Täthet som alternativ till uttorkning av betong-baserade golvsystem?

Ja, konceptet fungerar fuktmässigt både i teorin och praktiken! Den moderna, täta betongen medför att **man kan avjämna och limma matta med vattenbaserat lim innan uttorknings-kravet på ekvivalent djup är uppfyllt**. Detta fungerar dock inte generellt utan ställer vissa krav på betongens ålder och sammansättning, så att erforderlig täthet hinner utvecklas och fukttransport-förmågan minska tillräckligt.

TEXT MARCIN STELMARCZYK, TED RAPP, HANS HEDLUND & STAFFAN CARLSTRÖM

FUKTRELATERADE PROBLEM I betongbaserade golvsystem kan lätt leda till skador och emissioner av irriterande ämnen. För att förebygga dessa problem måste fukten i betongen hanteras på ett sätt som inte medför fara för alkalisk nedbrytning av lim och ytskikt. En metodik för att åstadkomma just detta togs fram under 1990-talet och början av 2000-talet baserat på dåtidens betong och dess egenskaper. Det är dessa arbeten som ligger till grunden för dagens innehåll avseende fuktmätning och kritiska gränsvärden i Rådet för Byggkompetens, RBKs fuktmätningsmanual samt AMA Hus. Sedan dess har cementens sammansättning förändrats. Med huvudsyfte att minska koldioxidbelastningen har de primära bindemedlen i Ordinarie Portlandcement (OPC) spätts ut med t.ex. kalkstenfiller, flygaska och slagg. Detta har påverkat betongens egenskaper och vidare medfört att betonggolven fuktteknisk inte uppför sig som förr. Olika indikationer på problem med uttorkning har framkommit[1]. Även mätmetoder för relativ fuktighet har fått justeras för att säkerställa tillförlitliga mätningar så som revidering av *Manual fuktmätning i betong* från version 5 till version 6.

BETONGEN ÄR INTE SOM FÖRR

De senaste åren har olika inmätningar av betongens egenskaper utförts [2-4]. Dessa visar tydligt att en ökad täthet uppstått i betongens porsystem med minskad förmåga till fukttransport, jämfört med tidigare[5]. Betongens porositet verkar inte ha ändrats. Den rymmer lika mycket fukt som tidigare. Däremot verkar flaskhalsarna i porsystemet blivit trängre med lägre fukttransport och långsammare diffusionsuttorkning och fuktutbyte med andra material som följd. Upptäckten av detta föranledde en teoretisk undersökning av konsekvenserna för fuktsamverkan i betonggolv i SBUF-projektet 13354. I projektet utfördes

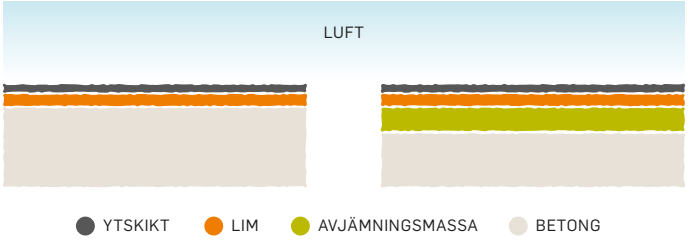
simuleringar av fuktförloppen i två typer av golv: ett bestående av ytskikt limmat på betong och ett annat då ytskiktet limmats på betong med avjämning, se Figur 1.

Materialdata för olika moderna betonger användes i simuleringarna. Beräkningar av diffusionsuttorkning samt fuktsamverkan mellan betongen och de omgivande materialen utfördes. En rad både negativa och positiva resultat konstaterades. Till de negativa hör bl.a. en markant förlängning av tiden för diffusionsuttorkning. Förändringen är så stor att uttorkningsåtgärder vidtagna några månader efter gjutning knappt har någon verkan alls. Detta bekräftas i utförda uttorkningsförsök[6] där uttorkningen avstannar då betongen nått tillräcklig nivå av täthet, vilken byggs upp successivt efter gjutning. En annan negativ konsekvens har att göra med direktlimning av ytskikt med vattenbaserad lim på betong. Detta har tidigare endast setts som ett problem för betong med mycket låga vattencementtal[7]. Idag kan även betong med högre vct bli så tät att limfukten inte kan tränga ner i betongen utan stängs inne mellan betong och ytskiktet. Detta resulterar i fuktmättnad i betongens övre skikt, med transport av hydroxidjoner till lim och ytskikt med alkalisk hydrolys som följd.

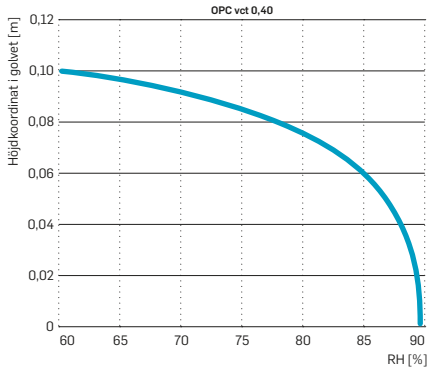
Undersökningen gav även en djupare förståelse i vad som förändras i golvets fuktfunktion. Baserat på detta ställdes frågan huruvida den nya betongens egenskaper kan leda till något positivt. Finns det sätt att utnyttja tätheten konstruktivt under produktionen av betongbaserade golvsystem? Simuleringarna bekräftade att detta bör vara möjligt men förutsätter ett reviderat sätt att se på fukten i betonggolv.

ÄR DET FUKTNIVÅN ELLER FUKTTRANSPORTEN SOM ÄR PROBLEMET?

Det sätt som betongfukt i golv hanteras idag, är nära kopplat till en specifik typ av risk. Scenariot bygger på en betong med relativt god förmåga till fukttransport belagd med ett relativt tätt ytskikt. När betongen torkar innan läggning av ytskiktet erhålls en typisk uttorkningsprofil, se Figur 2. När ytskiktet appliceras fungerar det som ett lock. En mindre fukttransport kommer att ske genom ytskiktet, men en väsentligt snabbare omfördelning av den kvarvarande fukten kommer att ske i betongen. En mycket fuktigare betongyta än under uttorkningen erhålls efter påläggning av ytskiktet, även utan inverkan av limfukt. Detta kan medföra en direkt risk för ytskiktet och limmet då hög fuktnivå i betongen möjliggör alkalitransport och kan resultera i hydrolys av bindemedel i limmet och/eller mjukgörare i ytskiktet och där tillhörande emissioner.



Figur 1. Ytskikt limmat direkt på betong (vänster) och på avjämningsmassa med underliggande betong (höger).



Figur 2. En typisk fuktprofil, relativ fuktighet för olika djup, efter ensidig uttorkning av 0.1 m tjock betongplatta med relativt god fukttransportförmåga.

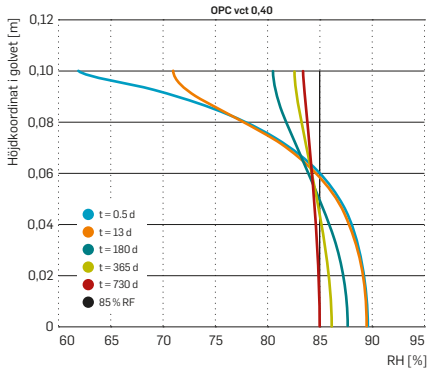
För praktisk hantering av denna omfördelning och slutnivån för fukten i kontakt med ytskiktet används begreppet ekvivalent djup, som kravställer på vilket djup man mäter relativ fuktighet i betongen[8]. Det ekvivalenta djupet är valt så att vid en klassisk uttorkningsprofil, skall den större mängden fukt under det ekvivalenta djupet och den mindre mängden fukt ovanför jämnas ut. Resultatet blir en konstant RF över hela tvärsnittet vilken överensstämmer med ursprunglig RF på ekvivalent djup. Detta uppnås först efter en total omfördelning av fukten över tvärsnittet. I Figur 2 är det ekvivalenta djupet 4 cm från betongens övre yta, höjdkoordinat 0.06 m.

Mätning på ekvivalent djup och resonemanget bakom bygger på det faktum att ytskiktet är så mycket tätare än betongen så att det blir flaskhalsen i fukttransporten i hela golvet. Så var också fallet i gammaldags betong med Ordinarie Portlandcement som enda bindemedlet utan några mineraliska tillsatser. Cementen har dock ändrats sedan dess och nu är det betongen som blivit det funktionellt tätaste materialet i golvet. Jämförande simuleringar visas i Figur 3.

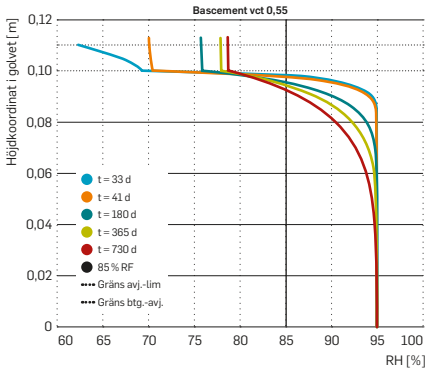
Betongen med ren OPC bjuder inte på några överraskningar. Där sker en typisk omfördelning och eftersom den relativa fuktigheten på ekvivalent djup, i detta fall 40 mm under ytan, var 85 % vid mattläggning leder omfördelningen inte till ett RF högre än 85 % under ytskiktet. Exemplet med betong med det gamla Bascementet följer däremot ett helt annorlunda förlopp. Figuren visar att en omfördelning (fuktprofilerna skär varandra) endast äger rum i de översta millimetrarna av konstruktionen för Bascementet. För övrigt ser betongen ut att torka långsamt. Man bör även observera att RF under ytskiktet håller sig under 85 % trots att betongen var dåligt uttorkad och hade 90 % på ekvivalent djup vid mattläggning.

TÄTHET IHOP MED AVJÄMNING BORDE KUNNA FUNGERA

Ekvivalent djup känns alltså inte särskilt relevant för den nya, täta betongen. Den relativa fuktigheten på detta djup kommer inte vara representativt för vad som händer vid ytan, dvs. i närheten av ytskiktet. Det gamla kravet på 85 % RF på ekvivalent djup syftade till att det inte skulle bli mer än 85 % i lim och ytskikt efter omfördelning. Vad SBUF 13354 gjorde vidare var att simulera fuktförloppet i hela golvet med huvudfokus på om kravet på kritiskt RF uppfylls i direkt



Figur 3. Visualisering av principen för fuktomfördelning i en 100 mm tjock betongplatta med gammaldags OPC till vänster samt Bascement CEM II/A-V (gamla) till höger. Fuktomfördelning efter limning av ytskikt motsvarande Tarkett iQ Optima med icke vattenbaserat lim på betong, fuktprofiler vid olika tid-



Figur 4. Fuktprofiler i konstruktionen vid olika tidpunkter under fuktomfördelning. Betong med Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, RF vid start (t=0d) är 95%, därefter uttorkning mot luft med RF 60%, samt avjämning (t=20d) och vattenbaserad limning av ytskikt (t=34d).

anslutning till ytskiktet. Utöver detta förutsattes ett lager väl uttorkad avjämning vara nödvändigt för att hantera limfukten. Ett exempel på en sådan strategi redovisas i Figur 4. Ett 10 cm tjockt betonggolv med en antagen grad av självuttorkning till 95 % uttorkas ensidigt under kort tid. Detta för att initiera en fuktgradient i de två översta centimetrarna. Därefter avjämnas betongen med 10 mm golvavjämningen som får torka i två veckor, vilket resulterar i en fuktnivå understigande 70 % RF i avjämningen (se mörkblå linje i diagrammet). Slutligen limmas ett ytskikt (Tarkett iQ Optima) med vattenbaserat lim (CascoProff Universal) på golvavjämningen

Fuktprofilerna i diagrammet visar att en typisk omfördelning inte äger rum och att RF i avjämningen inte överstiger 80 %. Detta innebär att ytskiktet och limmet aldrig kommer i kontakt med ett cementbaserat underlag i närheten av kritisk RF. För mer detaljer kring dessa simuleringar se gärna [9] och [10].

TEORIN ÄR FIN, MEN FUNKAR DET I PRAKTIKEN?

För att verifiera simuleringsresultaten från den teoretiska studien i SBUF 13354 krävdes skarpa försök med ytskikt limmade på tät betong belagd med golvavjämning. Då startades ett nytt projekt, SBUF 13560, med syftet att bl.a. verifiera det nya fuktkonceptet praktiskt. Upplägget gick i princip ut på att upprepa det som simulerades i SBUF 13354 fast denna gång i verkligt utförande med skarpa provkroppar. Ett antal betongplattor med tjockleken 110 mm gjöts på pallar med krage. Efter en tid av självuttorkning i förseglat tillstånd fick betongplattornas ytor diffusionstorka under ca en veckas tid. Därefter avjämnades plattorna med ca 15-19 mm Weberfloor 140 Nova. Efter ca tre veckors uttorkning av avjämningen limmades mattorna.

Betongens täthet går att åstadkomma på olika sätt. I projektet valdes att testa tre olika sammansättningar av bindemedel, framtagna med hänsyn till tillgängliga cement samt miljöhänsyn, dvs. med relevant inslag av mineraliska tillsatser som drar ner betongens koldioxidbelastning:

- Cementa Bascement CEM II/A-V, ca 15 % flygaska, (gamla Bascementet)
- CEMEX Miljö, ca 42,5 % slagg
- Cementa Velox Slite (OPC) + 30 % slagg

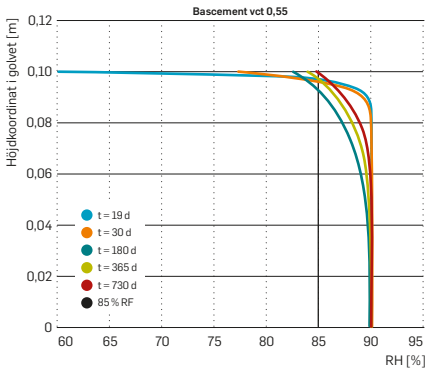
Vi valde vidare att testa två vattencementtal för varje bindemedelssammansättning: 0,40 samt 0,55. Då vi inte visste hur fort tätheten etableras i den hårdnande betongen valde vi att låta betongplattorna hydratisera i förseglat tillstånd i 3 resp. 6 månader innan de avjämnades.

Fukt kontrollerades i provkropparna på olika sätt under projektets gång. RF i betong mättes i enlighet med [8] med givare monterad i betongen. RF i avjämning mättes i enlighet med [11] med uttaget prov. Utöver detta monterades resistiva elektriska givare i avjämningen som avlästes på kontinuerlig basis. Då dessa värden inte kalibrerades mot kända RF-nivåer skall de endast ses som en indikering på hur fuktnivån rör sig i avjämningen och inte tolkas ensamma utan jämförelse med RF uppmätt i uttaget prov. Det bör noteras att samtliga fuktnivåer i denna rapport redovisas utan mätosäkerheten pålagd som säkerhetsmarginal, dvs. inte som ett slutvärde enligt RBK. Detta för att lättare jämföra mot tidigare forskningsresultat, t.ex. Wengholt Johnsson 1995, från vilka det kritiska värdet av 85 % baserar sig på. I nedanstående fall var mätosäkerheterna 2,0 % RF för betong och 1,7-1,8 % RF för avjämning. Den som önskar jämföra mätningarna nedan med slutvärden bör själv lägga på respektive mätosäkerhet. Den resistiva indikationen uppvisade en hög känslighet med avseende på omgivande temperatur. Då temperaturen varierade något i förvaringsutrymmet bör den långsiktiga trenden i indikationen beaktas och inte mindre variationer.

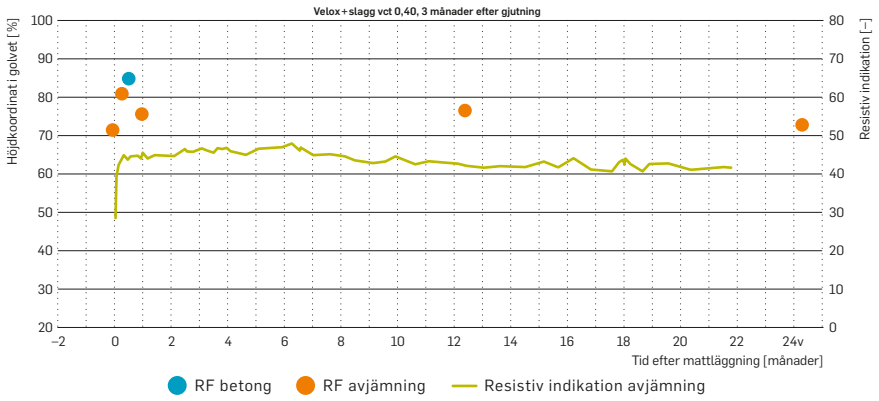
HUR GICK DET DÅ?

En typisk bild av förloppet i en av betongplattorna visas i Figur 5. Vi ser att det initialt sker en ökning av RF i avjämningen. Detta är förväntat då fukten från limmet måste ta vägen någonstans och tränger då ner i avjämningen. Sedan ser vi att RF stabiliseras under 80 % för att därefter övergå i väldigt långsam uttorkning genom det täta ytskiktet. Detta är exakt som predikterat av simuleringarna i SBUF 13354 och motsvarande resultat erhölls för de flesta övriga betongplattorna.

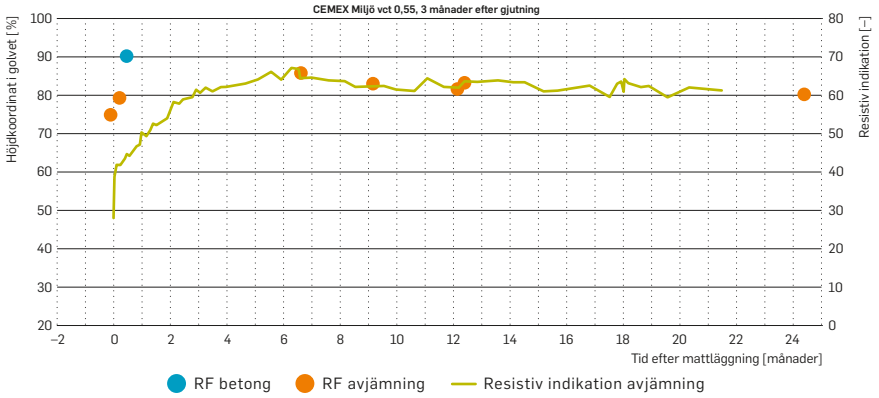
Verkar alla kombinationer fungera? Nej. I projektet valdes medvetet att testa betongplattor avjämnade vid två olika åldrar och för två olika vct. Då bägge parametrarna påverkar tätheten i betongen förväntades man kunna se något av de tidiga objekten med högt vattencementtal ge högre RF i



punkter efter limning. Vänster – betong med OPC vct 0,40 ensidigt uttorkad i till 85% RF på ekvivalent djup. Höger – betong med Bascement CEM II/A-V vct 0,55 ensidigt uttorkad i 20 dygn i 60% RF från antagen självuttorkningsnivå på 90% RF.



Figur 5. Relativ fuktighet i betong och avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning. Betong med Velox (OPC)+30% slagg, vct 0,40, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



Figur 6. Relativ fuktighet i betong och avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning. Betong med CEMEX Miljö, vct 0,55, självuttorkad i 3 månader före avjämning.

avjämningen. Så var också fallet för objektet vars förlopp visas i Figur 6.

Här verkar kombinationen av fuktinnehåll i betongen och dess täthet inte fungera för att RF i avjämningen inte ska stiga på grund av fukttillskott från betongen. En viss omfördelning sker och det resulterar i att RF i avjämningen precis stiger överkritisk RF på 85 % för att sedan övergå i långsam uttorkning. Då betongen fortfarande är tätare än motsvarande betong med samma vct och gammaldags OPC erhålls ingen fortsatt omfördelning av större betydelse. Den lilla ökning, som ändå sker, kan fortfarande vara för mycket för att undvika alkalisk hydrolys. Man bör också komma ihåg att de redovisade RF-nivåerna inte innehåller några säkerhetsmarginaler.

För samtliga fuktresultat från denna undersökning se[12]. Den övergripande bilden av resultaten sammanfattas nedan:

- De olika provkropparna hade inte endast skillnader i transportförmåga för fukt utan blev även självuttorkade till olika RF-nivåer. Det bör dock konstateras att om osäkerheten i mätningen i betong beaktas (2,0 % RF adderas till mätresultaten) uppfyller ingen av betongplattorna kravet på 85 % RF på ekvivalent djup vid avjämning.
- En av plattorna, 3 månaders CEMEX Miljö vct 0,55, har spräck kravet på max 85 % RF i avjämningen. Ytterligare ett, 3 månaders Bascement CEM II/A-V vct 0,55, misstänks ligga i farozonen. Detta är inte förvånansvärt då bägge tillhör de fuktigare provkropparna med högst förväntat transportförmåga för fukt. Resultaten är en indikation på att det finns en gräns avseende täthet för när konceptet inte fungerar.
- För de övriga plattorna har kravet på kritiskt RF i avjämningen uppnåtts med upp till 10 % RF som marginal, även med pålagt mätosäkerhet, för att därefter övergå i långsam uttorkning. Detta trots att ingen av plattorna uppfyllde dagens krav på uttorkning inför mattläggning. Försöksresultaten bekräftar simuleringsresultaten från SBUF 13354. Det går alltså att utnyttja den nya betongens täthet i kombination med väl uttorkad avjämning för att undvika att en RF på 85 % uppkommer i lim och ytskikt. Detta trots att betongens RF överskrider 85 % på ekvivalent djup vid tillfället för mattlimning!

SLUTSATSER

Skarpa försök visar att den låga förmågan till fukttransport i den moderna, täta betongen kan utnyttjas tillsammans med avjämning för att undvika att kritisk RF överskrids i anslutning till lim och ytskikt. Detta trots att betongen inte är uttorkad till kritisk RF på ekvivalent djup innan ett ytskikt appliceras. Denna effekt är beroende av betongens täthet, vilket i sin tur ställer vissa krav på betongens ålder och sammansättning. Tillvägagångssättet skulle kunna användas med syfte att förkorta tiden som behövs för betonguttorkning inför limning av ytskikt med vattenbaserat lim. Detta utan att lim och matta utsätts för högre RF än tillåtet.

Samtidigt skall man ha klart för sig att dessa resultat endast skall ses som validering av ett koncept. Vad vi visat med testerna i SBUF 3560 är att konceptet mycket väl kan ge det önskade resultatet. Detta är dock inte att jämställa med en färdigutvecklad och kvalitetssäkrad arbetsmetodik som hjälper utföraren att undvika eventuella risker. En sådan återstår att utveckla. Då kravet man ställer på betongen flyttas från uttorkning till täthet, bör tätheten på något sätt kunna valideras med en kvalitetssäkrad metod under produktionen av golvkonstruktioner i skarpa projekt. ■

Referenser

1. C. Svensson Tengberg, Inventering av uttorkning av betonggolv, Betong med mineraliska tillsatsmaterial, SBUF 13358 Slutrapport, 2018

2. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong, SBUF 13197 & 13198 Slutrapport, 2019

3. N. Olsson, L.-O. Nilsson, M. Åhs, V. Baroghel-Bouny, Moisture transport and sorption in cement based materials containing slag or silica fume, Cement and Concrete Research, 2018.

4. M. Saeidpour, L. Wadsö, Moisture diffusion coefficients of mortars in absorption and desorption, Cement and Concrete Research, 2016

5. G. Hedenblad, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, TVBM-1014, Lund Institute of Technology 1993

6. J. Carlswärd, Uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong, Bygg & Teknik Nr 6 2020

7. H. Wengholt Johnsson, Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning, Chalmers Tekniska Högskola 1995,

8. RBK 2017 – RBK, Manual – Fuktmätning i betong, version 6, kap 2.3

9. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, Finns det någon fördel med modern, tät betong?, www.sbuf.se/ppb 2017, numera www.byggforetagen.se/ppb

10. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial, SBUF 13354 Slutrapport, 2019

11. Bestämning av relativ fuktighet, RF i golvavjämning, Utgåva 2:2017, GBR

12. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?, www.byggforetagen.se/ppb, 2021

MARCIN STELMARCZYK
Civ.ing.
The Green Dragon Magic

TED RAPP
Civ.ing. Byggföretagen
Tekniskt sakkunnig RBK

HANS HEDLUND
Dr., Adj. Prof.
Skanska Sverige AB

STAFFAN CARLSTRÖM
Swerock AB