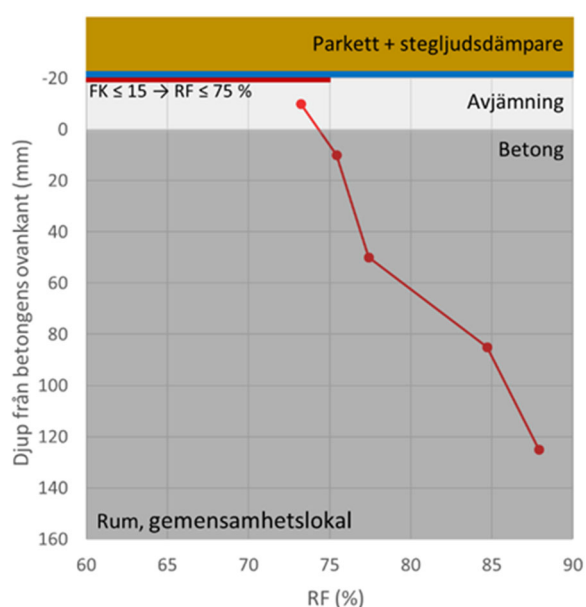
5. Långtidserfarenheter av flygaska i fält och labb

I Brf. Viva där ca 30 % flygaska använts i bjälklagen var det, precis som i många nyproducerade bostäder med uttorkningskrav, svårt att nå önskade gränsvärden innan golvläggning och det installerades därför mätstationer för att kunna följa utvecklingen. 2021 avslutades uppföljningen med en profilmätning som gav ett väldigt tydligt och lugnade besked. Trots farhågor kring hur högre inblandningar av flygaska skulle påverka betongens

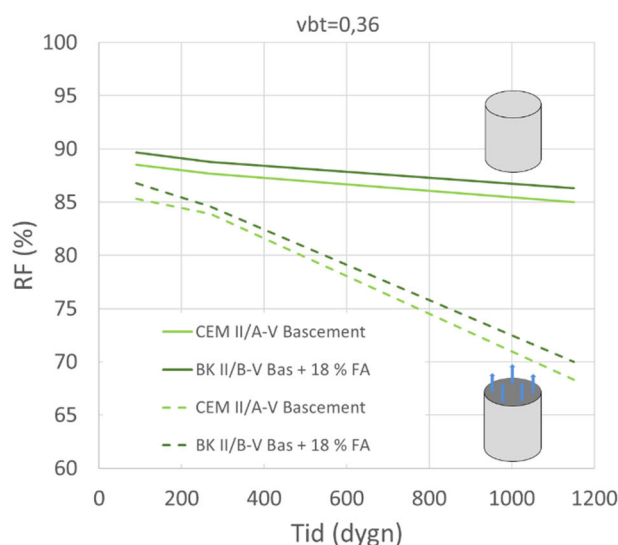
fuktrelaterade egenskaper hade RF sjunkit långt under det satta gränsvärdet på 90 % RF med en väl utvecklad profil vilket illustreras i figur 6.

Parallellt med fältmätningarna genomfördes även labbförsök där öppna respektive stängda hinkar följdes under tre år. Figur 7 visar ett sådant exempel med en jämförelse av gamla Bascement samt en bindemedelskombination med motsvarande mängd flygaska som i Brf. Vivas bjälklag.

För en utförligare beskrivning av fältstationen och labbförsöken hänvisas till (Selander m.fl, 2022)



Figur 6: Fuktprofilmätningar från brf Viva, 2 år efter golvläggning. Ovanifrån redovisas 1) Ytskiktet. 2) FK översatt till RF som ett intervall med säkerhetsmarginal. 3) GBR (utan påslag) – uttaget prov i avjämningsmassa. 4) Uttaget prov i betong på 0-20 mm djup. 5) Borrhålmätningar med HumiGuard enligt RBK (utan påslag) på tre olika djup.



Figur 7: Jämförelse av öppna och stängda hinkar med gamla Bascement resp. en bindemedelskombination med ca 30 % flygaska.

Sammanfattning

Ett stort antal RF-mätningar i hinkar med och utan lock har visat att skillnaden mellan olika husbyggnadscement är väldigt liten och ingenting tyder på att inblandningar av upp till 20 % flygaska har någon negativ effekt på hastigheten med vilken RF-sänks.

Vid högre inblandningar talar så väl dokumenterade materialegenskaper i litteraturen som mätningar i hinkar för att den kemiska delen av RF-sänkningen kan påverkas negativt. Detta gäller framför allt under det första året efter gjutning men i ett lite längre tidsperspektiv är skillnaden försumbar vilket är det viktigaste när fuktrisken i golvsystemet skall bedömas.

Förmågan att kemiskt och fysikaliskt binda vatten kan variera beroende på bindemedlets sammansättning. Signifikanta skillnader har endast påvisats vid stora inblandningar av puzzolana material som till exempel flygaska.

Porstorleksfördelningen i den färdiga betongen kan variera beroende på bindemedlets sammansättning. Signifikanta skillnader har endast påvisats vid stora inblandningar av puzzolana material som till exempel flygaska.

Labbmätningar och materialegenskaper är en sak men viktigast är trots allt utfallet i fält. Här har fältstationen i Viva bidragit till mycket ny kunskap om hur RF förändras över tid i golv med en hög andel flygaska. Det finns helt enkelt inget skäl att välja bort ett flygaskecement ur ett fuktriskperspektiv.

Har du frågor om detta dokument kan du kontakta Anders Selander, Tekn Dr, specialist betong:

- Telefon: 070- 930 76 63
- E-mail: anders.selander@cementa.se

Referenslista:

Selander A. & Westerholm M. (2022): *En fuktig röra som behöver redas ut*, Husbyggaren nr 2:2022, pp 25-28.

Mueller U., Lundgren M. & Malaga K. (2015): *Development of pore structure and hydrate phases of binder pastes blended with slag, fly ash and metakaolin. A comparison*. 14th International Congress on the Chemistry of Cement, Beijing, China.

Xu (1992): *Structure of Hardened Cement-Fly Ash Systems and Their Related Properties*. Avdelningen för byggnadsmaterial 92:7, Chalmers tekniska högskola.

Zeng Q., Li K., Fen-chong, T. & Dangla P. (2012): Determination of cement hydration and pozzolanic reaction extents for fly-ash cement pastes. *Construction and Building Materials* 27, pp 560–569.

Selander A., Bergström K., Elmlund D. & Johansson A. (2022): *BRF Viva ger oss nygamal kunskap om fukt i betong*, Husbyggaren nr 1:2022, pp 25-28.

Några viktiga händelser ur ett uttorkningsperspektiv

2012 introducerade CEMENTA Bascement CEM II/A-V som tack vare flygaska sänkte koldioxidavtrycket. Vid introduktionen gjordes jämförande uttorkningsprovningar i CEMENTAs eget laboratorium och vid Lunds Tekniska Högskola enligt då gällande kunskap kring mätteknik. Alla prover gav tillfredsställande resultat och ingen signifikant skillnad kunde noteras mellan Bascement och dess föregångare Byggcement.

2015 tas metoden uttaget prov bort av RBK. Innan hade mätning i borrarhål och mätning i provrör med krossad betong varit godkända metoder. Det hade dock noterats i både fält och labb att metoderna ofta gav olika resultat vilket medförde att provrörsmetoden som oftast visade lägst togs bort.

2017 uppdateras RBK:s manual (version 6) för hur en borrhålsmätning i fält ska genomföras. En av flera viktiga förändringar som införs för att öka noggrannheten är att varje ny mätpunkt också innebär ett nytt borrhål.

2018 får förändringarna av mätmetoden fullt genomslag i byggprojekten. Torktiderna upplevs som längre och tidigare provningar utförda med gamla mätmetoder ifrågasätts. Tyvärr resulterar det i att rykten och direkta felaktigheter kring mineraliska tillsatsmaterial generellt och flygaska i synnerhet börjar cirkulera. Cementas nya jämförande provningar på LTH och Polygon visar precis som vid introduktionen av Bascement att produkterna har likvärdiga uttorkningsegenskaper.

2021 utvärderar vi bjälklagen (där 30 % flygaska använts) i Brf Viva. Två år efter golvläggning ligger RF i ytan långt under satt gränsvärde med en väl utvecklad profil. Av allt att döma har flygaskan inte haft någon påtaglig negativ inverkan på RF-sänkningen i bjälklagen.