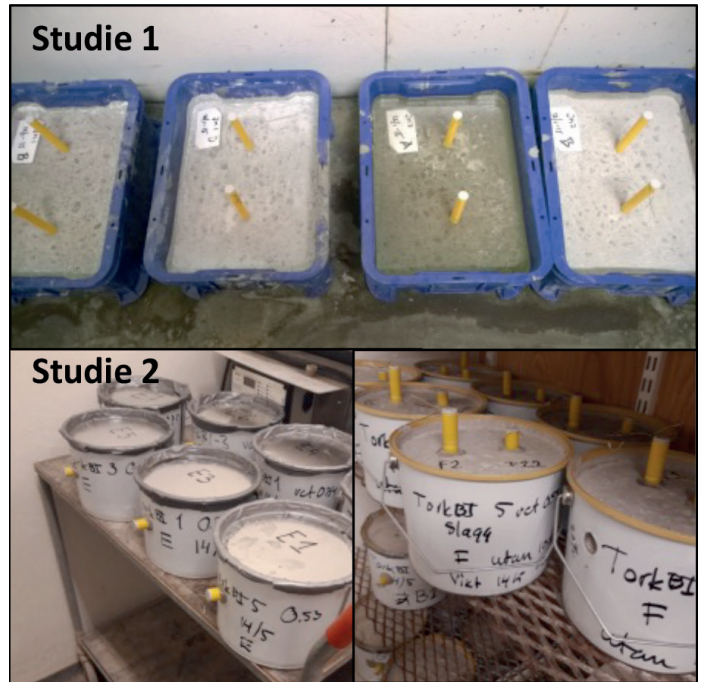


# Uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong

Betongbranschen har de senaste åren aktivt försökt att driva på omställningen mot produkter med lägre klimatpåverkan. Detta återspeglas bland annat i den färdplan för klimatneutral betong som Svensk Betong har lanserat där det långsiktiga målet är att all betong som används i Sverige skall vara klimatneutral 2045. På liknande sätt har även Bygg- och anläggningssektorn tagit fram en färdplan mot klimatneutralt byggande. För att lyckas med de mycket ambitiösa målen finns det naturligtvis en mängd frågor som måste lösas och helt säkert kommer det att krävas betydande förändringar i vårt sätt att bygga med betong. Ökad tillämpning av klimatförbättrad betong är en av de faktorer som är avgörande för möjligheten att röra sig i riktning mot målet. En nyckelfråga för att detta skall ske i större omfattning inom husbyggnation är att uttorkningsegenskaperna är goda. För att utreda denna fråga har några undersökningar genomförts i syfte att studera hur uttorkningen hos klimatförbättrad betong står sig i jämförelse med "vanlig" betong.



## Klimatförbättrad betong – vad är det?

Dagens miljödebatt är i mångt och mycket kopplad till utsläpp av växthusgaser (vanligtvis uttryckt som CO<sub>2</sub>-ekv), vilket har resulterat i ökande krav på användning av material med lägre CO<sub>2</sub>-avtryck. I linje med de ökande kraven har betongbranschen satt upp målsättningar för att minska betongens klimatpåverkan, se till exempel [1] där en del av de åtgärder som redan har vidtagits beskrivs liksom hur ambitionerna ser ut framöver. Här konstateras bland annat att det i viss mån går att minska klimatpåverkan genom optimerade materialval, effektivare produktionsprocesser och klimatsmarta transporter. Känt är att cementet idag står för mer än 90 procent av betongens klimatpåverkan och möjligheten att utveckla betongprodukter med förbättrad klimatprofil kopplas därmed till olika sätt att reducera cementinnehållet.

Det enklaste och kanske mest klimatsmarta sättet att optimera betong är att helt enkelt använda betong av lägre kvalitet (lägre hållfasthetsklass) eftersom cementhalten därigenom per automatik reduceras. En sådan väg är sannolikt fullt möjlig i många applikationer med tanke på att överkvalitet ofta specificeras eller väljs i utförandeskedet av olika orsaker, men det är tyvärr inte lämpligt överallt eftersom det resulterar i att en del av betongens egenskaper förändras till det sämre.

Ett annat realistiskt alternativ som står till buds är att ersätta en del av cementet med ett alternativt bindemedel som har lägre CO<sub>2</sub>-påverkan utan att betongens prestanda påverkas. De tillsatsmaterial som idag kan anses relevanta för detta ändamål är flygaska, som är ett restmaterial från stenkolsförbränning, och mald granulerad masugnsslagg från stålindustrin. Båda materialen har i viss utsträckning cementlika egenskaper, vilket medför att en sådan ersättning inte nödvändigtvis får några större negativa effekter på betongens egenskaper. När man idag talar om klimatförbättrad betong är det betong med tillsats av flygaska eller slagg som ofta avses.

## Uttorkningens betydelse för att uppnå klimatmål

En av de egenskaper som påverkas negativt vid användning av lägre betongkvalitet är betongens uttorkningsegenskaper, som allt som oftast har avgörande betydelse inom husbyggnation. Begränsad uttorkningstid är nästan alltid ett krav och blir därmed styrande för val av betong och byggmetod under ett projekts stomdrift, som ofta löper över flera årstider där väderleken har stor inverkan på uttorkningstiden.

I en betongstomme står bjälklagen vanligtvis för den klart största andelen av betongvolymen. För att uppnå en signifikant klimatreduktion krävs sålunda att CO<sub>2</sub>-påverkan hos de betongprodukter som används i just bjälklagen kan reduceras. Genom att uttorkningskrav ofta är styrande kommer en minskad klimatpåverkan hos betongstommar kräva att uttorkningsegenskaperna hos vald klimatförbättrad betong är likvärdiga i jämförelse med motsvarande konventionella betongsorter. Forskning pågår på flera håll avseende tillväxt av uttorkningsegenskaper under hydratationen hos betong med alternativa bindemedel,



Jonas Carlswärd  
Betongindustri AB

**Tabell 1:** Betong i studie 1 med Basement CEM II/A-V (flygaskcement).

Vbt	Andel slagg av total bindemedelsmängd			
0,53	0 %	9 %	19 %	33 %
0,43	0 %	9 %	19 %	33 %
0,34	0 %	9 %	19 %	33 %

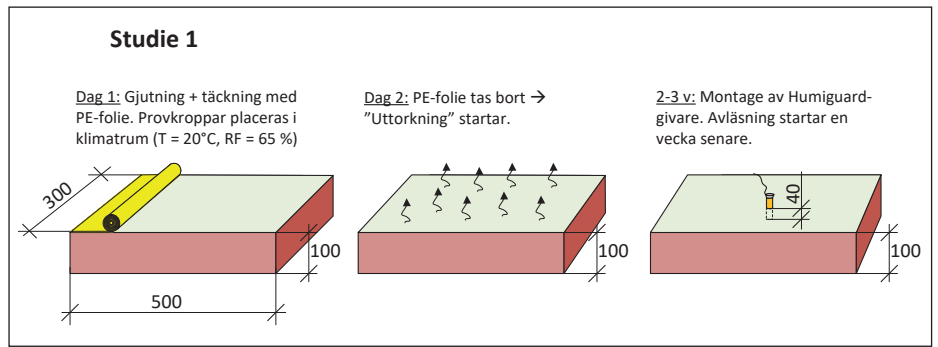
se till exempel nyligen rapporterade resultat i [2].

### Undersökningar för att studera uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong

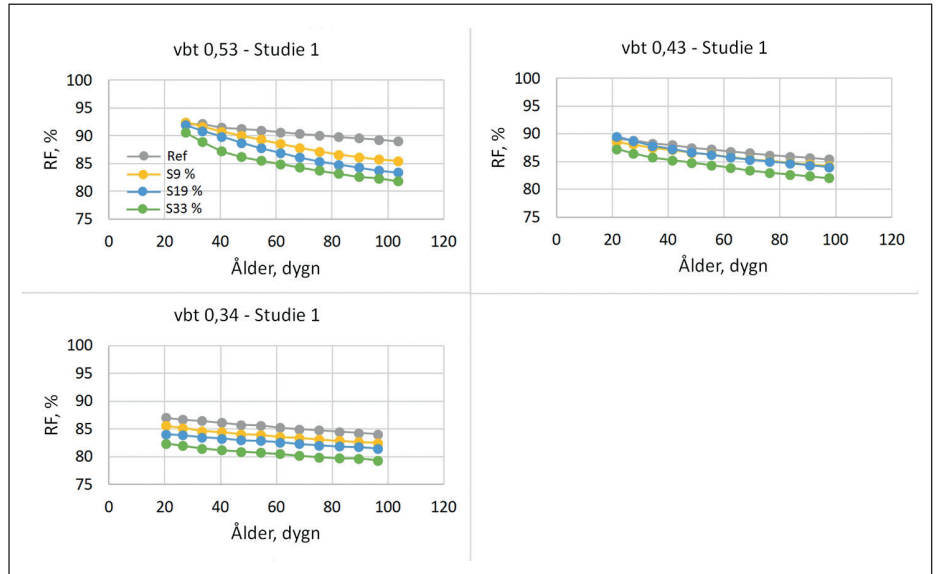
För att utreda uttorkningspotentialen hos en viss typ av klimatförbättrad betong har två studier genomförts vid Betongindustris laboratorier i Stockholm och Linköping. I de aktuella undersökningarna tillverkades betong med vattenbindemedelstal, *vbt*, på 0,34, 0,43 respektive 0,53. Maximal stenstorlek,  $D_{max}$ , var 16 mm och konsistensklass S4 för samtliga blandningar. Cement och tillsatsmaterial som användes var Basement från Slite respektive granulerad masugnsslagg från Swecem. Vid den första undersökningen (studie 1) användes Basement av typen CEM II/A-V (flygaskcement) medan den andra studien (studie 2) utfördes med Basement typ CEM II/A-LL (kalkstensfillercement). Den sistnämnda varianten har börjat introduceras på marknaden under 2020 och kommer under resterande del av året och en bit in på nästa år att ersätta det tidigare Basementet. I de klimatförbättrade betongvarianterna som ingick i undersökningarna ersattes cement rakt av med slagg, dvs ersättning ett på ett utan att beakta eventuella skillnader i effektivitet när det gäller teknisk prestanda ( $k$ -faktor = 1).

#### Försöksstudie 1

De betongsorter som utvärderades i studie 1 redovisas i *tabell 1*. Här jämfördes betong med enbart Basement (Ref) med motsvarande betong där cement ersattes med slagg i tre olika doseringar, 9, 19 respektive 33 procent. Försöksproceduren, illustrerad i *figur 1*, utfördes genom att betong direkt efter blandning fylldes och kompakterades i plastlådor till en tjocklek av 100 mm. Provkropparna täcktes med plastfolie för att motverka tidig fuktavgång och placerades därefter omgående i klimatrums med temperatur  $T = 20^\circ\text{C}$  och relativ fuktighet  $RH = 65$  procent. Plastfolien avlägsnades redan något dygn senare för att möjliggöra fuktutbyte med omgivningen. Cirka 2-3 veckor efter gjutning monterades rör och givare av typen Humiguard i samtliga provkroppar på djupet 40 mm, motsvarande ekvivalent



**Figur 1:** Principiellt utförande uttorkningsförsök, studie 1.



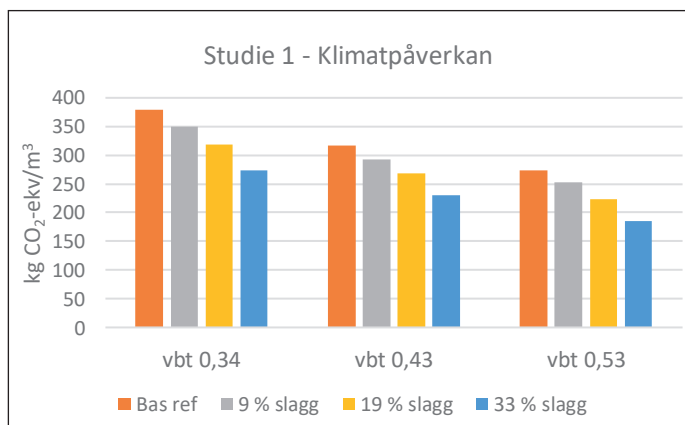
**Figur 2:** Uppmätt uttorkning utan förseglning i betong med *vbt* 0,53, 0,43 och 0,34. Referensbetong med Basement (CEM II/A-V) och betong där viss del av cementet har ersatts med slagg.

mättdjup. Den första avläsningen gjordes någon vecka senare och därefter vid ett antal tillfällen fram till en ålder av cirka 3 månader. Det bör påpekas att mätproceduren avvek från RBK-metoden [3] i så måtto att avläsning gjordes även efter de 10 dygn från montage som föreskrivs i manualen. Resultaten skall därmed i första hand ses som indikativa.

En sammanställning av mätresultat redovisas i *figur 2*. Observera att värdena inkluderar temperaturkorrektur men att mätosäkerhet inte är inkluderad. Noterbart är att slagg överlag hade en gynnsam inverkan på uttorkningen. För

samtliga betongtyper resulterade en ökad andel slagg i betongen i att uttorkningen förbättrades. Effekten är betydande - för betong med 33 procent slagg var förbättringen i slutet av den cirka 3 månader långa mätperioden cirka 4-7 procent beroende på *vbt*. Detta ger *mycket stora* förkortningar av uttorkningstider till gällande RF-målvärde.

Det framgår i diagrammen att en ansevärd uttorkning har skett redan innan fuktgivarna monterades, vilket förklaras av den pågående självuttorkningen som är förväntat större vid lägre *vbt*. Observera även att uttorkningen för betong med *vbt*



**Figur 3:** Beräknad klimatpåverkan ( $\text{CO}_2$ -ekv/ $\text{m}^3$ ) för undersökt betong i studie 1.

**Tabell 2:** Betong i studie 2 med Basement CEM II/A-LL (kalkstensfillercement).

Vbt	Andel slagg av total bindemedelsmängd	
0,53	0 %	25 %
0,43	0 %	25 %
0,34	0 %	25 %

0,53, där viss del av cementet har ersatts med slagg, har likvärdig eller snabbare uttorkning än referensbetong utan slagg med *vbt* 0,34. Även om resultaten kanske skall tolkas med viss försiktighet så ger det en indikation om att CO<sub>2</sub>-utsläppet skulle kunna minskas med upp till cirka 50 procent med bibehållen uttorkningsprestanda. CO<sub>2</sub>-belastning för referensbetong med *vbt* 0,34 uppgår i den aktuella studien till cirka 375 kg/m<sup>3</sup> medan motsvarande värde för *vbt* 0,53 med 33 procent slagg är cirka 185 kg/m<sup>3</sup>, se figur 3.

### Försöksstudie 2

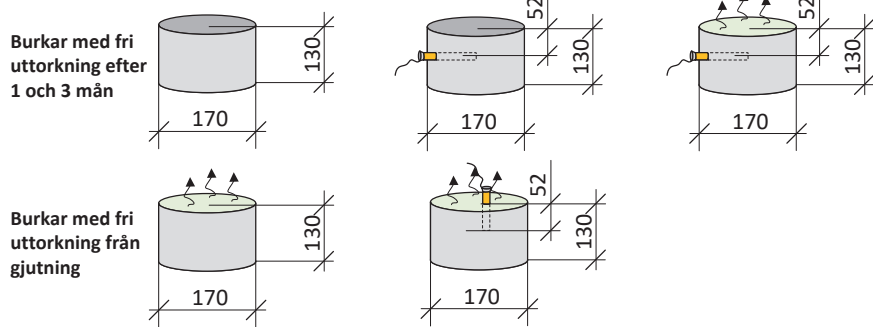
I den andra undersökningen fylldes plåtburkar (3 l) med betong. Samma variationer av *vbt* ingick även i denna studie (0,53, 0,43 och 0,34) men i detta fall undersöktes endast en slagghalt (25 procent), se tabell 2. En annan skillnad mellan undersökningarna var att tidpunkten vid vilken provkropparna tilläts ha ett fritt utbyte med omgivningen

### Studie 2

**Dag 1:** Gjutning + försegling med tätslutande lock. En del burkar lämnades utan lock.

**2 v:** Montage av givare på 40 % av höjden.

**1 alt 3 mån:** Lock tas bort → diffusionsuttorkning.



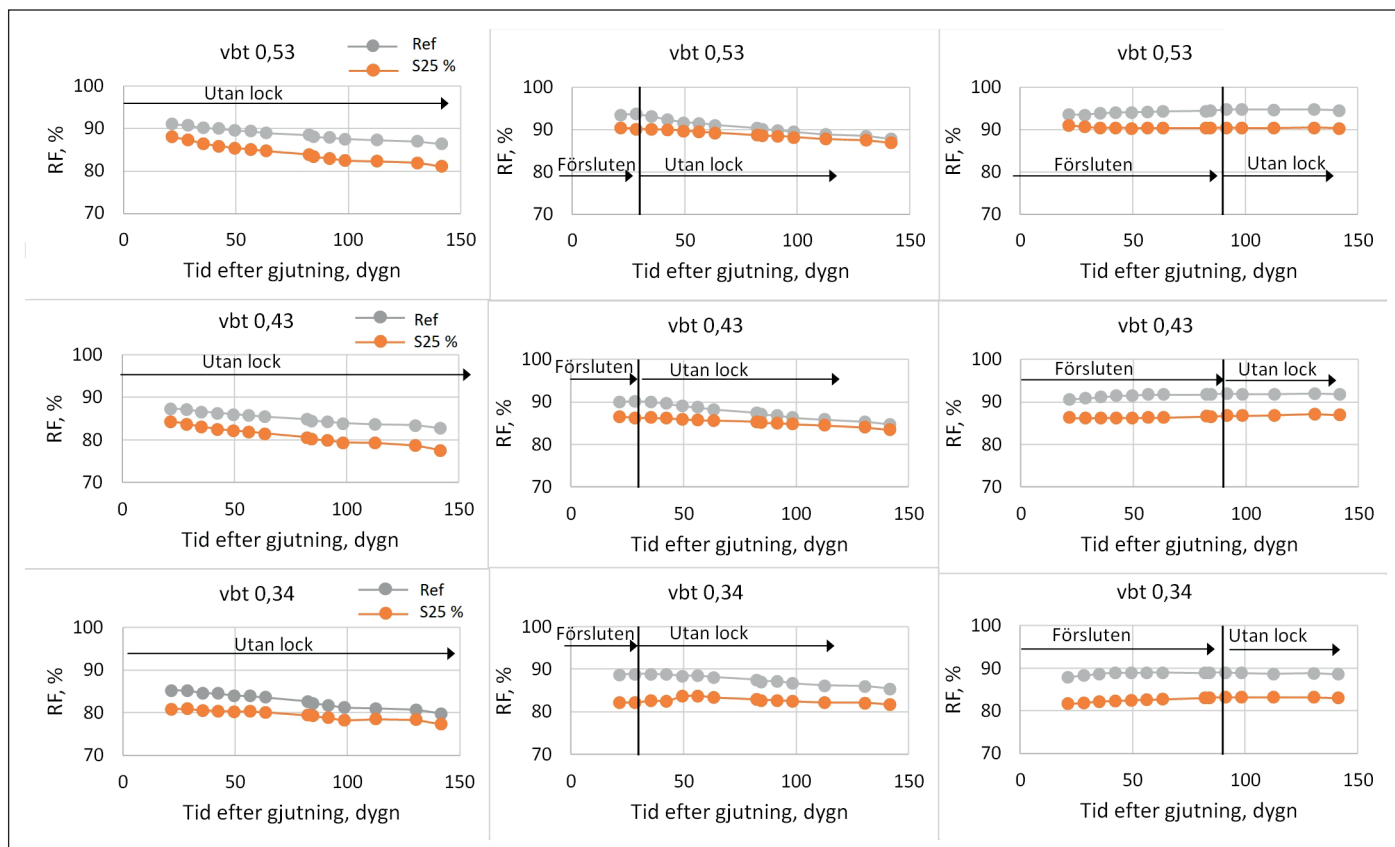
Figur 4: Principiell utformning uttorkningsförsök i studie 2.

varierades. En del burkar lämnades utan lock direkt efter gjutning medan övriga burkar försågs med tätslutande lock som avlägsnades vid cirka 1 respektive 3 månaders ålder. Samtliga burkar förvarades i klimatrums med RH 65 procent och temperatur 20 °C. Två veckor efter gjutning monterades givare av typen Humiguard på ett djup av cirka 52 mm från överytan (motsvarande 40 procent av höjden), se figur 4 som visar dimensioner och principiellt utförande av försöken.

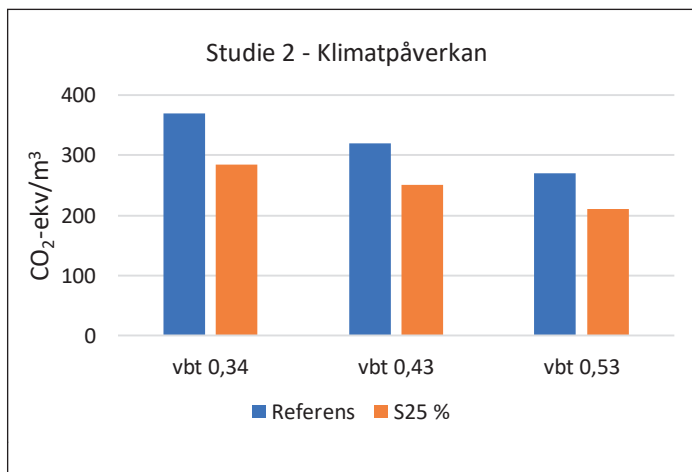
Uppmätta uttorkningsförlopp redovisas

i figur 5. Diagrammen representerar burkar som var utan lock från dag 1 samt burkar där locken togs av efter 1 respektive 3 månader. RF-utvecklingen på ekvivalent mätdjup med temperaturkorrigering men utan mätosäkerhet redogörs på samma sätt som i studie 1.

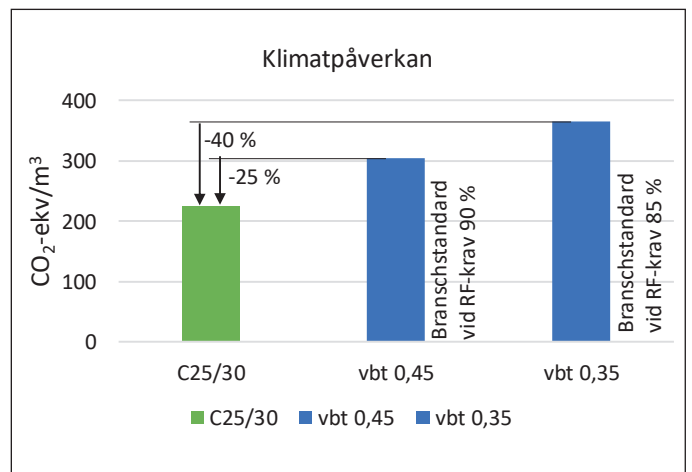
När det gäller slagginblandningens inverkan på uttorkningen så kan man konstatera att effekten även i denna undersökning var tydligt gynnsam oavsett typ av betong (*vbt*). De klimatförbättrade varianterna verkar med andra ord ha bättre



Figur 5: Uttorkningsförlopp för studerade betongsorter. Burkar utan lock från dag 1 i diagrammet till vänster, med lock i 1 månad i mitten och med lock i tre månader till höger.



Figur 6: Beräknad klimatpåverkan (CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup>) för betong i studie 2.



Figur 7: Klimatpåverkan uttryckt som CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup> för betongkvaliteter som är vanliga idag i bjälklag med krav på uttorkning samt motsvarande värde för C25/30 som skulle kunna tillämpas om endast krav på hållfasthet och beständighet skulle gälla.

uttorkningsegenskaper än motsvarande konventionella betongsorter. Vid en mer ingående studie av uttorkningsförloppet framgår det att skillnaden i de flesta fall uppstår redan i ett tidigt skede på samma sätt som i studie 1. Detta tyder på att det framför allt är självuttorkningen som påverkas positivt då cement ersätts med slagg.

Tidpunkten för när betongen tillåts ha utbyte med omgivningen har stor betydelse för uttorkningen. De burkar som hade locket på i cirka 3 månader har en väldigt långsam uttorkning efter att locket väl avlägsnats. Under de cirka 50 dygn som de har exponerats mot omgivningen har det i stort sett inte skett någon uttorkning alls. Detta gäller både för referensbetong och för betong med slagg, vilket sannolikt hänger ihop med att betong blir tätare med stigande ålder i takt med ökad hydratationsgrad.

Av den anledningen är det fördelaktigt att säkerställa goda uttorkningsförhållanden redan i ett tidigt skede – en tes som stöds av att de burkar som har haft fritt utbyte mot omgivningen från gjutning (diagrammen till vänster i figur 5) har de klart hastigaste uttorkningsförloppen.

Resultaten för de provkroppar som har varit förseglade under 1 månad visar att referensbetong torkar något snabbare än motsvarande klimatförbättrade variant. Detta skulle möjligen kunna indikera att betong med slagg relativt snabbt bygger upp en tätare struktur, vilket kan förklara en något sämre diffusionsuttorkning.

På samma sätt som i studie 1 går det att göra beräkningar av CO<sub>2</sub>-avtryck för referensbetong, vbt 0,34, och slagginblandad betong med vbt 0,53 med liknande uttorkningsprestanda. Den klimatförbättrade betongen ger här en CO<sub>2</sub>-reduktion från cirka 370 kg/m<sup>3</sup> till cirka

210 kg/m<sup>3</sup>, det vill säga en reduktion med i storleksordningen 43 procent, se figur 6.

### Är klimatförbättrad betong en uthållig lösning?

Resultaten från undersökningarna här och även i andra studier, se till exempel [4], visar att uttorkningsegenskaperna hos åtminstone vissa typer av klimatförbättrad betong sannolikt är bättre än hos motsvarande konventionella betong. Detta är naturligtvis väldigt glädjande eftersom det innebär att klimatförbättrad betong bör kunna tillämpas utan risk för förlängda byggtider till följd av långsam uttorkning.

Inom husbyggnadssektorn går det med andra ord att utan större förändringar av dagens byggmetoder reducera klimatpåverkan genom att i högre utsträckning än idag välja klimatförbättrad betong. Frågan är dock hur uthållig en sådan lösning kan tänkas vara? Redan nu är det svårt att få tag på flygaska på många håll i Europa till följd av att kolkraftverk stängs ner och det är inte orimligt att utgå från att även slagg kan komma att bli en bristvara framöver i takt med ökad efterfrågan.

Att klara att nå de klimatmål som har satts upp kommer med andra ord knappast att lösas enbart genom att byta ut en viss typ av betong som används idag mot en klimatförbättrad variant. En uthållig klimatreduktion kommer även kräva utveckling av nya konstruktionslösningar samt att i högre grad än idag använda rätt betong på rätt plats [5].

När det gäller den sistnämnda åtgärden är det värt att lyfta fram att det i husstommar (bjälklag) är uttorkningskrav som har drivit på utvecklingen mot alltmer högvärdiga betongsorter. Idag är det mer eller mindre standard att använda

betong med vattenbindemedelstal (vbt) på cirka 0,45 respektive 0,35 beroende på RF-kravnivå (90 eller 85 procent), se [5]. Detta motsvarar hållfasthetsklass C40/50 respektive C54/65, med ansevärliga mängder cement eftersom självuttorkningsmekanismen nyttjas för sänkning av RF. Hållfasthetskravet för de flesta bjälklag är rimligtvis väsentligt lägre och det finns inte heller några beständighetskrav som skulle kunna motivera användning av så pass högvärdig betong.

### Klimatförbättring kräver nya sätt att tänka

Frågan är om det verkligen kan vara hållbart att även i framtiden låta uttorkningskrav styra valet av betong. Förutom att det är negativt ur klimatpåverkansperspektiv är det även kostnadsdrivande genom att betong med lågt vbt och hög hållfasthet är dyrare i sig. Dessutom ökar armeringsbehovet med ökande hållfasthet, vilket också är negativt ur ett klimatperspektiv och kostnadshänseende.

I teorin är lösningen enkel. Det handlar bara om att ta fram alternativa golvlösningar som inte är fukt känsliga i samma utsträckning som de som används idag. Till synes enkla lösningar har potential att ge väsentliga klimatreduktioner helt utan att några särskilda åtgärder vidtas i övrigt för att klimatförbättra själva betongen. Detta exemplifieras i figur 7 där klimatpåverkan (CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup>) för betongkvaliteter som är vanliga vid uttorkningskrav på 85 respektive 90 procent (se [5]) jämförs med betong typ C25/30 som i många fall skulle vara tillräckligt ur både beständighets- och hållfasthetsperspektiv i en husstomme. Om uttorkningskraven kan elimineras skulle det vara möjligt att nå en

klimatreduktion på i storleksordningen 25 - 40 procent bara genom att byta till en lägre betongkvalitet.

Med tanke på hur kravställningen i bostadsbyggandet har sett ut fram till idag kan ovan beskrivna förändring möjligen kännas avlägsen. Faktum är dock att det finns en del som talar för att utvecklingen faktiskt är på väg i denna positiva riktning. Under de senaste åren har nämligen ett flertal nya golvlösningar lanserats som förbättrar möjligheten att optimera betong på ett mer klimatsmart sätt. Som exempel kan nämnas att det idag finns tätskiktsprodukter för våtutrymmen som kan läggas vid RF upp till 90 procent i underlaget. Detta innebär en väsentlig skillnad mot 85 procent, som är ett vanligt krav. Löslagda plastgolv som kan läggas på betong med RF på så högt som 97 procent är en annan mycket intressant produkttyp som har lanserats på marknaden. Med andra ord kan man konstatera att det faktiskt redan nu finns en del lösningar som kan underlätta omställningen mot ett mer klimatsmart betongbyggande.

#### **Slutsatser och rekommendationer**

Presenterade försöksresultat visar att uttorkningsegenskaperna hos klimatför-

bättrad betong som innehåller slagg har minst lika bra eller till och med bättre uttorkningsegenskaper jämfört med "vanlig" betong. Intressant är att förbättringen faktiskt verkar bli större med ökande andel slagg i betongen, åtminstone upp till 33 procent. Detta betyder att just uttorkningsfrågan sannolikt inte kommer att vara begränsande för möjligheten att tillämpa klimatförbättrad betong i husbyggnation. Resultatet är helt klart positivt eftersom det innebär att det redan idag på ett enkelt sätt går att uppnå en hygglig klimatreduktion utan att riskera förskjutningar i tidplanen på grund av längre uttorkningstider.

Det som kan utgöra en begränsning, åtminstone på sikt, är tillgången på alternativa bindemedel. För att nå en uthållig klimatförbättring är det därför viktigt att även fokusera på andra lösningar. En sådan lösning som utan tvekan har mycket stor klimatpotential är att i mycket högre grad än idag sträva mot att använda "rätt betong på rätt plats".

En intressant strävan är att försöka minska behovet av betong med snabb uttorkning genom att istället lägga fokus på att hitta totallösningar som helt

enkel inte kräver sådan betong. Detta är definitivt en av de frågor som är helt avgörande för om det skall vara möjligt att komma i närheten av de klimatomål som branschen har satt upp. ■

#### **Referenser**

- [1] Svensk Betong 2017, *Betong och klimat*.
- [2] Linderoth O, *Hydration, pore structure, and related moisture properties of fly ash and blended cement-based materials-experimental methods and laboratory measurements*, Building Materials, Dep of Building and Environmental Technology, Lund University, PhD thesis, 200 pp.
- [3] RBK, Manual – *Fuktmätning i betong, version 6:1*, 2019
- [4] Tannfors, J., och Pettersson, F., *Uttorkningsoptimering av betong*, Bygg & teknik nr 7/19.
- [5] Svensk Betong 2019. *Klimatförbättrad betong*, [www.svenskbetong.se/images/pdf/klimatforbattrad\\_betong\\_webb3.pdf](http://www.svenskbetong.se/images/pdf/klimatforbattrad_betong_webb3.pdf)