

Uttorkningsoptimering av betong

Den stora debatten inom fuktområdet har under senaste tiden i korthet varit; Inverkan av mineraliska tillsatser för uttorkning, Metodik vid fuktmätning av betong, Vattencementtalets inverkan på uttorkning, Ångtäthet på betong och Ångtätheten på det ytskikt som betongen skall beläggas med.

Vi jobbar till stor del med att förebygga fuktrelaterade skador i byggprocessen. Inom betongkonstruktion innefattar det ofta allt från val av betong till rondering på arbetsplats såsom beredning inför gjutning, skydd från stående vatten, tillfuktmätning och efterföljande utvärdering av fuktmätningresultatet. Det sistnämnda har blivit allt mer komplicerat då uppmätta fuktvärden ofta inte underskrider kravställningen när det är dags att lägga matta, trots att uttorkningsprognosprogram såsom BiDry/TorkaS har förutsatt godkända värden. Detta beror till stor del på att den mätmetodik som används vid fuktmätning historiskt sett har haft ett inbyggt fel i form av läckage. Läckaget medför att tätare betong, som till exempel betong med lågt vct, får ett felaktigt lågt värde (AK|Polygon, P. Brander, Läckande borrhål). Rådet för byggkompetens (RBK) har på senare tid justerat metodiken för tätningar av borrhål vilket har lett till att vi generellt avläser högre relativ fuktighet för en och samma betong i jämförelse med före till exempel 2017. Kravnivån från tillverkare av ytskikt och limmer som togs fram med läckande mätmetodik har dock inte förändrats. Man kan säga att man jämför äpplen med päron.

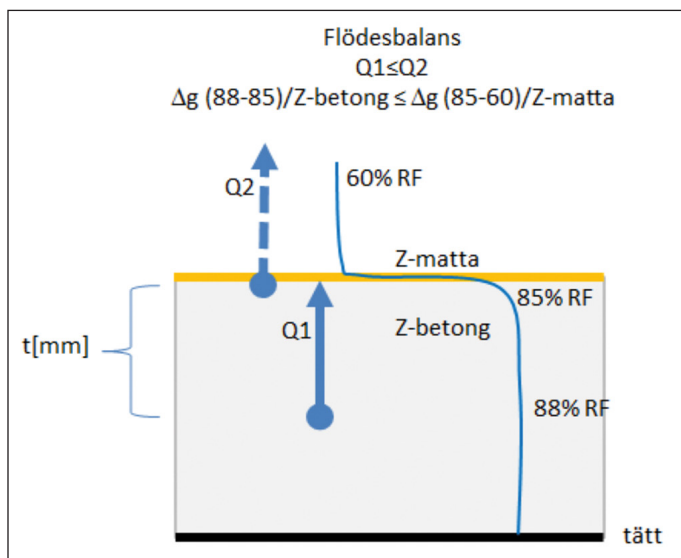
I korthet beror risken för fuktrelaterade skador på ytskikt och lim på relationen mellan betongens fukttinnehåll och ångtäthet i relation till ytskiktets ångtäthet,



Johan Tannfors
AKI|Polygon Uppsala

Fredric Pettersson
Swerock AB

Figur 1: Princip för flödesbalans i betongkonstruktion med limmat ytskikt (Flöde $Q1 < Q2$ = gynnsamt för mattläggning).



se [1] och [2].

Man kan således minimera skaderisken genom att välja:

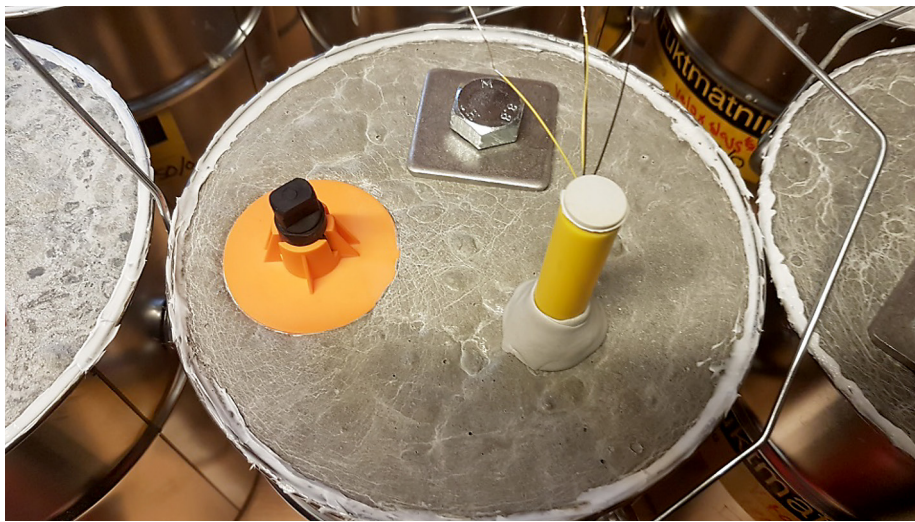
- Betong med hög ångtäthet i relation med ytskiktet (observera att byggfukt måste hanteras)
- Skapa en betong med högre grad av självuttorkning
- Skapa en betong med låg ångtäthet som lättare kan släppa fukt och torka till inomhusmiljön (diffusionstorkning)

Vilken betong, avjämningsmassa och ytskikt ska man välja? Flera SBUF-projekt är startade som ska utvärdera detta, men det tar tid. Byggbranschen vill ha svar nu!!! Då branschen fortsatt fokusera på ett fast fuktkrav (ofta <85 % RF) för alla limmade ytskikt på ett fastställt mätdjup, inledde Swerock och AKI|Polygon ett forskningsprojekt under hösten 2018. Utgångspunkt i projektet blev att genom olika vct, tillsatser av luft och slag kunna optimera uttorkningen (Dvs försöka optimera betongtorkningen så att lågt avläst RF erhålls). Parallellt har betongens avdunstningshastighet kontrollerats för att dels utvärdera om den ”nya” betongens nästintill mytomspunna ångtäthet verkligen kan stämma, samt hur snabbt betongen i så fall erhåller denna täthet. En annan frågeställning

har varit vilken inverkan tillsatser har på betongens förmåga att släppa ifrån sig fukt. Utgångspunkten i projektet är att se skillnader i uttorkning och trender, inte absolutvärden. Det låga antalet mätkroppar/blandning i mätprojektet gör att resultatet inte är statistiskt fastlagt. I artikeln presenteras endast delresultat, då projektet ej är avslutat. Projektavslut och fortsatt mätning inklusive rapport förväntas vara färdigställt till årsskiftet 2019/2020.

Metod

För att kontrollera uttorkning har fuktmätning av relativ fuktighet utförts enligt RBK-metoden (med undantaget att nominellt mätdjup är satt till 95 mm istället för 89 mm, för att vara på säkra sidan) av RBK-certifierad tekniker. Fuktmätning är utförd med 2 olika system. Enligt RBK med HumiGuard (HG) i borrar och fodrat mätrör, samt med Vaisala HMP110 monterat i Vaisala ingjutningsrör som av någon anledning inte är RBK-godkänd. Motiven till givar- och rörvalet var att borrar hål och HG-givare frekvent används av Polygons samtliga tekniker i Sverige och tanken är att följa upp aktuell studie med mätning i fält. HG har en erkänt lägre fuktkapacitet än Vaisala, det vill säga HG ger större RF-förändring vid samma fukttillförsel/



Figur 2: Betongburk med från vänster Vaisala ingjuten rör. Ingjuten bult, Inborrat HumiGuard-mättrör.

uttorkning. HG är en smidig givare vid kvarsittande montage.

Vägning har skett med våg som har 0,1 grams känslighet. Vägningens intervall har varierat beroende på tidpunkt efter gjutning (initialt tätare mätning). Burk-typen är densamma till vägning som till fuktmätning med likvärdig silikontätning mellan betong och plåt enligt figur 2.

Nio stycken betongrecept kontrollerades. Velox (även kallad Floridacement), portlandscement, med variationer av vbt (vattenbindemedeltal) och tillsatser enligt tabell 1.

För att kunna mäta enligt RBK (betongtemperatur 15-25 °C) men ändå kunna

se vilken inverkan torkstartsdatum har på uttorkningen har all betong gjutits i burk samtidigt. Varje batch av betong har då gjutits i 10 burkar (fem stycken öppna / fem stycken stängda). Burkarna har sedan förvarats utomhus i container (ej utsatta för regn) och en av varje betongsort har tagits in för mätning efter schemat:

- 3 dygn
- 30 Dygn
- 60 Dygn
- 120 Dygn

Betonghinkens fortsatta uttorkning har kontrollerats efter det att hinken har tagits in i inomhusklimat. Detta har gjorts med

HG-givaren (observera att detta blir en indikativ mätning utanför RBK då givare blir äldre än 10 dygn). Mätmetodiken påverkas stort av ett eventuellt ångläckage i rör-/givarätningen (se [3] AK|Polygon "Läckande borrhål") detta syns tydligt när vissa uttorkningskurvor får onaturlig brant lutning. Alla redovisade fuktvärden har ett påslag för mätosäkerhet inkluderat (ca 2,7% RF).

Avgränsning

Artikeln har avgränsats till mätning med Humiguardgivare och främst skillnader på betong med vct/vbt 0,38 med olika tillsatser. Betongens kemiska uttorkning i stängda burkar har ej inkluderats. Antalet mätdata i detta projekt är så stort att bara viss data presenteras i denna artikel.

Övrigt – Luftinblandningen

Luftinblandning i betong har enligt Swerock flera fördelar. Betongen blir lättare att pumpa, hantera, och att få ut nivellerat. Hållfastheten sänks, vilket i många fall möjliggör minskad mängd armering. En vct 0,38 med 10 procent luft kan till exempel få hållfasthetsklass C30/37.

Resultat

Kall betong – Fuktmätning

Vid mätning av relativ fuktighet i betong som gjuts i november och förvaras i utomhustemperatur/klimat noteras en något underlig RF-förändring. Torrast värden erhålls vid 30-dygnsmätningen, sedan ökar den relativa fuktigheten, trots att omgivande klimat borde ge fortsatt uttorkning, se figur 4. Orsaken till betongens uppgång i fuktnivå efter 30 dygn är i skrivande stund ej fastställt.

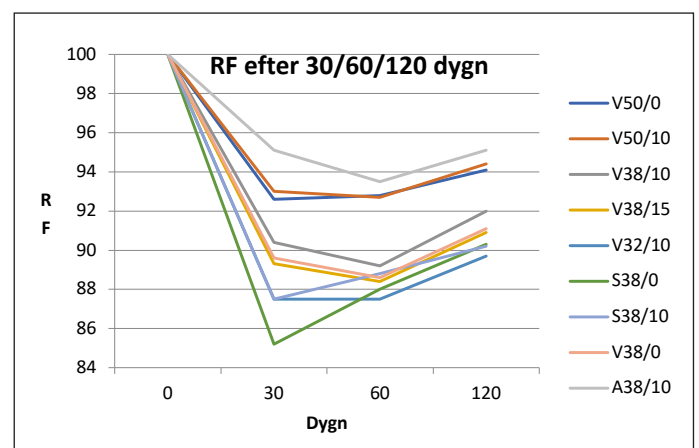
Generellt avläses lägst RF i betong med tillsats av slagg (S38/0 och S38/10) och vct 0,32 (V32/10). Högst fuktvärden avläses i anläggningscement (A 38/10) samt Velox vct 0,5 (V50/0 och V50/10).

Cement	Vct/vbt	Lufttillsats	Slagg	Beteckning
Velox	0,5	0%	-	V50/0
Velox	0,5	10%	-	V50/10
Velox	0,38	0%	-	V38/0
Velox	0,38	10%	-	V38/10
Velox	0,38	15%	-	V38/15
Velox	0,32	10%	-	V32/10
Velox	0,38	0%	20 %	S38/0
Velox	0,38	10%	20 %	S38/10
Anläggning	0,38	10%	-	A38/10

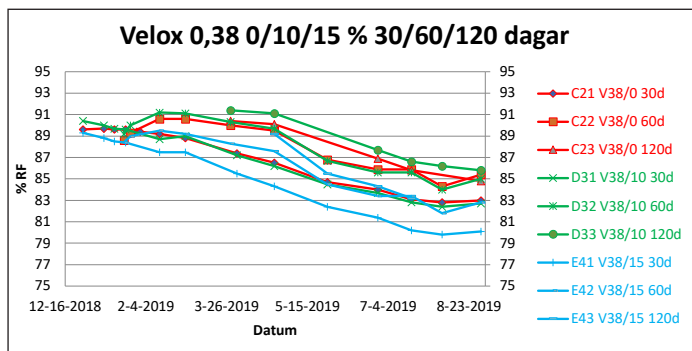
Tabell 1: Betongblandningar i Swerockprojektet.



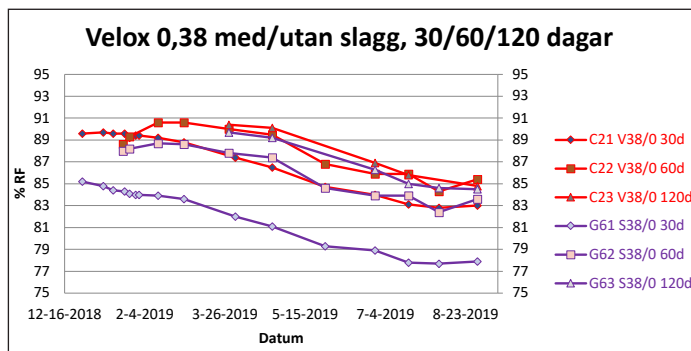
Figur 3: 60 dagar kylt betong med öppna respektive stängda burkar.



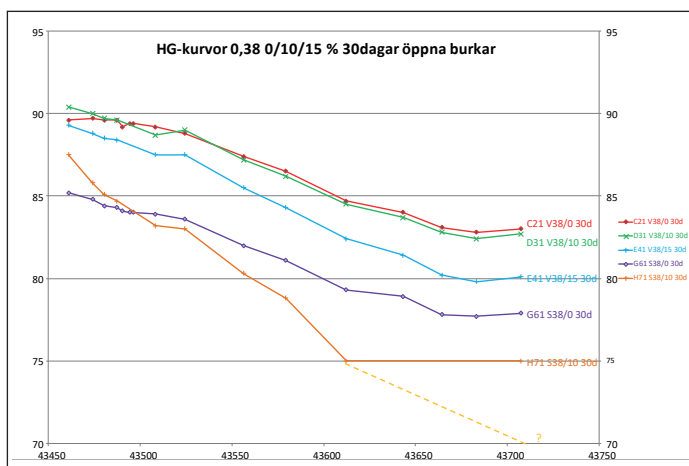
Figur 4: Kall betong/RF i betong som förvaras utomhus (gjutdag 19 nov).



Figur 5: Fuktmetning (RF) i öppna burkar med betong vct 0,38 med 0 (röda), 10 (gröna), 15 (blå) % luftinblandning som förvarats 30, 60, 120 dygn utomhus.



Figur 6: Skillnad mellan Velox vct 0,38 betong med (lila)/utan (röda) slagg, olika tids kylning.



Figur 7: Skillnad mellan vct 0,38 betong (utan tillsats) kontra betong med vbt 0,38 inkl slagg (20 procent) + luft. Alla kylda i 30 dygn.

Om vi tittar på luftinblandningens inverkan på RF-sänkningen (inklusive mätosäkerhet) i öppna burkar som har stått kylda 30, 60 respektive 120 dygn kan man dra följande slutsatser:

- Ingen signifikant skillnad iaktas på uttorkning mellan 0 och 10 procent luftinblandning för 60 och 120 dygn kylda prover (röda linjer 0 procent respektive gröna linjer 10 procent).
- Betong med 15 procent luftinblandning (blå linjer i figur 5) torkar generellt bättre än 0/10 procent luft.
- Resultatet påvisar att torkklimatstart efter 30 dygn är fördelaktigt för den slutgiltiga fuktnivån i jämförelse med 60 eller 120 dygn.

Fuktmätningen i både figur 4 samt figur 5, påvisar att kylning under längre tid än 30 dygn ej är till fördel för uttorkningen.

Inverkan av slagg

När betong med/utan tillsats av slagg jämförs syns ett mycket tydligt resultat. Slagginblandningen verkar ha en mycket positiv effekt på uttorkning i samtliga mätserier. Störst differens fås vid torkklimatstart 30 dygn.

Kombinationen av slagg och luft

Optimal uttorkning sett till lågt avläst RF i burk erhålls när vi kombinerar lågt vct (0,38), slagginblandning, luft och tidig

uttorkning. Detta syns i samtliga mätserier. På grund av att Humiguardgivaren inte är kalibrerad under 75 % RF (mätresultat erhålls ej) redovisas S38/10 som 75 % efter det att värden under 75 % erhålls. Uppskattat uttorkningsförlopp har redovisats med streckad linje. Observera att S38/10 branta lutning kan bero på läckande mätbål.

Avdunstningshastighet

Generellt ger lufttillsatsinblandningen en ökad avdunstningshastighet med cirka 20 procent.

Uttorkning/avdunstning vct 0,38

Om vi fokuserar på medelavdunstningshastigheten som en funktion av uttorkning i % RF (observera att dessa värden är indikativa då givaren får sitta kvar längre än 10 dygn) under samma period, kan följande trender noteras (figur 9):

- Velox med 10 respektive 15 procent luft ger cirka 22 procent högre avdunstningshastighet än motsvarande betong utan luft.
- Betong med kombinationen luft och slagg ger med marginal bäst uttorkning.
- Slagg ger ingen reduktion i avdunstning, tvärtom är medelavdunstningshastigheten i slaggbetong 11–21 procent högre än motsvarande betong med likvärdigt vbt.

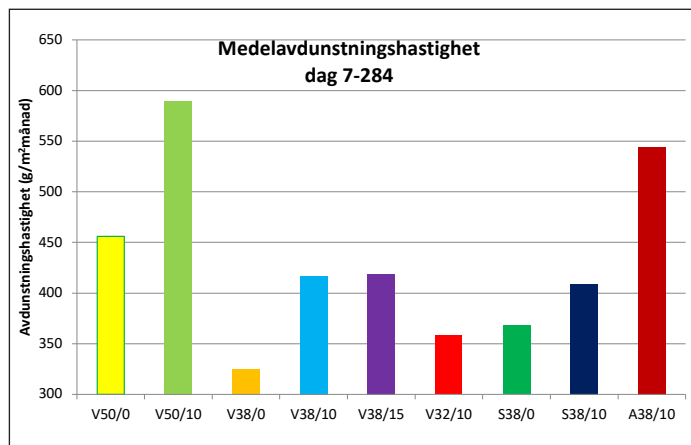
Avdunstningshastighet/ångtäthet

En viktig parameter när det kommer till risk för fuktskador under limmade ytskikt mot cementbaserade konstruktioner är avdunstningshastigheten i underliggande konstruktion i jämförelse med ytskiktets ångtäthet (figur 1). Hur snabbt betongen erhåller sin täthet beror på flera parametrar, såväl temperatur både initialt och fortsatt torkklimat som inblandning av tillsatser såsom mineraliska tillsatser, retarder etc. Även hur betongen behandlas såsom ytglättning och vibbning påverkar. Provning är utförd i icke styrd inomhusklimat, vilket gör att drivkraften (Δv) varierar under testet. I aktuell provning har likt tidigare endast jämförande mätningar utförts med likvärdiga förutsättningar för samtliga burkar för att erhålla trender och skillnader dem sinsemellan.

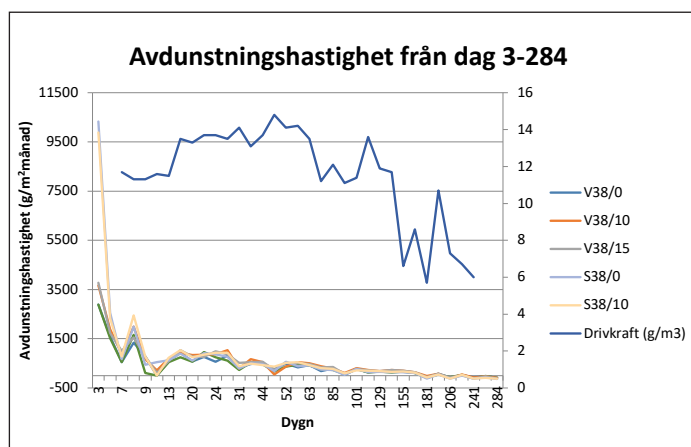
Betongbatcherna avstannar förvänsbart lika i avdunstningshastighet (figur 10 presenterar enbart vct 0,38). Sannolikt är en stor anledningen till att hastigheterna underskrider 0 g/m²månad efter cirka 180 dygn, är att drivkraften (blå linje i figur 10 $\Delta v_{\text{betong}} - v_{\text{torkklimat}}$) sjunker drastiskt av den naturliga årstidsvariationen (RF i rumsluften ökar).

För att flödesbalansen skall vara gynnsam ska (lite förenklat) fukttransporten genom betongen underskrida ytskiktets fukttransporthastighet (se figur 1). I tabell 2 presenteras vilka flöden olika ytskikt har vid olika fuktintervall. Plastmattor ligger ofta inom ångtäthetsintervallet 1 000 000 till 10 000 000 s/m, vilka har markerats med rött.

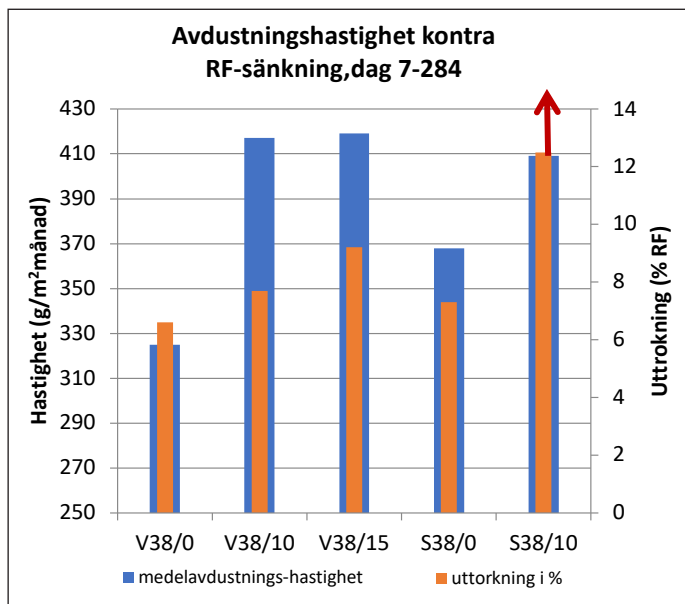
Detta innebär förenklat att ett flöde från betongen på ca < 1 -31 g/m²månad innebär att ytan är matlaggningsbar. Avdunstningsförsöket indikerar att detta sker efter cirka 180 dygn. Såklart med reservation för inverkan av det varierande torkklimatet i försöket, samt att betongens transportförmåga varierar i olika RF-intervall. Det vill säga att betongens fukttransporthastighet i ytan förväntas öka med ökad RF efter omfördelning.



Figur 8: Medelavdunstningshastighet för samtliga betonger, mellan dag 7-284.



Figur 10: Avdunstningshastighet för betong med vbt 0,38 från dag 3 till 284 med ånghaltsskillnad mellan betong och rumsluft som referens.



Figur 9: Uttorkning (RF) som funktion av avdunstningshastighet för 30 dygns kyllda prover (Observera att S38/10 går under kalibreringsintervall för givaren, uttorkningen är således underskattad, därav pil).

Täthet matta (s/m)	Flöde ₈₅₋₁₅ [g/mån/m²]	Flöde ₈₅₋₄₀ [g/mån/m²]	Flöde ₈₅₋₆₅ [g/mån/m²]
10 000	3140	2019	897
100 000	314	202	90
500 000	63	40	18
1 000 000	31	20	9
10 000 000	3	2	1

Tabell 2: Fuktflöde genom ytskikt med olika täthet och lika klimat på vardera sida.

Parallellprojekt

Lars-Olof Nilsson (LON, Moistenginst AB) har fått uppdrag av AK|Polygon att utvärdera den så kallade "burkmetoden" och dess eventuella begränsningar. Enligt LON är bedömningen att viktändringen med tiden från avdunstningsmätning i burk, kan användas för att kvantifiera betongens fukttransportkoefficient, och att dessa korrelerar med resultat för samtida koppförsök. Rapport på utvärderingen kommer inom kort finnas till hand på Moistenginst och AK|Polygon:s hemsidor (se "läs mer")

Sammanfattning

Luftinblandning över 10 procent ger tydlig positiv effekt på avläst RF.

Optimal uttorkning sett till lågt avläst RF i burk erhålls när vi kombinerar lågt vct (0,38) med slagginblandning, luft och tidigt torkklimat. Detta är något som syns i samtliga mätserier. Testet indikerar att slagginblandning inte ger tätare betong, tvärtom uppmäts 11-21 procent högre medelavdunstningshastighet än referensbetong utan slag. Lågt

vct (med samma luftinblandning) ger generellt lägre RF.

En ökad avdunstningshastighet, ökar betongens förmåga att avge fukt till mätgivaren i borrhålet [3], vilket i sin tur påverkar fuktbalansen. Detta torde generellt ge högre avläst relativ fuktighet på mer ångöppen betong. Det kan vara orsaken till att vi inte ser en någon signifikant skillnad mellan betong med 0 respektive 10 procent luft, trots att avdunstningshastigheten skiljer 22 procent.

Avdunstningshastigheten på samtliga testade betongblandningar avtar i likvärdig takt.

Så till den stora frågan – *Ger luft och slagginblandning en ökad eller minskad risk för fuktskador vid likvärdig konstruktion och ytskikt?*

Detta projekt har påvisat att tillsatser av slag och luft sänker den relativa fuktigheten i betong. Vilket indikerar att vi genom dessa tillsatser har kortat uttorkningstider och sänkt risken för till exempel mattförtvålning. Men innan man definitivt kan svara på om

detta innebär en total risksänkning måste betongblandningarnas ångtätethet fastställas för att senare kunna utvärdera hur fukten i betongen omfördelar efter mattläggning genom så kallad omfördelningsberäkning. Detta hoppas vi kunna svara på inom kort. ■

Läs mer:

www.husbyggaren.se/lackande-mathal-i-betong/
www.byggteknikforlaget.se
www.polygongroup.com/sv-SE/kunskapstorget/artiklar---offentligt-material-av-medarbetare/
www.moistenginst.se/hem/svenska/berakningsverktyg-och-hjalpmedel/

Referenser

- [1] "Fuktsäkerhetsprojektera golv. Går det?" AK|Polygon, Johan Tannfors/Peter Brander/Anders Ssson Bygg & teknik 7/17
- [2] "Modern betong torkar inte som förr" Bygg & teknik nr 2/19, Per Karnehed/Anders Sjöberg
- [3] "Läckande borrhål" Husbyggaren 24 april, 2017, AK|Polygon, Peter Brander, Kent Bergqvist