

Pedagogikrevidering och extern kommunikation avs. fukt i PPB

samt

Fuktomfördelning i golvsystem i Produktionsplanering Betong

Slutrapport

Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic

Ted Rapp, Byggföretagen

Hans Hedlund, Skanska Sverige AB

2020-11-13

Förord

Projektets arbetsgrupp vill rikta ett stort tack till samtliga branschens representanter som deltog i arbetet med både sin tid, energi, idéer, branschkunskap och erfarenhet, och ett mer specifikt tack till

- Skanska Sverige AB
- NCC Sverige AB
- Peab Sverige AB
- Swerock AB
- Saint-Gobain Sweden AB
- TM Progress AB
- Forbo Flooring AB
- Tarkett AB
- Bostik AB
- Sika Sverige AB
- FuktCom Lund
- AK-konsult | Polygon

Projektets arbetsgrupp vill slutligen rikta ett stort och varmt tack till SBUF för finansiering av detta projekt.

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar projekten SBUF 13710 (Pedagogikrevidering och extern kommunikation av. fukt i PPB) samt 13711 (Fuktomfördelning i golvsystem i Produktionsplanering Betong). En bakgrund till projekten ges. Projektgenomförandet beskrivs inom de olika arbetsområdena för resp. projekt. Resultaten i form av förändringar och ny funktionalitet i programvaran Produktionsplanering Betong presenteras översiktligt för de resp. projekt samt programvarans nya manual bifogas i förenklad form som bilaga. Även andra resultat presenteras. Ett problem som omöjliggjorde två tilltänkta resultat inom 13711 beskrivs och en rekommendation för hur man skall komma till rätta med problemet i en nära framtid ges.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Sammanfattning.....	2
Innehållsförteckning.....	3
1 Inledning.....	4
1.1 Bakgrund	4
1.2 Rapportens struktur	4
2 Projektens genomförande.....	5
2.1 Workshoppar.....	5
2.1.1 SBUF 13710.....	5
2.1.2 SBUF 13711.....	5
2.2 Extern kommunikation	5
2.3 Implementation samt betatest	5
2.4 Frisläppning av PPB	6
3 Resultat.....	6
3.1 SBUF 13710.....	6
3.1.1 PPB.....	6
3.1.2 Extern kommunikation	8
3.2 SBUF 13711.....	9
3.2.1 PPB.....	9
3.2.2 Materialdata för golvsimulering.....	10
3.2.3 Simulering av sorption hos ung betong samt avjämning	11
4 Rekommendationer avs. framtida projekt	11
Bilageförteckning.....	12

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Som resultat av projekten SBUF 13197 (Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong) och 13198 (Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong) fick programvaran Produktionsplanering Betong kapacitet till avancerad fuktsimulering och möjlighet att beräkna uttorkning i betongkonstruktioner. PPB var ursprungligen anpassat till hållfasthetsberäkningar som studerar betongen främst under den första månaden efter gjutning. Efter frisläppning och en viss tids användning av fuktfunktionalitet identifierades en rad önskemål om utveckling av PPB:s användargränssnitt till att även passa fukttillämpningarna.

Parallellt med SBUF 13197 och 13198 genomfördes SBUF13354 (Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial) där en teoretisk studie av fuktomfördelning i golvsystem utfördes. Som ett delresultat från dessa projekt identifierades möjligheten till att implementera simulering av produktionen av ett helt golvsystem. Detta baserat på den existerande uttorkningsberäkningen för betong i PPB samt forskningsmjukvaran som togs fram inom 13354 för omfördelningsberäkningar mellan betong och avjämning före samt efter mattläggning.

Samtliga dessa projekt genererade en stor mängd information om modern betong och golvsystem baserade på denna. Den ordinarie dokumentationen i form av rapporter i SBUF:s projektdatabas genererade ett större intresse och väckte ett otillfredsställt informationsbehov från industrin.

Som respons på detta startades:

- **SBUF 13710 Pedagogikrevidering och extern kommunikation av. fukt i Produktionsplanering Betong** - med syfte att vidareutveckla PPB användargränssnitt och anpassa det mer till fuktanvändarnas behov samt att bemöta det växande informationsbehovet med publikationer i branschpress
- **SBUF 13711 Fuktomfördelning i golvsystem i Produktionsplanering Betong**, med syfte att utöka PPB:s fuktberäkning till att omfatta produktionen av hela golvsystem inkl. avjämning och mattläggning.

1.2 Rapportens struktur

Rapporten är uppdelad i fyra delar:

- Inledning – detta kapitel.
- Projektets genomförande – här redovisas det arbetet som utfördes under projektet.
- Resultat – här redovisas en övergripande bild av resultaten. För detaljer se rapportens bilagedel.
- Rekommendationer – här redovisas vad projektet rekommenderar avseende framtida arbete på området. Här finns även rekommendationer för framtida utveckling avseende fukt i PPB.

Rapporten innehåller även bilagor med publicerade artiklar i branschpress samt komprimerad utskrift av manualen till den resulterande versionen av PPB.

2 Projektens genomförande

Projektet genomfördes under ledning av Byggföretagen. Majoriteten av arbetet utfördes av The Green Dragon Magic (GDM). Intern kommunikation i bägge projekten har skett löpande efter behov mellan medlemmar av arbetsgruppen, styrgruppen, referensgruppen. Representanter för berörda materialtillverkare, som inte deltagit i projektgrupperna, har också kontaktats vid behov.

2.1 Workshoppar

2.1.1 SBUF 13710

Workshoppen genomfördes 2019-10-07 hos dåvarande Sveriges Byggindustrier på Wennerbergsgatan 10 i Stockholm. Syftet var att diskutera och fastställa hur PPB:s gränssnitt skall vidareutvecklas för att passa fuktanvändarnas önskemål. Utöver projektets arbetsgrupp deltog i workshoppen representanter för:

- Skanska Sverige AB
- NCC Sverige AB
- Peab Sverige AB
- Swerock AB

2.1.2 SBUF 13711

Workshoppen genomfördes 2019-11-06 hos dåvarande Sveriges Byggindustrier på Wennerbergsgatan 10 i Stockholm. Syftet var att diskutera och fastställa utformningen av PPB:s stöd för simulering av produktion av golvsystem. Utöver projektets arbetsgrupp deltog i workshoppen representanter för:

- Skanska Sverige AB
- NCC Sverige AB
- Peab Sverige AB
- Swerock AB
- TM Progress AB
- FuktCom Lund
- AK-konsult | Polygon

Materialet diskuterades sedan även med representant för Saint-Gobain Sweden AB, som var förhindrad att delta i workshoppen.

2.2 Extern kommunikation

Under hösten 2019 fick medlemmar ur arbetsgruppen förfrågan om och tillfällen till publicering av utlovad extern information inom SBUF 13710. Arbetsgruppen med förstärkningar från styrgruppen författade totalt 5 artiklar för publicering i Bygg och Teknik och AMA-Nytt.

2.3 Implementation samt betatest

Implementationsarbetet var tänkt att vidta efter genomförda workshoppar. Andra arbeten rörande PPB:

- underhållsarbete avs. uppgradering av hydratationsmodellen för betong (slutet av 2019 samt Q1 2020)
- arbete med byte av webbplats för PPB från SBUF till Byggföretagen (2020 Q2)

var tvungna att utföras före, vilket sköt på implementationen till Q3-4 2020. Betatestet utfördes i slutet av oktober 2020.

2.4 Frisläppning av PPB

PPB version 3.0 med samtliga resultat implementerade från 13710 och 13711 frisläpptes och publicerades på PPB:s webbplats hos Byggföretagen fredagen den 13 november 2020.

3 Resultat

3.1 SBUF 13710

3.1.1 PPB

Följande förändringar har implementerats i PPB:

- **Inmatning av tidsuppgifter** har reviderats genom hela användargränssnittet och är numera anpassad till att
 - effektivt hantera både korta (< 28dygn) och långa (upp till flera år) simuleringar så att det passar både användare för hållfasthetsberäkning och fuktberäkning
 - ske i realtid (datum och klocka) och/eller relativ tid (efter simuleringens början)
 - kunna inmatas med text i kompakt form eller med dialoger i mer användarvänlig form

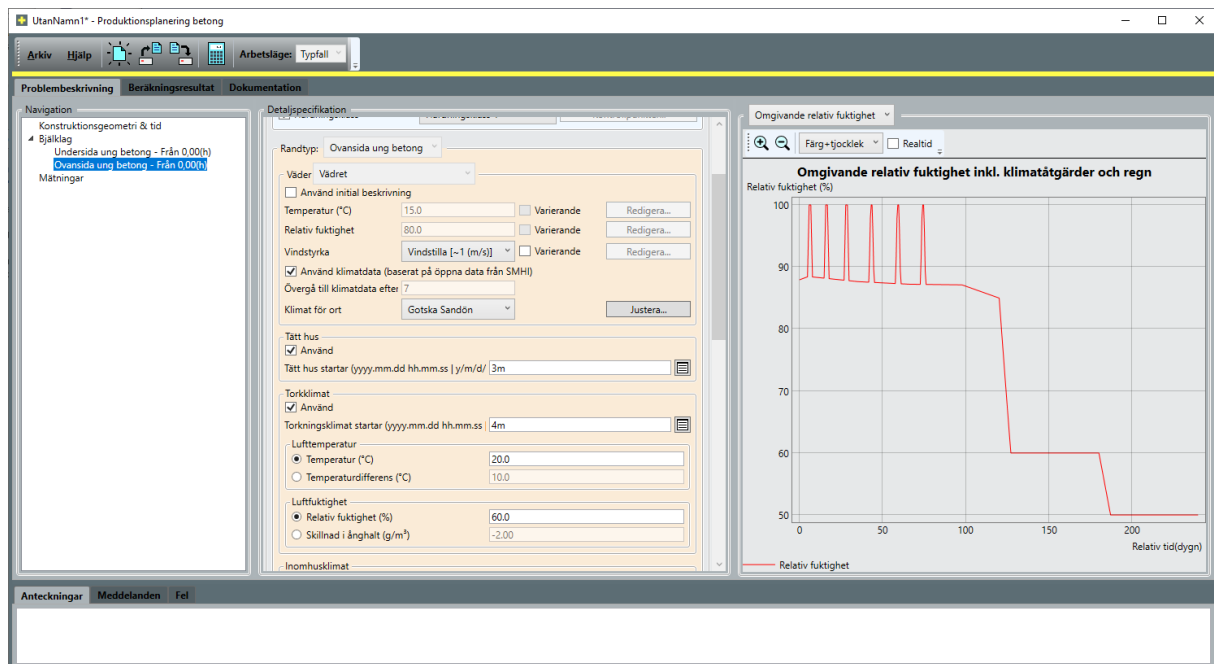


Fig. 1 Visualisering av omgivande relativ fuktighet vid inmatning av väderlek samt klimatåtgärder för ovansidan av ett bjälklag i PPB

- **Klimat och väder**

- Inmatning av väderlek samt klimatåtgärder har fått möjlighet att visualiseras för att åskådliggöra vilken miljö man lyckats specificera innan beräkning sker, se Fig. 1
- I beskrivningen av väder kan man numera importera temperatur och relativ fuktighet direkt från textfil
- Klimatdata från SMHI för vald ort kan visualiseras och justeras för att t.ex. simulera en kallare eller fuktigare årstid

- **Presentation av resultat**

- Resultatlistan redovisar fler, främst fuktrelaterade händelser i simuleringen
- Fukttypfallen har fått som standard ett diagram med kurvor för olika djup i konstruktionen för samtliga resultatvärden (frisläpptes redan Q2 2020)
- Ny färgkarta har implementerats där resultatet visas för djupet i konstruktionen (vertikal axel) och tiden (horisontell axel), se Fig. 2. Det är samma typ av färgkarta som i Hett97.
- Manuell specifikation av färgskala i färgkartor
- Visualisering av övervakade kravnivåer samt mätningar vid enstaka tidpunkter i kurvdiagram för berörda resultattyper

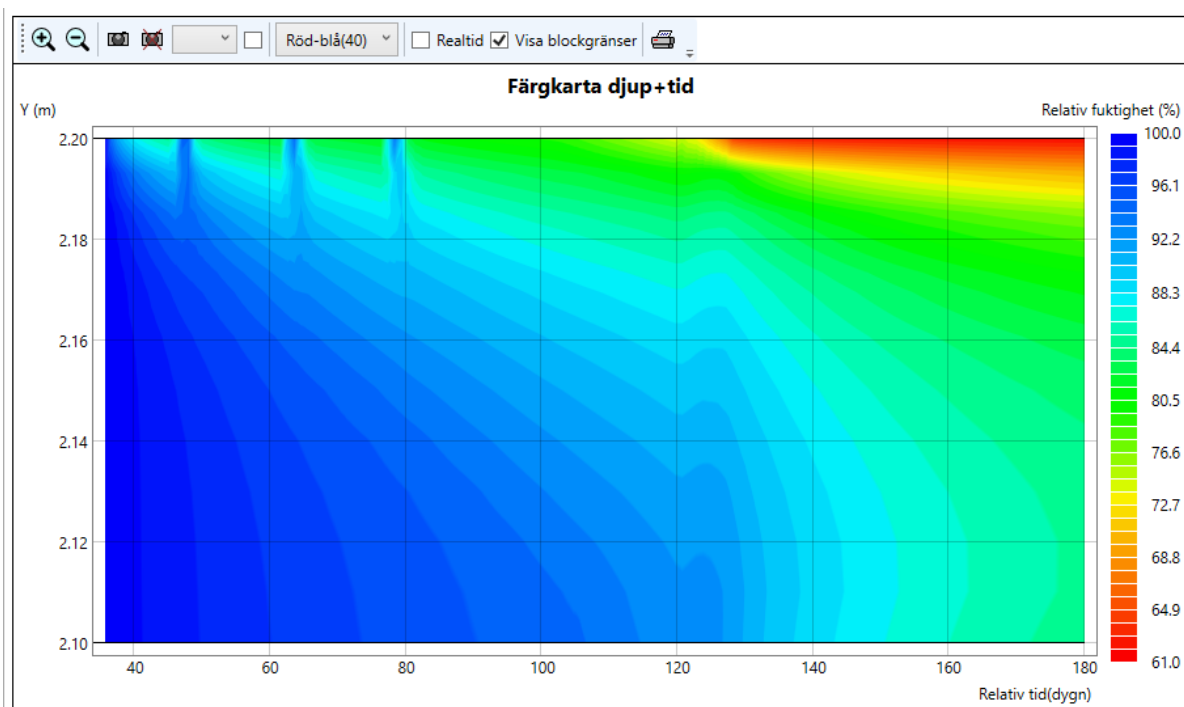


Fig. 2 Färgkarta för djup + tid för relativ fuktighet.

- **Hantering av fuktmätningar**

- Man kan definiera ett valfritt antal mätpunkter i konstruktionen för specifika djup (betong och tjock avjämning) samt för medelvärden (uttaget prov tunn avjämning)
- För varje mätpunkt kan värden uppmätta vid flera tidpunkter matas in
- Mätvärdena redovisas med motsvarande värden från simuleringen i en sammanställning, se Fig. 3

- Mätvärden inkl. mätosäkerheter kan visas i kurvdiagram

Mätpunkter - sammanställning		
Platta: Djup 40 (mm)		
2021-03-30 09:00:00	Uppmätt RF 85.3 +/- 2.1 (%)	Beräknat RF 86.0 (%) vid 19.5 (°C)
2021-04-30 09:00:00	Uppmätt RF 82.6 +/- 2.2 (%)	Beräknat RF 83.3 (%) vid 19.5 (°C)

Fig. 3 Sammanställning av uppmätta och beräknade värden för RF

- Uttorkningskrav
 - Hantering av uttorkningskrav har implementerats
 - Man kan ange ett valfritt antal krav för RF för valfria djup och/eller för medel- och maxvärden för konstruktionsdelar av betong och avjämning
 - I resultat redovisas om och när kraven uppfylls samt en varning om de inte gör det.
 - De angivna kravnivåerna kan visas i kurvdiagrammen
 - De specificerade kraven kan användas som villkor för automatisk beräkning av tidpunkt för avjämning och/eller mattläggning
- Platta på mark har fått ett förtydligat randvillkor mot isolering och mark
- Manualen (se bilagorna 6–23)
 - Fuktberäkningen har dokumenterats i 5 kapitel i en ny del av manualen
 - Hela manualen har reviderats med avseende på de nya funktionerna

3.1.2 Extern kommunikation

Projektet har publicerat följande artiklar under hösten 2019:

- Bygg och Teknik nr 7 2019
 - "Uttorkning och modern betong", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström
 - "Fuktsamverkan i golvsystem med modern betong", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström
 - "PPB räknar på fukt", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström
- AMA-Nytt nr 2 november 2019
 - "Modern betong och fukt", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström
 - "Golvsystem med modern betong", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström

Artiklarna bifogas som bilagor (1–5) till denna rapport.

3.2 SBUF 13711

3.2.1 PPB

Följande förändringar och tillägg har implementerats i PPB:

- Avjämning
 - Möjlighet att avjämna i ett eller två lager
 - Vid:
 - Specifik tidpunkt
 - Uppfyllande av ett eller flera uttorkningskrav för underliggande betong
 - Tidsfördröjning mellan första och andra lagret avjämning
 - Med eller utan primer
 - Avjämning hanteras som en separat konstruktionsdel för vilken resultat så som RF, temperatur, ånghalt, partiellt ångtryck samt fysikaliskt bundet vatten beräknas
 - Samtliga resultat kan visas som kurvor eller färgkartor som för betong, se Fig. 4
 - Uppmätt RF kan specificeras i avjämning antingen på specifikt djup eller som medel och hanteras på samma sätt som uppmätt RF i betong med sammanställning och jämförelse med beräknade värden och möjlighet att visualisera mätdata i kurvdiagram

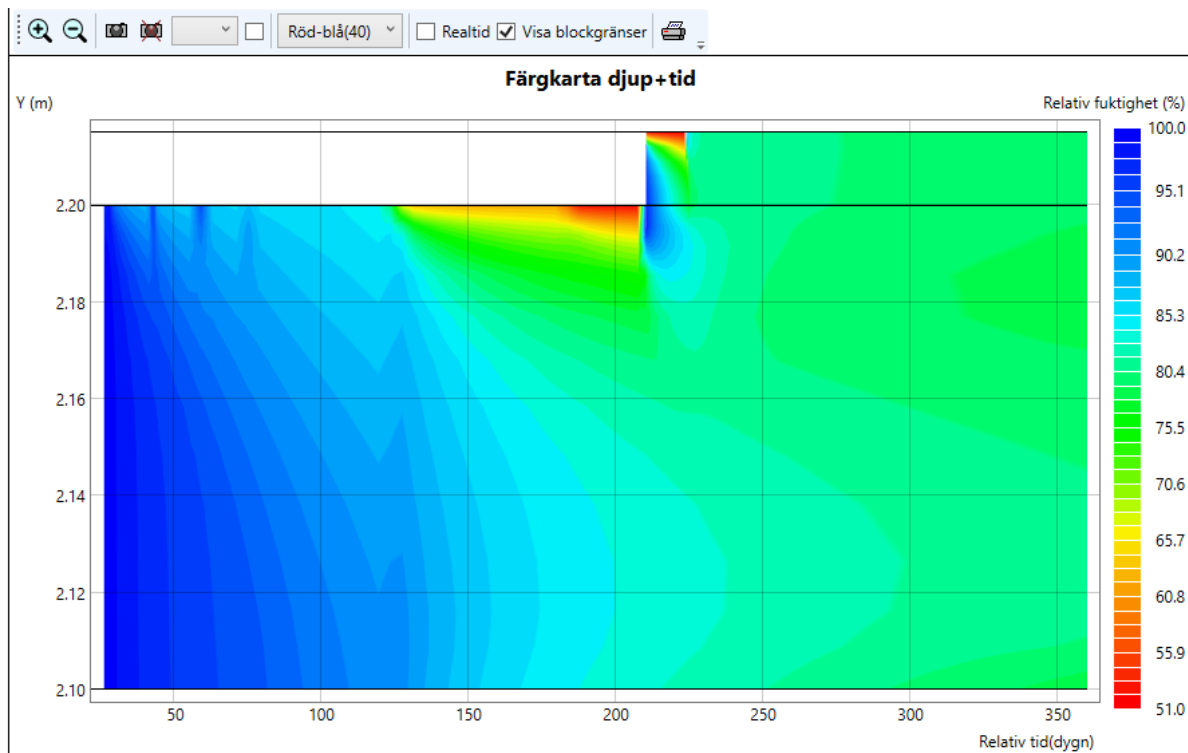


Fig. 4 Färgkarta djup + tid för 10cm tjock platta på mark med 15mm avjämning efter 7 månader samt mattläggning ytterligare 2 veckor senare.

- Mattläggning, se Fig. 5
 - Möjlighet att lägga ytskikt på toppytan i konstruktionen
 - På avjämning eller betong
 - Vid
 - Specifik tidpunkt
 - Vid uppfyllelse av ett eller flera uttorkningskrav i underliggande material
 - Med eller utan lim

Fig. 5 Specifikation av hur golvläggning skall ske på ovansidan av avjämning

3.2.2 Materialdata för golvsimulering

För att förse de nya simuleringsfunktionerna med nödvändiga materialdefinitioner har fyra nya materialdatabaser skapats.

- Ytskikt
 - 13 ytskikt från Forbo
 - 17 ytskikt från Tarkett
- Golvlim
 - 8 limmer från Bostik
 - 7 limmer från Casco
- Avjämning
 - 1 avjämningsmassa från Weber Saint-Gobain
- Primer
 - 1 avjämningsprimer från Weber Saint-Gobain

Fler produkter inom avjämning och primer är på gång och kommer att läggas till inom ramen för löpande underhåll.

Materialdatabaserna har genomgått en generell uppgradering med möjlighet

- att publicera s.k. signerade data, som inte kan modifieras eller manipuleras av andra än utgivaren
- att publicera materialdata på ett konfidentiellt sätt, där användaren endast kan se produktnamnet och inte själva bakomliggande uppgifterna/egenskaperna, men där PPB kan räkna på materialbeteendet

Möjlighet till konfidentiell publicering har varit ett krav från vissa materialtillverkare för att få infoga deras data i PPB.

3.2.3 Simulering av sorption hos ung betong samt avjämning

Inom projektet planerades att ytterligare två avjämningsmassor skulle infogas i databasen. Även fuktsimulering av gjutning på plattbärlag var tänkt att ingå. Detta har i nuläget visat sig inte vara möjligt av samma skäl. Materialmodellen som används för sorption i PPB saknar för närvarande möjlighet att beskriva en porositet som ändras med materialets ålder. Detta medför att endast kemisk bindning av vatten beräknas för betong under en inledande fas. När sorptionsegenskaperna är tillräckligt konstanta kopplas full simulering av fukt inkl. sorption och transport på.

Denna temporärlösning resulterar i små fel vid simulering av gjutning avseende fristående konstruktion. Vid pågjutning på plattbärlag skulle denna teknik medföra att det initialt inte sker något fuktutbyte mellan den unga betongen och plattbärlaget. Detta riskerar att ge något större fel men framför allt se onaturligt ut på färgkartor och förorsaka mycket huvudbry hos användaren.

När det kommer till avjämning var grundansatsen i projektet att försöka simulera dess fuktbetende endast genom simulering av diffusion, dvs. utan simulering av avjämningshydratationsförlopp. Ansatsen baserade sig på faktum att det i många avjämningsmassor används bindemedel som reagerar mycket snabbare än bindemedel i betong. En av de tilltänkta avjämningsmassorna fungerar precis på detta sätt och går utmärkt att simulera på det tilltänkta sättet vilket implementerats. De två andra har ett mer utdraget hydratationsbetende. Detta har visat sig kräva beräkning av hydratationsförlopp, vilket skulle gå att implementera idag. Samtidigt blir problem med modellering av sorption under hydratation med omfattande förändring i porositet aktuellt för dessa avjämningsmassor. Då fukttransporten i avjämning är mycket större än i betong kommer felet med simuleringsmetodik som används för dagens betong bli oacceptabelt för tunna avjämningsmassor.

Modellutveckling pågår just nu avseende bl.a. denna problematik inom ramen för SBUF 13766 Tillämpningsmodellering av fuktfenomen i betong - del 2. Därför är det lämpligt att invänta resultaten. När modelleringsproblemet är löst kan en mer verklighetstrogen och noggrann simulering av hydratationsförloppet implementeras både för betong och för de avjämningsmassor som kräver detta.

4 Rekommendationer avs. framtida projekt

SBUF 13710 lämnar inga specifika rekommendationer för framtiden.

SBUF 13711 rekommenderar uppföljning av modellutveckling inom SBUF 13766 (Tillämpningsmodellering av fuktfenomen i betong - del 2) avseende sorption med porositet som varierar med materialets ålder. Detta för att sedan implementera en lösning på problemen med simulering av tidigt fuktbetende i betong och avjämning redovisade i kap. 3.2.3.

Bilageförteckning

1. Artikel: "*Uttorkning och modern betong*", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, Bygg och Teknik nr 7 2019
2. Artikel: "*Fuktsamverkan i golvsystem med modern betong*", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, Bygg och Teknik nr 7 2019
3. Artikel: "*PPB räknar på fukt*", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, Bygg och Teknik nr 7 2019
4. Artikel: "*Modern betong och fukt*", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, AMA-Nytt nr 2 november 2019
5. Artikel: "*Golvsystem med modern betong*", M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, AMA-Nytt nr 2 november 2019
6. Manual PPB - Introduktion
7. Manual PPB - H1 Väggsektion - en enkel beräkning
8. Manual PPB - H2 Väggsektion - fördjupning
9. Manual PPB - H3 Platta på mark
10. Manual PPB - H4 Bjälklag, kantupplag på väggsektion
11. Manual PPB - H5 Garagekonstruktion - tjock vägg
12. Manual PPB - H6 Bjälklag på plattbärlag och skalmur
13. Manual PPB - H7 Temperaturmätningar
14. Manual PPB - H8 Struktur och grundprinciper
15. Manual PPB - H9 Fria läget
16. Manual PPB - F1 Platta på mark - en enkel beräkning
17. Manual PPB - F2 Platta på mark - fördjupning
18. Manual PPB - F3 Platta på mark med mätdata för fukt
19. Manual PPB - F4 Bjälklag med uttorkningskrav
20. Manual PPB - F5 Bjälklag med avjämning och golvläggning
21. Manual PPB - M1 Material och materialdatabaser
22. Manual PPB - M2 Materialdata för ung betong - teori och mätning
23. Manual PPB - M3 Materialdata för ung betong - anpassning

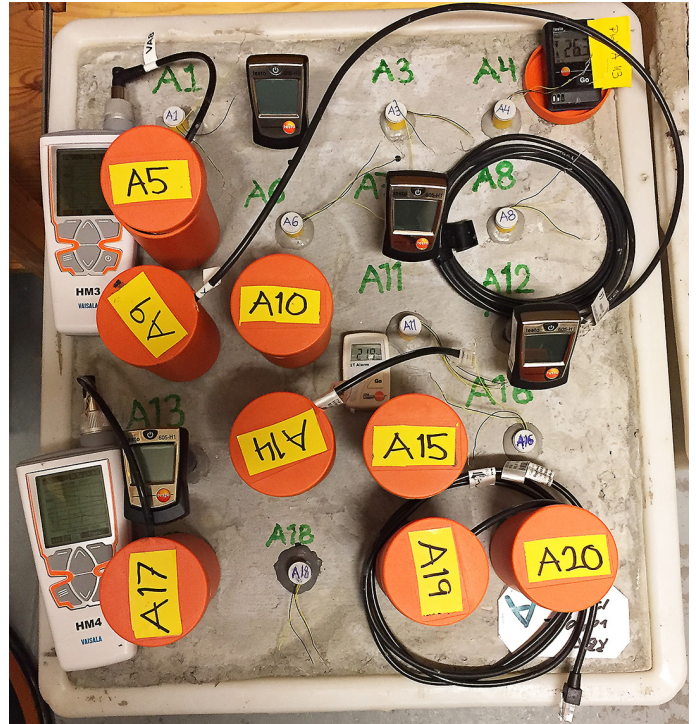
Uttorkning och modern betong

Riskerna för problem med sjuka hus är väl kända idag och hantering av fukt inom huskonstruktion och produktion är därför ett väl etablerat område. Ändå har många de senaste åren upplevt att något inte stämmer när det gäller uttorkning av betong. Betongen verkar uppföra sig annorlunda – betongen beter sig inte som förr. Uttorkningskraven upplevs svårare att uppfylla. Uttorkningsåtgärder som sätts in några månader efter gjutning verkar inte ha någon större effekt. Artikeln nedan avser att reda ut vad som har hänt med modern betong och hur det påverkar dess uttorkning.

Under ett antal år har uttorkning av betong dragit till sig oönskad uppmärksamhet. Den har även upplevts som problematisk i vissa fall. Planering har inte stämt med verkligheten och vidtagna torkåtgärder har inte haft avsedd verkan [1]. Det kan finnas många brister i praktiskt handhavandet av betongen vid gjutning och efterföljande härdning, som bidrar till detta. Denna artikel fokuserar dock på de mer systematiska anledningarna till varför uttorkning upplevs annorlunda idag än för två decennier sedan.

Hur torkar betong?

Det finns i grunden tre olika fenomen i betongen som bidrar till dess fuktillstånd, se principiell skiss i *figur 1* och mer utförlig förklaring i [2]. Först och främst har vi kemisk bindning av vatten. Det är ett resultat av cementets hydratering. Bindemedlen reagerar kemiskt med vatten och bildar fasta slutprodukter. Dessa håller ihop ballasten och bidrar till betongens hållfasthet. Under själva hydrateringen försvinner alltså en del av blandningsvattnet genom att bilda nya fasta ämnen tillsammans med cementet.



Det andra fenomenet som spelar en viktig roll i betongens fuktillstånd är så kallad sorption. Det handlar om betongens förmåga att binda vatten fysikaliskt i det porsystem som uppstått i betongen efter hydrateringen. Vattnet binds på ett lösare sätt till porsystemets väggar (adsorption) och även volymmässigt i tillräckligt små porer (kapillär kondensation). Detta styr vilken relativ fuktighet (%) som kommer att råda i betongen vid en viss fukthalt (kg vatten / m³ betong).

Det sista fenomenet är fukttransport. Fukten kan transporteras in och ut ur betongen. Detta utbyte kan ske mot luft eller andra omgivande material. Fukten kan transporteras i betongen både som kondenserat vatten (kapillärsug) och

som ånga (diffusion). Slår vi ihop detta får vi de två typer av uttorkning som man ofta pratar om:

Självuttorkning – i vilken grad betongen själv genom sin hydratering torkar ut. Detta påverkas av kemisk bindning av vatten samt sorption. En mer utförlig förklaring beskrivs i [3].

Diffusionsuttorkning – i vilken grad betongen blir av med fukt till omgivande luft. Detta påverkas av fukttransporten i betongen och till luften samt av sorptionen i betongen. En mer utförlig förklaring beskrivs i [4].

Hur har betongen förändrats?

Den betong som fanns på 80 och 90-talet är inte samma betong som vi använder idag. Detta innebär att de standarder och krav på fuktområdet som vi använder är framtagna för en annan betong än den vi guter idag i våra konstruktioner. Vad har då förändrats och varför? Den kanske huvudsakliga anledningen finner vi i ökat miljömedvetande. Tillverkning av klinker, vårt mer effektiva och populära bindemedel idag, förbrukar stora mängder energi och frisläpper även en stor mängd så kallad processkoldioxid, det



M.Sc. Marcin Stelmarczyk
The Green Dragon Magic



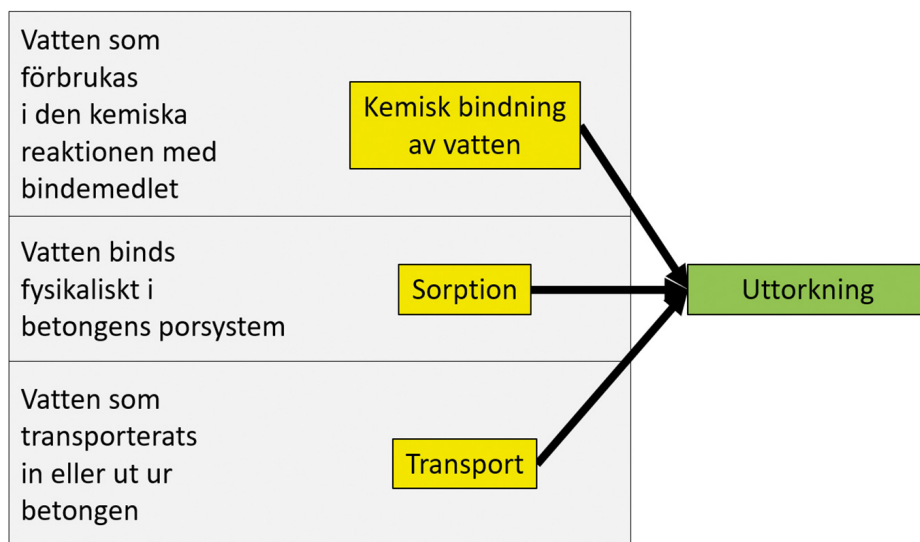
M.Sc. Ted Rapp
Sveriges Byggindustrier



Dr. Hans Hedlund
Skanska Sverige AB
Adj. Prof LTU



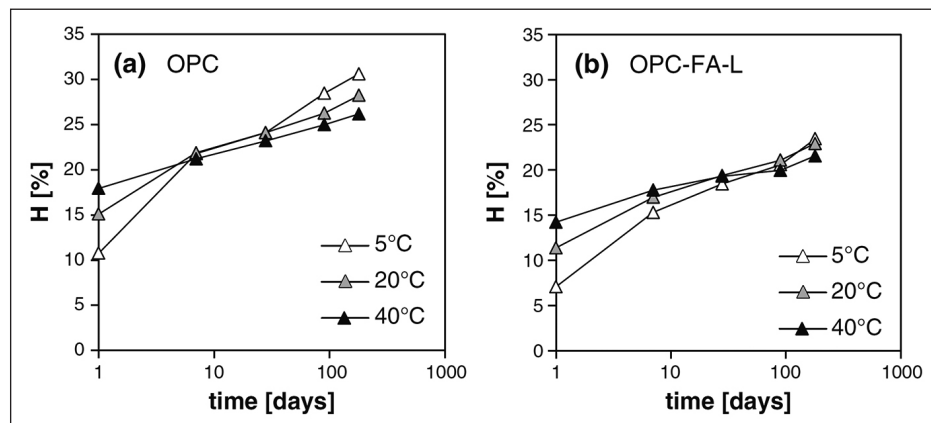
Staffan Carlström
Sverock AB



Figur 1: Principiell skiss över uttorkningsfenomenologi i betong.

Cement	Specifik yta (Blaine) (m ² /kg)	Mineraliska tillsatsmaterial (%)
Std P	ca 380	0
Byggcement	ca 490	ca 15 (kalkstensfiller)
Bascement	ca 450	ca 15 (flygaska)

Tabell 1: Specifik yta (Blaine) samt mängd tillsatsmaterial för några av våra vanliga cement.



Figur 2: Mängd kemiskt bundet vatten (förhållande till totalvikten av bruk utan vatten) som funktion av tid vid olika temperaturer, OPC: 100% OPC, OPC-FA-L: 65% OPC + 30% FA (flygaska) + 5% kalkstensfiller, från [9].

vill säga den koldioxiden som kommer från reduktionen av kalcium i kalksten (kalciumkarbonat) som råvara. Detta tillsammans gör Ordinarie Portlandcement (OPC) till ett mycket miljöbelastande cement, då klinker utgör cirka 95 procent av cementet.

För att reducera miljöbelastningen har mängden klinker minskats i cementet. Från Cementa kom först Byggcementet, där cirka 15 procent av klinkern ersattes med kalkstensfiller. Senare kom Bascementet, där cirka 15 procent av klinkern ersattes med silikarisk flygaska, ett mineraliskt tillsatsmaterial. Från CEMEX kom CEMEX Komposit med cirka 7% granulerad masugnsslagg. Samtidigt har flera betongtillverkare börjat leverera betong där ren OPC blandas på betongstationen med olika mängder flygaska eller slagg. Vi har alltså fått nya

sammansättningar av bindemedel i våra cement och dessa uppför sig annorlunda än cement med ren klinker.

En av skillnaderna är att de mineraliska tillsatsmaterialen inte reagerar lika snabbt som klinkern. I Byggcementets fall deltar kalkstensfillern inte kemiskt eller i mycket ringa omfattning i cementets reaktion med vatten. För att kompensera för detta och uppfylla kraven på hållfasthetstillväxt har malningsgraden på klinkern i blandningen ökat, vilket gjort klinkern mer reaktiv, eftersom den specifika ytan i kontakt mot vattnet då ökar. Det är i princip samma teknik som används vid tillverkning av snabbhårdnande cement. Tabell 1 ger en bild av historisk utveckling hos den specifika ytan (Blaine) för några av våra mer populära cement. Då den specifika ytan är ett direkt mått på cementets finhet,

framgår det tydligt att vi fått mer finmalda cement än vi haft tidigare.

Då partiklarna blir mindre möjliggörs en tätare packning. Då ytan ökar binds vattnet annorlunda. Detta borde medföra en styvare betong för motsvarande vattencementtal. Anledningen till att vi inte sett detta fenomen vid gjutning är den ökande användningen av flyttillsatser. För 20-30 år sedan förekom flyttillsatser relativt sällan. Idag levereras det i princip ingen fabriksbetong utan flyttillsats till platsgjutna konstruktioner.

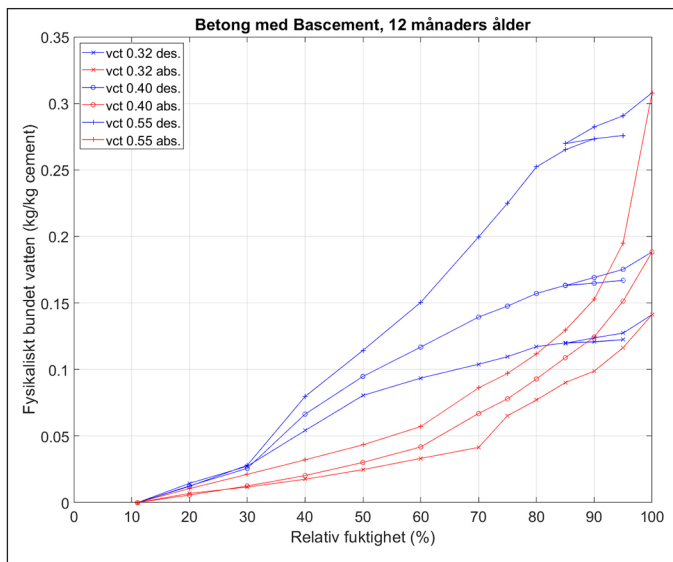
Ytterligare en förändring är den ökande användningen av krossballast. Den krossade ballasten har inte lika runda partiklar som naturballasten och bidrar till en mer trögflytande betong. För att komma till rätta med detta kubiseras den ibland, vilket resulterar i stora mängder småpartiklar. Dessa tvättas eller siktas ibland bort till viss del, ibland inte. Krossballasten bidrar alltså med både småpartiklar i betongen och med en ökad specifik yta hos de fasta materialen.

Sammanfattat har vi fått flera förändringar i vår betong under de senaste två decennierna. Dessa påverkar betongen på ett flertal sätt. Sammansättningen av bindemedel påverkar de kemiska reaktionerna under hårdnandet. Den förändrade partikelstorlekarna påverkar packningen. Tillsammans möjliggör skillnaderna förändringar i den prostruktur som byggs upp under hydratation. Vad innebär detta för betongens fukttegenskaper och uttorkning?

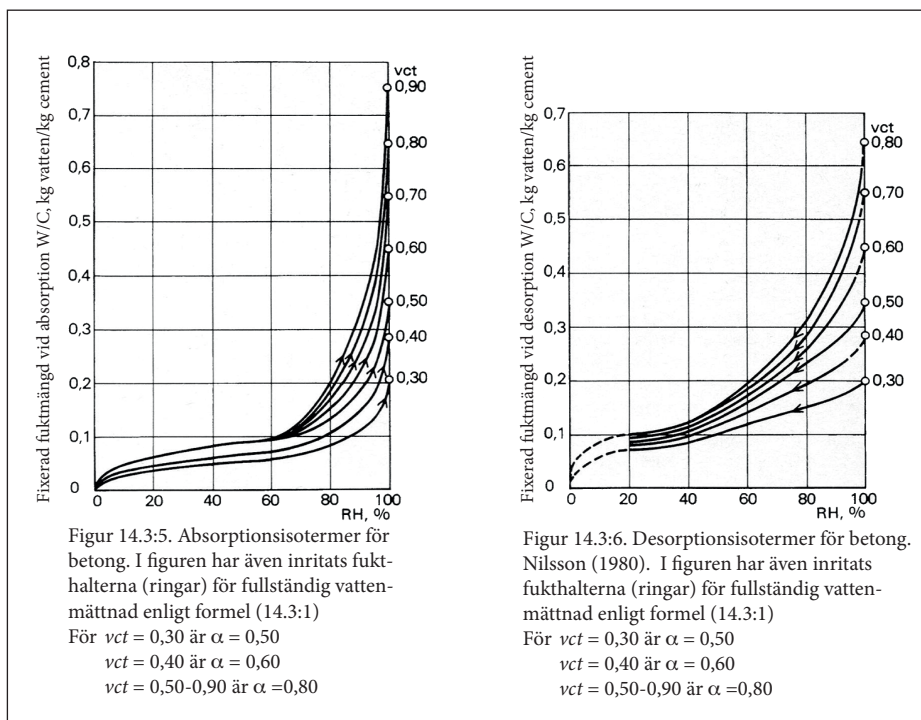
Sämre kemisk bindning av vatten

Kemisk bindning av vatten i betong sker då bindemedel reagerar med vattnet och bildar tillsammans olika slutprodukter av hydratation – C-S-H-gel, portlandit, ettringit mm. Klinker binder kemiskt mest vatten (vikt vatten per vikt bindemedel) av de bindemedel vi använder idag. Utbyte mot flygaska, slagg eller kalkstensfiller resulterar i sämre kemisk bindning av vatten och en betong som kommer att innehålla större mängd fukt (kg per m³ betong) efter hydratation. Hur mycket det rör sig om varierar. Dels reagerar de olika tillsatsmaterialen kemiskt olika. Slagg binder mest vatten. Flygaska binder mindre och kalkstensfiller, som utblandning av klinker, deltar inte kemiskt i reaktionen och binder i princip inget vatten alls. Ett exempel på jämförelse av kemisk bindning av vatten ges i figur 2.

Detta är den förenklade bilden. I praktiken kan klinkerns hydratationsgrad förändras av närvaro av andra bindemedel samt justerad malningsgrad. Detta förändrar dock inte grund-



Figur 3: Sorptionskurvor, vikt fysikaliskt bundet vatten per vikt cement som funktion av relativ fuktighet vid desorption och absorption vid 20 °C, för betong med Bascement från [10].



Figur 4: Sorptionskurvor, vikt fysikaliskt bundet vatten per vikt cement som funktion av relativ fuktighet vid desorption och absorption vid 20 °C, för betong med OPC från [12].

slutsatsen att inblandning av mineraliska tillsatsmaterial ger sämre kemisk bindning av vatten.

Förändrad sorptionskurva

I och med förändrade hydratationsmönster, där de mineraliska tillsatserna reagerar annorlunda än klinkern, och förändrade partikelstorlekarna kan en annorlunda porstruktur utvecklas. I figur 3 visas sorptionsisotermer för desorption och absorption uppmätta för betong med Bascement [10].

För jämförelsens skull visas i figur 4 motsvarande isotermer från Betonghandboken [12] som anses gälla för ren OPC med en malningsgrad motsvarande Std P, cirka 380 m²/kg i specifik yta (Blaine) vilket tidigare var det regerande cementet.

Vid jämförelsen bör man visa viss försiktighet eftersom redovisade värden kommer från mätningar med två olika "nollnivåer". Den i Betonghandboken är 0% RF och den för Bascement 11% RF (se [10] för motivering till den senare). Efter denna justering kan två saker konstateras:

- Totalporositeten (det vill säga totalhöjden på kurvorna) för motsvarande vattencementtal skiljer sig inte nämnvärt mycket
- Kurvformen vid desorption är annorlunda. I området runt 75-95% RF är kurvorna för betong med Bascement klart flackare än de för OPC.

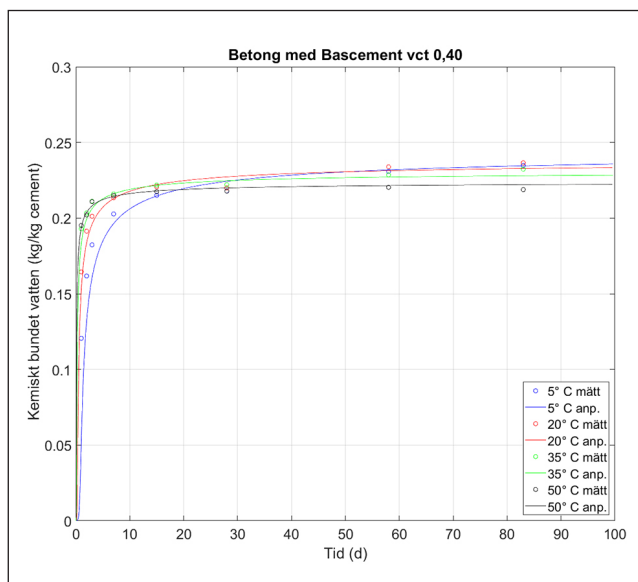
Skillnaden i kurvform förorsakas av en annorlunda fördelning av storleken

av öppningar till porer i betongen. Ur fukthänseende innebär detta att en viss skillnad i mängd fukthalt (kg/m³ betong) på den flackare delen av kurvan kommer att ge en större skillnad i vilken relativ fuktighet (%) som råder i betongen jämfört mot samma skillnad i fukthalt på den brantare delen. Om två olika fall av uttorkning av likadan betong resulterar i en viss skillnad i fukthalten, kommer detta att medföra en större skillnad i RF för betong med Bascement än vad det skulle ha gjort om man använt ren OPC. Betongens relativa fuktighet blir helt enkelt känsligare inom det flacka området på desorptionskurvan avseende fukthalten. Detta gör att även mätningen av RF blir känsligare. För närmare förklaring se vidare [3].

Temperatureffekt för självuttorkning

Den förändrade sorptionskurvan får även en annan, indirekt, men för uttorkningen signifikant effekt. Det är vetenskapligt känt att den kemiska bindningen av vatten sker med olika effektivitet beroende på den temperatur vid vilken betongen hydratiserar [14]. Detta har huvudsakligen att göra med att den dominerande slutprodukten hos hydratationen, den så kallade C-S-H-gelen blir sammansatt på olika sätt beroende av vid vilken temperatur gelen bildades, se [7]. Ett varmare och därmed snabbare hydratationsförlopp resulterar i att mindre mängd vatten binds per mängd hydratiserat bindemedel (kg vatten per kg bindemedel) än vid ett kallare och långsammare. Ett exempel på detta visas i figur 5, där mängd kemiskt bundet vatten per mängd bindemedel visas som funktion av tid för betong härdad i förseglat tillstånd i vattenbad vid olika temperaturer. I början växer kurvorna fortast för de högre temperaturerna då reaktionen går fortare och större mängd bindemedel hinner reagera per tidsenhet. Efter en tid kommer dock kurvorna för de lägre temperaturerna ikapp och förbi de andra då den långsamma reaktionen är mer effektiv när det gäller att binda vatten kemiskt.

Detta är inget specifikt för den moderna betongen utan så har det varit även tidigare. Anledningen till att effekten inte uppmärksammades vid uttorkning av betong har att göra med desorptionskurvornas utseende. Tidigare gjorde de brantare desorptionskurvorna, se figur 3 och figur 4, att det krävdes stor skillnad i kemiskt bundet vatten (kg/m³ betong) för att få en noterbar skillnad i relativ fuktighet (%). Dagens flackare



Figur 5: Kemiskt bundet vatten (kg/kg cement) som funktion av tid för betong med Bascement, vct 0,40 hårdat i förseglat tillstånd vid olika temperaturer, från 0.

sorptionskurvor gör att samma skillnad i kemiskt bundet vatten ger mycket större effekt i RF.

Som exempel på denna effekt återges här två tabeller från [7], som jämför simulerade uttorkningsresultat och max-temperaturer för en 140 mm platta på

mark med 100 mm underliggande isole-ring. I tabell 2 är plattan gjuten i början av oktober och i tabell 3 under varmare förhållanden i början av augusti.

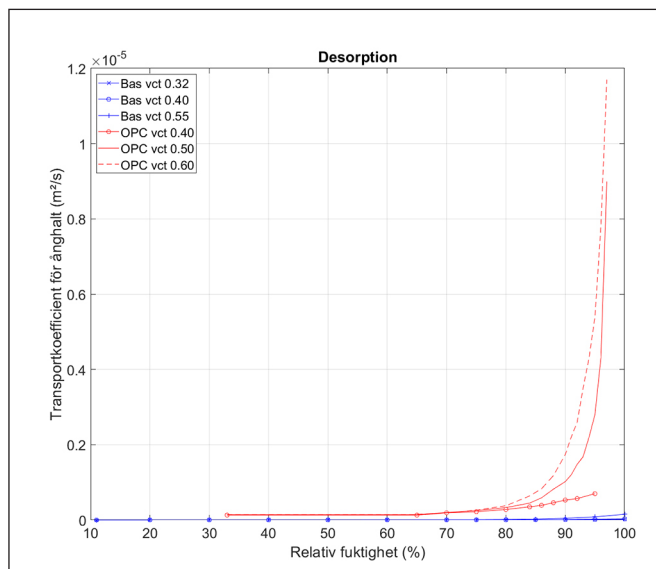
Det varmare sommarvärdet vid antagna förhållanden ger högre max-temperaturer i konstruktionen och ett

Tabell 2: Uttorkningsresultat för 0.14m tjock platta på 0.1m cellplast på mark, gjuten i Stockholm i början på oktober utan täckning. Simulerings-tid 2 år efter gjutning. Från [7].

Vct	RF efter självuttorkning på ekvivalent djup	Tidpunkt för 82,5 % RF på ekvivalent djup	Max. temperatur i betongen
0.55	83.4 %	Ej uppnådd	26 °C
0.40	80.5 %	189 d	33 °C
0.32	75.7 %	135 d	33 °C

Tabell 3: Uttorkningsresultat för 0.14m tjock platta på 0.1m cellplast på mark, gjuten i Stockholm i början på augusti utan täckning. Simulerings-tid 2 år efter gjutning. Från [7].

Vct	RF efter självuttorkning på ekvivalent djup	Tidpunkt för 82,5 % RF på ekvivalent djup	Max. temperatur i betongen
0.55	84,6 %	Ej uppnådd	35 °C
0.40	84.1 %	Ej uppnådd	43 °C
0.32	83.2 %	Ej uppnådd	45 °C



Figur 6: Transportkoefficienter för ånghalt som funktion av relativ fuktighet vid 20°C för betong med Bascement från [10] samt för betong med OPC från [13].

snabbare hydratationsförlopp. Detta ger en klar effekt på uttorkningen.

Mycket lägre transportförmåga för fukt

Den största skillnaden mellan modern och gammaldags betong är dock förmågan att transportera fukt. I figur 6 ges en jämförelse mellan transportkoefficienter för ånghalt för några vattencementtal mellan betong med Bascement [6], [10] och betong med ren OPC [13].

Skillnaden är omfattande. Det är inte frågan om några procent utan om mer än en tiopotens i fukttransportförmåga. Liknande resultat kan ses även för olika inblandning av slagg, se [4], och [8], för en mer omfattande jämförelse. Varför är det på detta sätt? Eftersom betongens porstruktur inte låter sig utforskas på ett enkelt sätt, blir det svårt att med hundraprocentig säkerhet förklara skillnaden. Det finns anledning att misstänka ett annorlunda hydratationsförfarande vid inblandning av så kallade puzzolaner (flygaska) och halvpuzzolaner (slagg) i betongen. Hela eller en del av tillsatsmaterialet reagerar på ett fördröjt sätt jämfört med klinkern och kan ge en tilltäppningseffekt i det porsystem som först bildas av klinkerreaktionen. Graden av detta verkar bero dels på mängden tillsatsmaterial och dels på hur mycket utrymme som finns i det porsystem som klinkern bildar [8]. Det finns även anledning att misstänka att en ökad malningsgrad avseende bindemedlen samt större mängd finpartiklar på grund av krossballasten kan bidra till den ökade tätheten.

Hur påverkas uttorkning i praktiken?

Som tidigare konstaterat kan uttorkningen delas upp i självuttorkning och diffusionsuttorkning. Självuttorkningen påverkas av förändringarna i den moderna betongen på två sätt. Först och främst reduceras den kemiska bindningen av vatten på grund av utbyte av klinker mot tillsatsmaterial. Detta försämrar entydigt självuttorkningen jämfört med ren OPC. Effekten kommer att variera beroende på vilka tillsatsmaterial det rör sig om och hur mycket. Till detta tillkommer även skillnaden i lutningen av desorptionskurvan som förstärker känsligheten hos betongens relativa fuktighet med avseende på fukthalt. Detta innebär att viss skillnad i kemisk bindning kommer att ge en större skillnad i relativ fuktighet hos den moderna betongen än hos den gamla betongen från 1990-talet. Detta förstärker den negativa inverkan av reducerad kemisk bindning på självuttorkningen. Det är

Tabell 4: Utveckling över tid av rekommenderade vattencementtal för självuttorkande betong (kravnivå 85% RF).

År	Cement	Vattencementtal
1990	Std P	0.4
2000	Byggcement	0.38
2012	Bascement	0.32

kanske därför det rekommenderade vattencementtalet för självuttorkande betong från betongtillverkare har sänkts under årens lopp, se *tabell 4*.

När det kommer till diffusionsuttorkningen uppvisar den moderna betongen två olika faser i sitt beteende. Innan den någorlunda fullt utvecklat sin porstruktur fungerar den i princip som tidigare. Detta inträffar tidigt under hydratationen. När porstrukturen senare är väl utvecklad är den mycket tätare än för den gamla betongen. Då minskar transporten av fukt drastiskt och diffusionsuttorkning reduceras till en så låg nivå att den effektivt sett är satt ur spel. Flera exempel på diffusionsuttorkning med uppmätta transportkoefficienter från olika antagna grader av självuttorkning redo-visas i [11]. Uttorkningstider för att uppfylla normalt ställda krav på ekvivalent djup blir flera år i stället för flera månader.

Sammanfattning

Betongens sammansättning har genomgått en rad förändringar de senaste två decennierna, huvudsakligen drivet av ökat medvetande om dess miljöbelastning och försök att reducera den. Detta har resulterat i en betong med förändrad hydratation och struktur, vilket i sin tur har påverkat betongens fuktegenskaper:

- Kemisk bindning av vatten har blivit reducerad då klinker har bytts ut mot tillsatsmaterial som binder mindre mängd vatten per kg bindemedel.

- Sorptionskurvor har förändrad form, vilket medför att betongens relativa fuktighet i regel har blivit känsligare avseende förändring i fukthalt.
- Transportförmågan för fukt har reducerats avsevärt.

I praktiken innebär detta följande vad gäller uttorkningen:

- Självuttorkningen har försämrats. Detta har medfört att det av betongleverantörer rekommenderade vattencementtalet för självuttorkande betong har sänkts och cementhalten har ökat.
- Självuttorkningen har blivit mer beroende av hydratationsförloppets hastighet och temperatur. Detta är egentligen inget nytt fenomen, men förändringar i sorption hos den moderna betongen har förstärkt det till en nivå som är klart märkbar i praktiken.
- Diffusionsuttorkningen har reducerats kraftigt och ibland i princip helt satts ur spel. Det är antagligen därför en del upplever att extra uttorkningsåtgärder, som sätts in några månader efter gjutning, värme kombinerad med luftavfuktare, inte får avsedd effekt inom förväntad tid. ■

Referenser:

- [1] *Inventering: Uttorkning av betong*, Ch. Svensson Tengberg, Slutrapport SBUF 13358, 2018
- [2] *Betongfunktion: Uttorkning*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, 2017, www.sbuf.se/ppb
- [3] *Självuttorkning av betong*, 2017, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, www.sbuf.se/ppb
- [4] *Diffusionsuttorkning av betong samt annat fuktutbyte med dess omgivning*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, 2017, www.sbuf.se/ppb
- [5] Finns det någon fördel med modern,

- tät betong?, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, 2018, www.sbuf.se/ppb
- [6] *Bascementet inmätt – PPB beräknar uttorkning*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, 2019, www.sbuf.se/ppb
- [7] *Självuttorkning och temperatur, dvs. hur man får uttorkning att fungera*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, 2019, www.sbuf.se/ppb
- [8] *Moisture transport and sorption in cement based materials containing slag or silica fume*, N. Olsson, L.-O. Nilsson, M. Åhs, V. Baroghel-Bouny, Cement and Concrete Research, 2018
- [9] *The effect of temperature on the hydration of composite cements containing limestone powder and fly ash*, K. De Weerd, M. Ben Haha, G. Le Saout, K. O. Kjellsen, H. Justnes, B. Lothenbach; Materials and Structures, 45 (2012)
- [10] *Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong*, M. Stelmarczyk, Rapp T., Hedlund H., Carlström S., Slutrapport SBUF 13197 & 13198, 2019
- [11] *Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial*, M. Stelmarczyk, Rapp T., Hedlund H., Slutrapport SBUF 13354, 2019
- [12] *Betonghandboken Material*, L.-O. Nilsson, Kap. 14., 1980
- [13] *Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste*, G. Hedenblad, TVBM-1014, Lund Institute of Technology 1993
- [14] *Effect of temperature on the microstructure of calcium silicate hydrate (C-S-H)*, E. Gallucci, X. Zhang, K.L. Scrivener, Cement and Concrete Research 2013

Fuktsamverkan i golvsystem med modern betong



Varför har vi dagens uttorkningskrav?

Olika typer av golvkonstruktioner fungerar på litet olika sätt och ställer fuktmässigt något olika krav. I denna artikel studeras det klassiska fallet med ytskikt limmar på betong med eller utan avjämning, se *figur 1: Ytskikt på betonggolvs, utan (vänster) resp. med (höger) avjämning.* Beroende på ytskiktets beskaffenhet, limmetodik och närvaro av eventuellt mellanliggande spärrskikt kommer utmaningarna med golvet fuktfunktion att variera. I artikeln betraktas det enklaste fallet, som i regel medför störst utmaning (fuktmässigt) – inga fukt- eller alkalispärrar och ett relativt tätt ytskikt.

Sättet på vilket vi arbetar med betongfukt i golv är nära kopplat till en specifik typ av risk. Scenariot bygger på en relativt öppen (avseende fukttransport) betong och ett relativt tätt ytskikt. När betongen torkar innan läggning av ytskiktet erhålls en typisk uttorkningsprofil, se *figur 2: När ytskiktet, som funktionellt sett är mycket tätare än betongen, appliceras fungerar det som ett lock.* Visserligen kommer en viss fukttransport att ske genom ytskiktet, men vad som händer mycket snabbare är en omfördelning av den kvarvarande fukten i betongen. Fukten från den fuktigare delen av konstruktionen kommer att flytta till den torrare tills det råder närmast konstant relativ fuktighet över hela betongtvärsnittet (omfördelning). Betongens yta blir alltså mycket fuktigare efter påläggning av ytskikt på grund av omfördelning av fukt i betongen. Detta kan medföra en direkt risk för ytskiktet och lim då hög fuktnivå i betongen möjliggör alkali-transport och kan resultera i hydrolys av bindemedel i limmet och/eller mjukgörare i ytskiktet och därtill hörande emissioner.

För att få kontroll över denna omfördelning och slutnivån för fukten i kontakt med ytskiktet har man infört begreppet *ekvivalent djup*, som krävställer var man mäter relativ fuktighet i betongen [1]. Det ekvivalenta djupet är valt så att vid en klassisk uttorknings-

Rutinmässigt tillverkade och väl fungerande golv, utan fuktproblem, är vad alla entreprenörer önskar sig – inga förseningar, uttorkningsproblem, extra åtgärder, osäkerhet eller senare sjuka hus. Varför upplevs situationen inte så idag? Har problemen med den moderna betongen att göra? Hur fungerar den egentligen i ett helt golvsystem med de andra materialen? Vad kan man göra åt problemen och går den moderna betongens täthet att utnyttja konstruktivt?

Som beskrivet i artikeln *Uttorkning och modern betong* (sid 12) har vi på senare år fått en betong med fuktegenskaper som skiljer sig från tidigare. För att vidare undersöka frågor som:

- hur fungerar den moderna betongen i samverkan med resten av materialen i ett golv?

- har vi vettiga uttorkningskrav?
 - har vi optimala produktionsprocesser för golv med den moderna betongen?
- är det nödvändigt att först titta närmare på hur fuktsamverkan mellan delmaterialen sker i ett golv med gammaldags betong och vad som ligger bakom gällande uttorkningskrav idag.



M.Sc. Marcin Stelmarczyk
The Green Dragon Magic



M.Sc. Ted Rapp
Sveriges Byggindustrier



Dr. Hans Hedlund
Skanska Sverige AB
Adj. Prof LTU



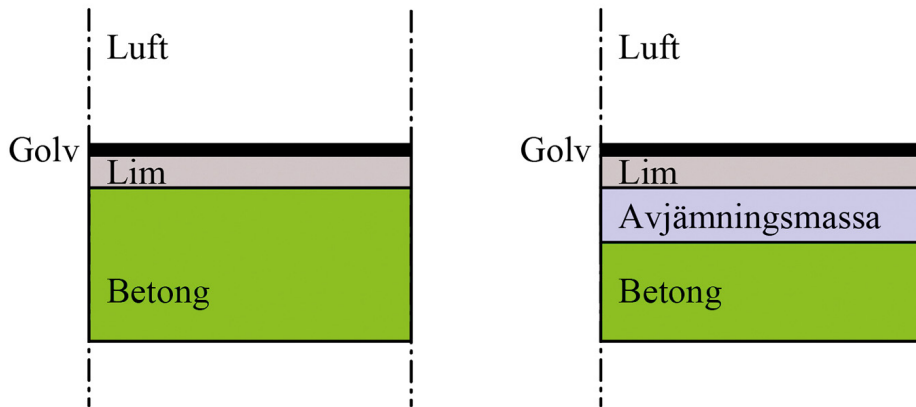
Staffan Carlström
Swerock AB

profil, skall den större mängden fukt under det ekvivalenta djupet och den mindre mängden fukt ovanför jämnas ut varandra under en total omfördelning. Den resulterande relativa fuktigheten i hela konstruktionen skall bli lika med

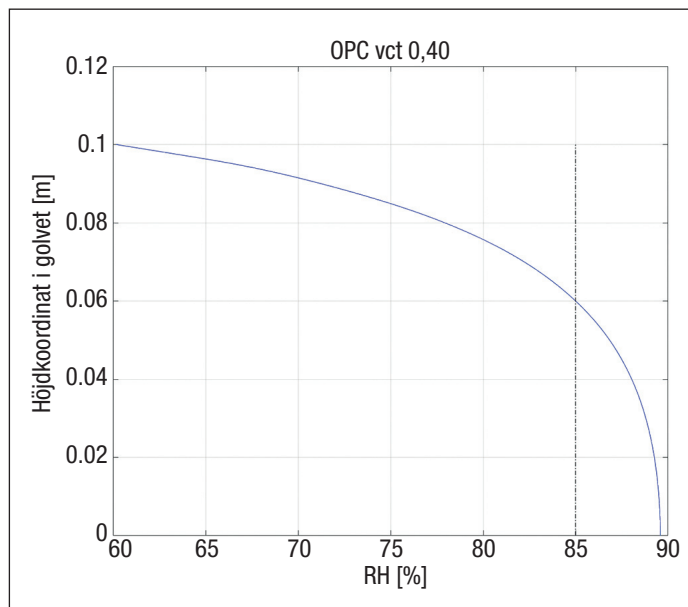
RF på det ekvivalenta djupet innan omfördelningen. I figur 2 blir det ekvivalenta djupet 4 cm och hamnar på höjdkoordinaten 0.06m.

Denna definition av ekvivalent djup möjliggör gardering mot att omfördel-

ning av fukt betong kommer att resultera i en relativ fuktighet vid ytskiktet som är för hög. Standardnivå för kritiskt RF, det vill säga 85%, har sedan testats fram [5]. Värt att notera är att hela resonemanget bygger på att ytskiktet är mycket tätare än betongen och i verkligheten fungerar som flaskhals för fukttransporten i golvet. Detta är en förutsättning för att en mer omfattande omfördelning av fukt under ytskiktet skall äga rum. En annan viktig observation är att de praktiska testerna som lett till 85% som kritisk nivå är utförda huvudsakligen under tidigt 90-tal med gammaldags betong, dvs. ren OPC som var relativt grovmald. Nu när grundidén bakom uttorkningskraven är genomlyst blir det intressant att titta på hurvida resonemangen i fråga fortfarande är relevanta för den moderna, mycket tätare, betongen.



Figur 1: Ytskikt på betonggolvet, utan (vänster) resp. med (höger) avjämning.



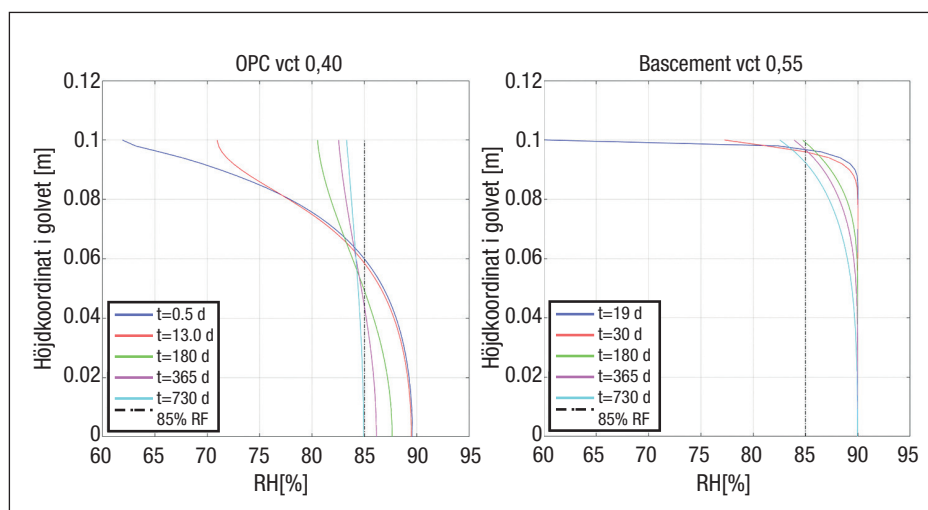
Figur 2: En typisk fuktprofil, relativ fuktighet för olika djup, efter ensidig uttorkning av 0.1m tjock betongplatta med relativt god fukttransportförmåga.

Hur mycket omfördelning blir det i den moderna täta betongen?

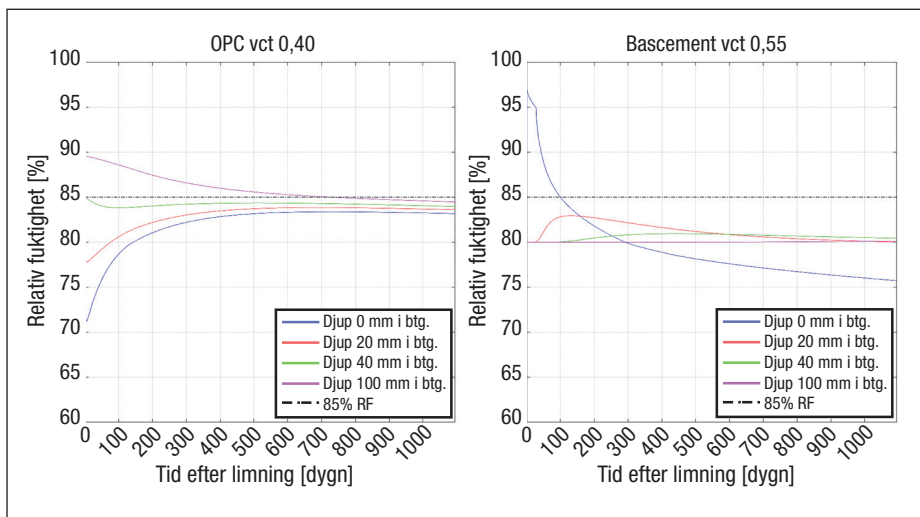
Låt oss först titta närmare på grundantagandet om omfördelning. I gammaldags betong skedde detta då betongen transporterade fukt mycket lättare än det täta ytskiktet. Hur blir det nu med en mycket mer tät modern betong? Jämförande simuleringar har utförts för dessa situationer i [3] samt [4] och resultatet visas i figur 3..

För betong med ren OPC ser vi inga nyheter precis. 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. Tittar vi på exemplet med betong med Basement blir det plötsligt mer intressant. För det första framgår av figuren att en omfördelning (fuktprofilerna skär varandra) äger endast rum i de översta millimetrarna av konstruktionen. För övrigt ser betongen ut att torka långsamt. För det andra ser vi att RF under ytskiktet inte överstiger 85% trots att betongen var dåligt uttorkad och hade 90% på ekvivalent djup vid mattläggning.

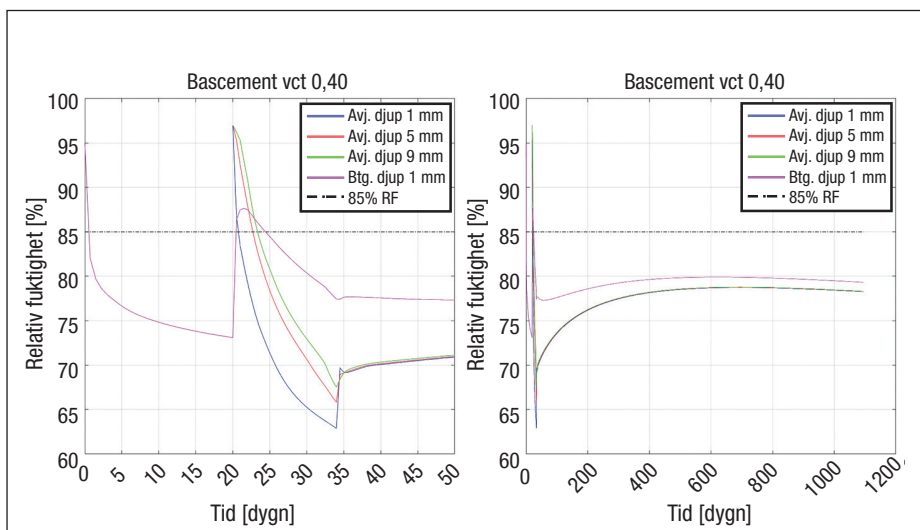
Denna skillnad i beteende hos bägge golven är rätt enkel att förklara med den moderna betongens täthet. Ytskiktet är i detta fall inte längre begränsande för fukttransport i golvet. Det är den täta betongen som övertagit rollen som flaskhals för fukttransport. Detta innebär att så länge betongen funktionellt sett är tätare än ytskiktet så hinner golvet torka snabbare genom ytskiktet än vad betongen hinner omfördela. Tar vi en tätare betong blir effekten ännu



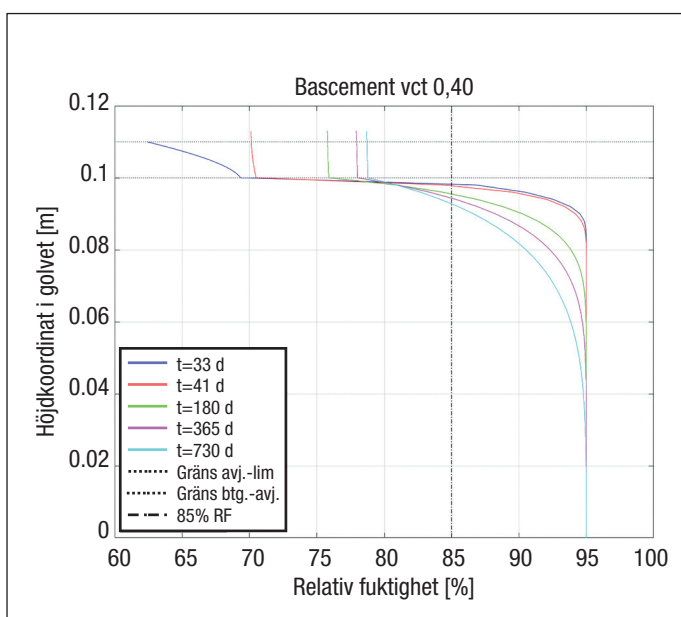
Figur 3: Fuktomfördelning efter limning av ytskikt motsvarande Tarkett iQ Optima med icke vattenbaserat lim på betong, fuktprofiler vid olika tidpunkter efter limning. Vänster – betong med OPC vct 0,40 ensidigt uttorkad till 85% RF på ekvivalent djup. Höger – betong med Basement vct 0,55 ensidigt uttorkad i 20 dygn i 60% RF från antagen själv-uttorkningsnivå på 90% RF.



Figur 4: Fuktomfördelning efter limning av ytskikt motsvarande Tarkett iQ Optima på betong med vattenbaserat lim, CascoProof Universal. Relativ fuktighet som funktion av tid för olika djup i betongen. Vänster – betong med OPC vct 0,40 ensidigt uttorkad i till 85% RF på ekvivalent djup. Höger – betong med Bascement vct 0,55 uttorkad till 80% RF i hela konstruktionen.



Figur 5: Relativ fuktighet som funktion av tid för olika djup i konstruktionen vid fuktomfördelning. Betong med Bascement vct 0,40, RF vid start ($t=0d$) är 95%, därefter uttorkning mot luft med RF 60%, därefter avjämning ($t=20d$) och vattenbaserad limning av ytskikt ($t=34d$). Vänster – startförlopp, höger – lång-siktig omfördelning.



Figur 6: Fuktprofiler i konstruktionen för olika tidpunkter under fuktomfördelning. Betong med Bascement vct 0,40, RF vid start ($t=0d$) är 95%, därefter uttorkning mot luft med RF 60%, därefter avjämning ($t=20d$) och vattenbaserad limning av ytskikt ($t=34d$).

större. För betong med Bascement och vct 0,40 och mattläggning vid 95% på ekvivalent djup överstigen RF vid ytskiktet inte heller 85%, se gärna [4]. Det gamla sättet att kravställa uttorkning missar helt enkelt vid användning av modern tät betong.

Hur blir det med fukt vid direktlimning?

Nästa relevanta fråga, som också är kopplad till fukttransport, har med direktlimning av ytskikt med vattenbaserat lim att göra. För att detta skall kunna fungera måste underlaget kunna ta hand om limfukten så att den relativa fuktigheten inte överstiger ett kritiskt värde vid ytskiktet under en alltför lång tid. Detta ställer krav på betongens porositet, förmåga till fukttransport samt relativa fuktighet. I [5] har man visat redan 1995 att betong med låg vct, självuttorkad till 85%, kan resultera i hydrolys i limskiktet och därtill hörande emissioner. Med en tätare modern betong borde problemet förvärras och det är precis vad simuleringarna från [4] visar i figur 4.

För betongen med OPC ser vi att RF under limmet ökar markant efter mattläggning men att dess maximala värde inte överstiger 85%. För betongen med Bascement, självuttorkad för säkerhets skull till 80% i hela tvärsnittet, fungerar inte buffringen av limfukt tillräckligt bra. Resultatet blir att RF under limskiktet överstigen 85% under cirka 100 dagar, trots en antagen nästan orimligt bra självuttorkning och väl uppfyllt uttorkningskrav. Detta öppnar upp för både dålig vidhäftning och möjliga emissioner. Förklaringen här har huvudsakligen med den låga fukttransporten att göra. Då betongen inte klarar av att transportera limfukten in i golvet, koncentreras mycket fukt i de översta millimetrarna av betongen. Detta driver upp RF högt över 85% och det tar tid innan fuktmängden hunnit antingen torra genom ytskiktet eller omfördelas djupare in i betongen. Då simuleringen utfördes med materialdata för vct 0,55 indikerar detta att problem med direktlimning med vattenbaserat lim på modern tät betong inte är begränsade till låga vattencementtal.

Kan man utnyttja tätheten?

Så här långt i golvresonemanget kan vi konstatera tre saker om den moderna täta betongen:

- Diffusionsuttorkning är satt ur spel, vilket gör uttorkning enligt gällande krav svårare



Figur 7: Pågående konceptverifiering inom SBUF 13560 där golvkonstruktioner med olika varianter av modern tät betong i kombination med avjämning och limmad matta testas. Avjämning och limning av matta utförs vid en RF i betongen som överstiger dagens uttorkningskrav.

- Förmåga till buffring av limfukt är nästa obefintlig, vilket omöjliggör direktlimning av ytskikt med vattenbaserat lim.
- Omfördelning av fukt under pålagt ytskikt sker inte i samma omfattning som för öppnare betong, då den moderna täta betongen funktionellt sett är tätare än ytskiktet.

De första två punkterna försvårar arbetet med den moderna betongen, som en del av ett golvsystem. Den tredje punkten öppnar upp möjligheter, men endast om vi tänker om i hur fuktens samverkan skall ske mellan golvmaterialen.

För att hantera buffringen av limfukt måste en porös golvavjämning läggas på betongen och därefter torkas ut väl. Detta är i sig inget problem då avjämningsmassor i regel är mycket öppnare än betong och transporterar fukten mycket bra. Frågan är nu om den moderna betongens täthet kommer att möjliggöra en tidig avjämning, innan uttorkningskravet för betong, 85% RF på ekvivalent djup, är uppfyllt. I *figur 5* och *figur 6* visas resultat av just en sådan simulering från [4]. Här antas 95% RF som grundnivå för självuttorkning i betongen och 20 dagars uttorkning mot luft, vilket initierar en liten uttorkningsprofil i den översta delen av betongen. Sedan läggs 10 mm Weber-floor 140 Nova på betongen och den får två veckor på sig att torka mot luft med 60% RF vid 20 °C. Därefter limmas Tarkett i Q Optima med CascoProff Universal.

I *figur 5* visas relativ fuktighet i de översta delarna av konstruktionen (avjämning och toppen av betongen) som funktion av tid. I *figur 6* återges fuktprofiler i konstruktionen för ett flertal tidpunkter. Av resultaten framgår att avjämnningen absorberar limfukten väl och att det sker en liten omfördelning av fukt i betongens översta skikt men inte på djupet. Konstruktionen övergår sedan mot långsam uttorkning. Det tar cirka 3 år innan man ser toppen på

relativ fuktighet i avjämnningen men den håller sig väl under 85%. Detta bör alltså kunna fungera i verkligheten. Med tanke på att betongens RF vid både avjämning och mattläggning var långt ifrån dagens krav är detta ett högst anmärkningsvärt och mycket intressant resultat. Det verkar finnas en klar möjlighet att enkelt komma till rätta med nackdelarna hos den moderna täta betongen och samtidigt utnyttja dess täthet konstruktivt i samband med golvproduktion. Det bör tilläggas att motsvarande simulering för betong med ren OPC vct 0,40 ger maximal RF i avjämnningen väl över 85% under lång tid även om betongen är bättre uttorkad (90% RF) än i fallet med Bascement, se [4] för fler detaljer.

Pågående konceptverifiering

Innan dessa resultat kan övergå till en standardmässig metodik och börja tillämpas rutinmässigt måste fler saker undersökas. Det som redovisas ovan är resultat av simulering av fuktstillstånd, som bygger på nyligen inmätta fundamentaldata för betongen och kända materialdata för de övriga materialen. Den huvudsakliga osäkerheten i simuleringen är hur lång tid efter gjutning som betongen får den höga tätheten, då den utvecklas successivt och ökar med tiden. Vidare räcker det inte med att verifiera endast fuktnivåerna utan det vore av stort värde att kunna kontrollera huruvida eventuell hydrolys i lim och/eller ytskikt har ägt rum genom emissionsmätning. Just sådana tester är igång i skrivande stund. Inom SBUF-projektet 13560 utförs försök där betongplattor gjuts med betong innehållandes de mineraliska tillsatsmaterial, som förväntas uppnå en täthet i önskad nivå. Dessa avjämnas innan de uppfyllt dagens uttorkningskrav och efter en god uttorkning av avjämnningen sker mattläggning, se *figur 7*. Försöken följs

upp med mätning av både fuktstillstånd i konstruktionen och eventuella emissioner.

Försöken omfattar även två fall med gammaldags betong utan mineraliska tillsatsmaterial, som används som referens för jämförelse.

Sammanfattning

Vi kan med säkerhet konstatera att den moderna täta betongen uppför sig på ett annat sätt än gammaldags betong i ett helt golvsystem tillsammans med andra material. Det finns enkla skillnader så som långsammare uttorkning samt obefintlig förmåga till buffring av limfukt. Det finns även en mer komplex skillnad då betongens täthet medför att ytskiktet inte längre är den begränsande faktorn för fukttransport i golvet, vilket i sin tur resulterar i att klassisk omfördelning av fukt i betong inte äger rum i nämnvärd stor omfattning.

I praktiken kan buffringen av limfukt lätt återställas i golvet genom ett lager porös avjämning som får torka ut väl. Simulering har även visat att tätheten går att utnyttja konstruktivt. Då omfördelningen av fukt inte sker i större skala blir dagens uttorkningskrav missvisande och felaktigt ställt. Det bör kunna gå att avjämnas och limma matta innan 85% RF uppnås på ekvivalent djup. Detta medför att värdefull uttorkningstid kan flyttas från betongen till avjämnningen och att hela produktionsprocessen skulle kunna snabbas upp.

Praktiska försök pågår för verifiering av detta koncept där både fuktnivåer och emissioner kontrolleras. I en snar framtid bör vi kunna sikta på mer effektiv golvproduktion med bibehåller fuktsäkerhet tack vare den moderna täta betongen. Det krävs dock att vi anpassar gamla arbetsmetoder till våra nya material. ■

Referenser

- [1] RBK, Manual – Fuktmetning i betong, version 6:1, 2019
- [2] Diffusionsuttorkning av betong samt annat fuktutbyte med dess omgivning, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, 2017, www.sbuf.se/ppb
- [3] Finns det någon fördel med modern, tät betong?, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, 2018, www.sbuf.se/ppb
- [4] Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial, M. Stelmarczyk, Rapp T., Hedlund H., Slutrapport SBUF 13354, 2019
- [5] Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning, H. Wengholt Johnsson, Chalmers Tekniska Högskola 1995

PPB räknar på fukt



dermed tyvärr gör att mätningar av förloppet inte är möjliga med dagens tillgängliga mätmetoder. Därför påbörjas simulering av sorption och transport av fukt i PPB först 14 dagar efter gjutning. I beräkningen ingår även värme- och fuktsamverkan med anslutande material. Detta modelleras olika för fukt och värme. Sammanfattar vilka slags resultat som beräknas för olika typer av konstruktionsdelar i den simulerade konstruktionen.

Beräkningskärnan i PPB klarar idag av att simulera fuktflöde i en dimension. För närvarande går det att räkna på uttorkning av mittensektioner av följande konstruktioner, se även *figur 1*:

- Bjälklag, med konventionell eller kvarsittande form
- Platta på mark, med eller utan isolering

Inom en snar framtid kommer dessa att kompletteras med plattbärlag samt vidare simulering av avjämning och pålimning av ytskikt.

Hur modelleras betongens fukt beteende?

PPB utgår inte från någon förenklad eller idealiserad syn på vare sig betongens hydrationsförlopp eller mer renodlad fuktfenomenologi så som sorption och transport. Som tidigare nämnt gör den moderna betongens känslighet att temperaturutvecklingen under hydratationen måste simuleras någorlunda väl, då skillnaden i ett typiskt förlopp under en sommar- resp. vintergjutning kan ge signifikant skillnad i självtuttorkning. För att klara av detta utförs i PPB en kombinerad beräkning av temperatur och fukt där både värmeledningsekvationen och massflödesekvationen löses parallellt. Dessa beräkningar bygger på resultat av en omfattande revidering av materialmodellerna för olika aspekter av fuktens beteende.

Hydrationsmodellen är nyutvecklad. Den bygger på en rad gamla kunskaper avseende olika beroenden. Samtidigt har den en ny grundstruktur. Detta tillåter en enhetlig beskrivning av temperaturens inverkan på både hydratationens hastighet och hydratationens effektivitet avseende kemisk bindning

Den moderna täta betongen och dess förändrade fuktegenskaper ställer nya krav på verktyg för prediktering av uttorkning. Andra generationen av datorprogrammet Produktionsplanering Betong (PPB) med kapacitet att simulera både temperatur- och fuktillstånd i hårdnande betong har funnits tillgängligt sedan december 2018. PPB beräknar uttorkning för flera konstruktionsfall, med moderniserade materialmodeller och nyligen uppmätta materialdata för betong med Bascement.

PPB 2.0 finns tillgänglig sedan slutet av 2018. Programmet har fått en ny beräkningskärna som samtidigt simulerar både temperatur- och fuktillstånd i betong under härdning. Detta är nödvändigt då den relativa fuktigheten i den moderna betongen är känsligare med avseende på fukthalt, se resonemanget om flackare desorptionskurvor i artikeln Uttorkning och modern betong (se sid 12) eller [1]. Detta leder till att bland annat härdningsförloppets hastighet och temperatur, som påverkar hur effektivt vatten binds kemiskt av cementet [2], får en signifikant effekt på självtuttorkningen [4]. Utan adekvat värmesimulering av

de första veckorna efter gjutning blir den beräknade självtuttorkningen helt enkelt fel.

Vad beräknas i PPB?

PPB simulerar vad som hydrationsmässigt sett händer i betongen från gjutningsögonblicket. Detta innebär beräkning av genererad värme, kemiskt bindning av vatten, tillväxt av hållfasthet mm. Under den första tiden efter gjutning byggs största delen av betongens porstruktur upp. Detta medför att egenskaper så som sorption och transportförmåga för fukt ändras mycket snabbt och drastiskt under denna period, vilket



M.Sc. Marcin Stelmarczyk
The Green Dragon Magic



M.Sc. Ted Rapp
Sveriges Bygginindustrier



Dr. Hans Hedlund
Skanska Sverige AB
Adj. Prof LTU



Staffan Carlström
Sverock AB

av vatten, värmegenerering samt hållfasthetstillväxt.

När det kommer till fysikalisk bindning av vatten, det vill säga sorption, har höjd

tagits för att konstruktionen inte bara utsätts för uttorkning. Den nya modellen klarar av att beskriva sorptionsbeteendet inklusive så kallade hysteres, det vill säga

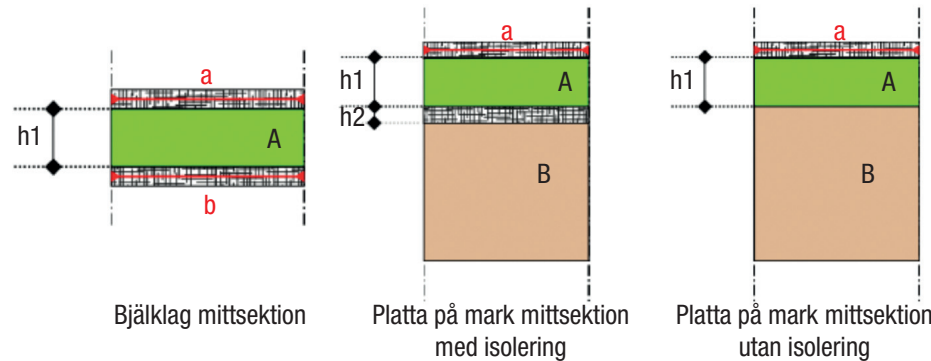
både under uttorkning (desorption), uppfuktning (absorption) och växlingar däremellan (skanning), för exempel se *figur 2*. I beräkningen tas även hänsyn till temperaturens inverkan vid sorption då effekter av kapillär kondensation förskjuts termodynamiskt korrekt med avseende på temperatur.

Modelleringen av fukttransporten liknar till stor del modelleringen av sorption och delar av matematiken bakom återanvänds. Även här tas hänsyn inte bara till gällande relativ fuktighet utan även till temperatur och eventuell temperaturgradient. Transportmodelleringen tar även hänsyn till hysteres, då det visats vetenskapligt att sådant beroende förekommer [8].

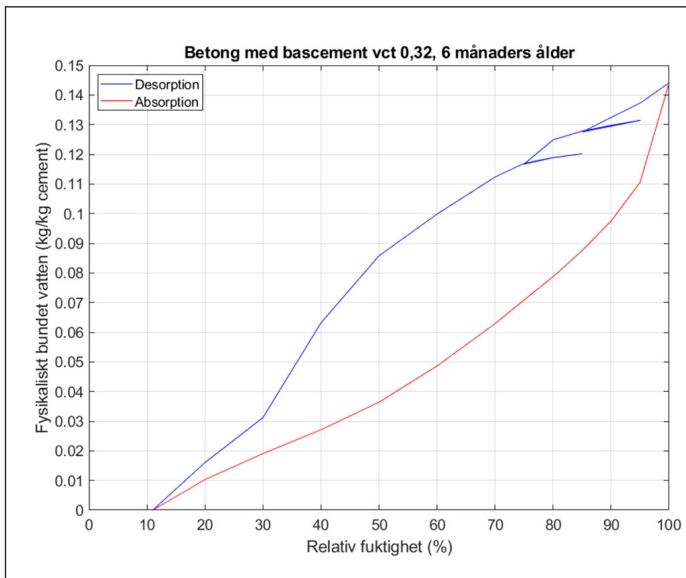
Hänsyn tagen till hysteres i både sorption och transport möjliggör simulering av mer komplicerade fall där betongen utsätts inte bara för idealiserad uttorkning utan även för uppfuktning på grund av till exempel regn eller kontakt med andra material. Det senare fallet kommer att utnyttjas i nästa version av PPB vid simulering av avjämning och mattläggning. En detaljerad beskrivning av materialmodellerna kommer att publiceras i en kommande doktorsavhandling.

Resultattyp	Beräknas i	Beräknas fr.o.m.
Temperatur	Hela konstruktionen	Gjutning
Mognadsålder	Ung betong	Gjutning
Tryckhållfasthet	Ung betong	Gjutning
Relativ fuktighet	Ung betong	14 dagar efter gjutning
Ånghalt	Ung betong	14 dagar efter gjutning
Ångans partialtryck	Ung betong	14 dagar efter gjutning
Fysikaliskt bundet vatten	Ung betong	14 dagar efter gjutning
Kemiskt bundet vatten	Ung betong	Gjutning

Tabell 1: Olika resultattyper som beräknas i PPB.



Figur 1: Typfall i PPB för fuktberäkning



Figur 2: Fysikaliskt bundet vatten, vikt per vikt cement, vid 20 °C som funktion av relativ fuktighet för betong med Bascement vct 0,32 och 6 månaders ålder, vid desorption inkl. två skanning-loopar och absorption, från 5.

Materialdata för betong med Bascement

Materialdata som PPB använder för fuktberäkningar baserar sig inte bara på förenklade uttorkningsmätningar utan på storskalig uppmätning av fundamentalegenskaper. Kemisk bindning av vatten, sorption, transport samt även andra hydratationsegenskaper har uppmätts var för sig. Sedan har dessa lagts ihop i en gemensam simulering och justerats mot uppmätta uttorkningsresultat.

PPB kan för närvarande beräkna uttorkning för 7 olika recept med vct mellan 0,32 och 0,55 för betong med Bascement, se *figur 3*. För mer information om materialdata bakom PPB se [3] samt [5].

Namn	Cementtyp	Hållklass	Vct_ekv	Kons.klass	Dmax (mm)
Cementa Bascement (fukt)					
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 28/35	0,55	S4	16
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 32/40	0,50	S4	16
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 35/45	0,45	S4	16
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 45/55	0,40	S4	16
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 50/60	0,38	S4	16
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 54/65	0,35	S4	16
Cementa Bascement (fukt)	CEM II/A-V	C 58/70	0,32	S4	16

Figur 3: Databas med betongrecept för fukt-simulering i PPB.

Hur beskrivs konstruktionen och omgivningen?

Fuktsimuleringar hanteras i PPB på samma sätt som de tidigare implementerade värmesimuleringarna. Inmatning av konstruktionsuppgifter, val av materialdata och beskrivning av randvillkor följer samma struktur som i värmedelen och mycket av användargränssnittet återanvänds. För närmare beskrivning av dessa hänvisas till tidigare artiklar [6] samt [7] samt manualen i PPB, se *figur 4*.

Det som huvudsakligen tillkommer

vid inmatningen till fuktberäkningen är en mer omfattande och komplex specifikation av vad som händer runt betongen, det vill säga de så kallade randvillkoren. Det tillkommer fler uppgifter jämfört med värmesimuleringen. Omgivande temperatur och eventuell vindstyrka behöver kompletteras med relativ fuktighet och eventuell nederbörd. Beskrivningen behöver dessutom täcka en mycket längre tidperiod än de 2–4 veckorna efter gjutning som en normal värmesimulering omfattar.

För att hantera denna utmaning specificeras randvillkoren för fukt genom att väderleken anges för sig och eventuella åtgärder som förändrar miljö, till exempel tätt hus eller uttorkningsklimat, för sig, se *figur 5* för exempel. Väderleken kan specificeras manuellt om man känner till den. Då uppger man lufttemperaturen, vindstyrkan och om-

givande relativ fuktighet som antingen konstanta värden eller som funktioner av tid. Känner man inte till det exakta värdet kan man använda sig av normalvärden från 2007 års väder. Statistik från SMHI bifogas i PPB och används genom val av ort och datum för gjutning, vilket styr årstid för väderleken. Man kan även kombinera dessa två beskrivningar genom att först beskriva vädet manuellt, till exempel enligt en gällande prognos, och sedan efter ett antal dagar övergå till SMHI:s klimatdata.

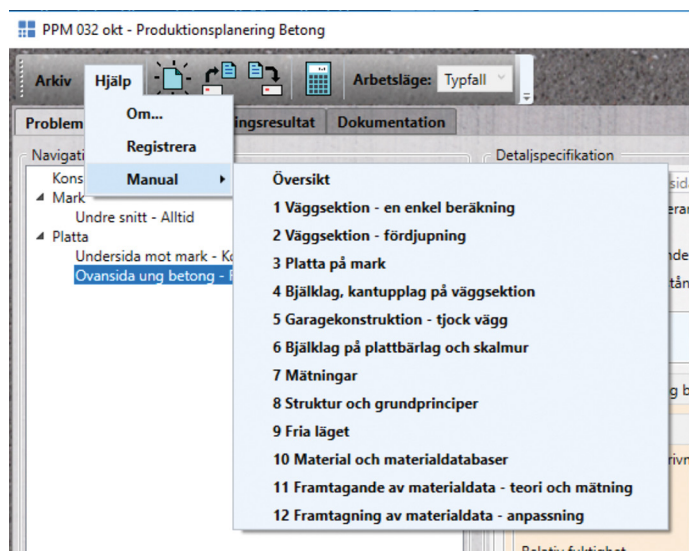
Styrning av den omgivande miljön som förekommer på byggarbetsplatser delas i PPB in i tre åtgärder: tätt hus, torkningsklimat och inomhusklimat. Tätt hus tar bort inverkan av nederbörd och vindstyrka. Vid torkningsklimat tillkommer även möjlighet att påverka temperaturen (absolut värde eller en differens mot utomhustemperatur) och

relativ fuktighet (absolut värde eller differens i fukthalt mot utomhus). Inomhusklimatet liknar torkningsklimatet men möjliggör specifikation av andra värden. Man kan välja att använda en eller flera av dessa efter varandra. Väderleken specificeras gemensamt för hela konstruktionen. Styrning av den omgivande miljön kan specificeras olika på till exempel olika sidor om ett bjälklag. Till dessa tillkommer även andra uppgifter som anges för olika konstruktionsränder redan i värmedelen, så som täckning, form och isolering, formrivning med mera.

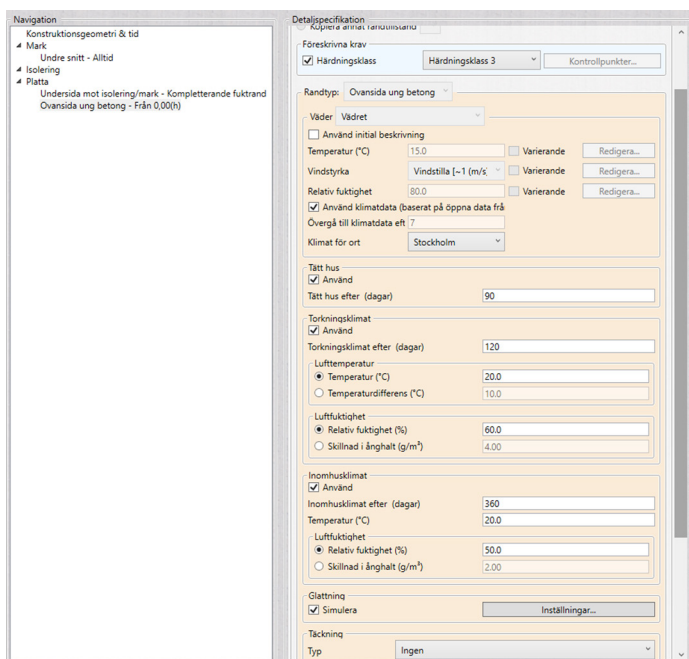
Vilka diagram får man se?

Även presentation av beräkningsresultat fungerar på samma sätt som i en värmesimulering. Den huvudsakliga skillnaden är att det finns fler resultat att studera, jämför *tabell 1*. I vanlig ordning erbjuder PPB både kurvdiagram och färgkartor. Kurvdiagrammen kan visa kurvor för olika konstruktionsdelar (min, max och medel) eller exakta värden för olika djup i konstruktionen, se *figur 6*. Färgkartorna samt möjlighet till tidsanimering erbjuder en snabb överblick avseende var och när saker sker i konstruktionen, se *figur 7*.

Presentationen av resultaten kan varieras på olika sätt. Man kan styra vilka kurvor som visas eller definiera helt egna kurvdiagram. Man kan också visa diagram för olika resultat typer bredvid varandra, till exempel relativ fuktighet och temperatur, för bättre förståelse av vad som pågår i konstruktionen. Precis som vid värmesimulering kan man spara undan vyer från diagrammen och tillsammans med indata få dem sammanställda i en rapport som enkelt kan skrivas ut.



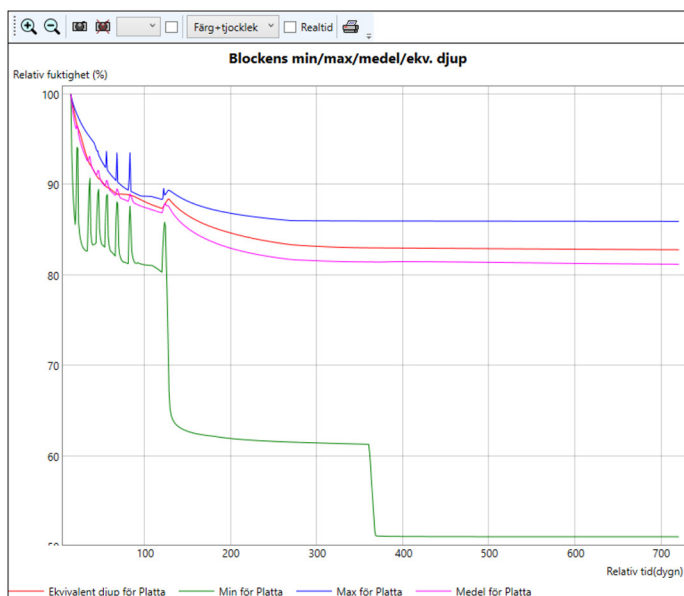
Figur 4: Menyn Hjälp -> Manual -> ... med manualens alla delar.



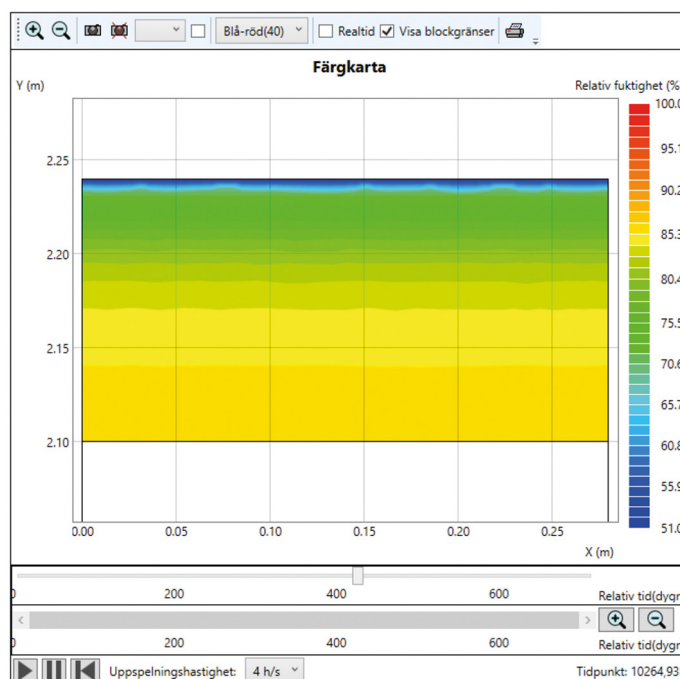
Figur 5: Fuktspecifik information för ovansidan hos en platta på mark.

Vad är på gång just nu?

Det har nyligen startats två nya SBUF-projekt, 13710 och 13711. Det ena kommer att vidareutveckla användargränssnittet för fuktdelen i PPB och möjliggöra en mer avancerad och flexibel styrning och visualisering av väder. Explicit övervakning av uttorkningskrav kommer att läggas till och manualen kommer att utökas till att omfatta hela fuktdelen. Det andra projektet kommer att implementera fuktsimulering för senare steg i produktionsprocessen. Efter uttorkning av betong till önskad nivå kommer man kunna simulera avjämning och uttorkning av densamma samt senare mattläggning. Plattbärlag kommer att implementeras som nytt typfall för fuktberäkning och stöd för



Figur 6: Kurvdiagram med relativ fuktighet, översikt med kurvor för ekvivalent djup samt för max-, min- och medelvärde i konstruktionen.



Figur 7: Färgkarta med relativ fuktighet i konstruktionen, i figuren visas RF-fördelningen i betongen vid en viss tidpunkt, i PPB kan färgkartan animeras för att visa hur värdet förändras i tid.

jämförelse med mätdata kommer att byggas in. Dessa projekt förväntas frisläppa en ny version av PPB kring årsskiftet 2019/2020.

Sammanfattning

Med *Produktionsplanering Betong* kan beräkningar utföras avseende uttorkning för bjälklag och platta på mark. Beräkningen tar hänsyn till fler parametrar och beroenden än vad tidigare verktyg klarat av. Detta möjliggörs av reviderade och nyutvecklade materialmodeller samt en omfattande inmätning av fundamentalegenskaper för betong med Bascement. Programvaran erbjuder samma flexibilitet i arbete med indata och beräkningsresultat som för PPB:s värmesimulering inkl. beräkning inte bara av relativ fuktighet utan även

flera andra fuktrelaterade resultat-typer.

Det pågår redan en vidareutveckling av den nuvarande versionen till att omfatta fler typfall och även simulering av fuktillstånd under senare steg i golvkonstruktionen, så som avjämning och mattläggning. ■

Referenser

[1] *Självuttorkning av betong*, 2017, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, www.sbuf.se/ppb
 [2] *Effect of temperature on the microstructure of calcium silicate hydrate (C-S-H)*, E. Gallucci, X. Zhang, K.L. Scrivener, Cement and Concrete Research 2013
 [3] *Bascementet inmätt – PPB beräknar uttorkning*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, 2019, www.sbuf.se/ppb

[4] *Självuttorkning och temperatur, dvs. hur man får uttorkning att fungera*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, 2019, www.sbuf.se/ppb

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

[6] *Hett97 är död – länge leve PPB!*, H. Hedlund, M. Stelmarczyk, T. Rapp, J.-E. Jonasson, Bygg & teknik nr 7 2014

[7] *Entreprenörer sparar pengar med PPB!*, M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, J.-E. Jonasson, Bygg & teknik nr 7 2016

[8] *Moisture diffusion coefficients of mortars in absorption and desorption*, M. Saeidpour, L. Wadsö, Cement and Concrete Research, 2016.

■ BYGGFRÅGAN

Lektor Öman frågar...



Robert Öman
 lektor i byggnadsteknik
 vid Mälardalens Högskola
 i Eskilstuna och Västerås
 www.mdh.se

Robert Öman, lektor i byggnadsteknik vid Mälardalens Högskola i Eskilstuna och Västerås, är här igen med en ny Byggfråga.

Frågans poäng framgår, eftersom det säger en hel del om hur utförligt svar som förväntas, där till exempel 1 p kan motsvara bara ett namn medan till exempel 10 p motsvarar en fråga som kräver ett ganska långt svar. Svaret hittar du i det här numret på sidan 61.

Fråga (5p)

Utgå från ett vardagsrum i en vanlig villa som värms med radiatorer och som ventileras med mekanisk frånluft. Frågan handlar om att jämföra det termiska inneklimatet för en typisk dag i augusti jämfört med en typisk dag i januari, där man förutsätter att lufttemperaturen inne är densamma i augusti som i januari.

Ange och förklara av vilka olika orsaker som det termiska inneklimatet kan upplevas annorlunda i augusti jämfört med i januari. Använd begreppet ekvivalent temperatur som ett kompletterande hjälpmedel för din förklaring.