

Februari 2021

Få grepp om fukt under produktionen av hela golvsystemet



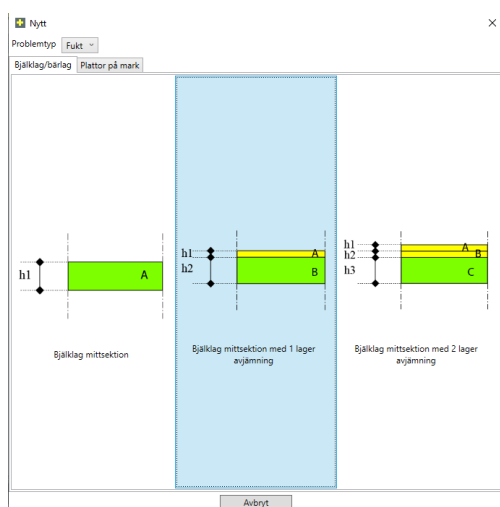
BYGGFÖRETAGEN
➤ Produktionsplanering betong

Få grepp om fukt under produktionen av hela golvsystemet

Nu är det möjligt att prediktera fuktförloppet under produktionen av hela golvet då Produktionsplanering Betong version 3.0 kan simulera både avjämnning och golvläggning. Programmet har dessutom fått stöd för övervakning av uttorkningskrav i beräkningar samt jämförelse av prediktering med uppmätta fuktnivåer. Användargränssnittet har fått omfattande förbättringar avseende olika, inte bara fuktrelaterade funktioner. Manualen har blivit omarbetad och omfattar numera hela fuktdelen.

Avjämnning

Tidigare beräknade PPB fuktillstånd endast för betong. Beräkningen startade vid gjutningen och omfattade hårdnandet samt senare uttorkning i olika faser. Detta har förändrats i version 3.0. Det är numera möjligt att låta beräkningen omfatta även senare steg i golvproduktionen. Om man vill ta med avjämnningen i simuleringen finns det nya typfall för både bjälklag (se Figur 1) och platta på mark där avjämningsmassa kan läggas på i ett eller två lager.



Figur 1. Typfall för fuktberäkning för bjälklag, numera med möjlighet till avjämnning.

Avjämningslagret hanteras som ett separat materialblock med sina resp. egenskaper, se Figur 2. De huvudsakliga valen handlar om vilken avjämningsmassa som används, huruvida primer används och i så fall vilken samt starttemperaturen för avjämningsmassan. Tidpunkten då avjämningsmassan läggs på kan anges på olika sätt. Man kan välja en fast tidpunkt. Det går också att koppla avjämningslagret till uppfyllande av ett uttorkningskrav i den underliggande betongen och då beräknas tidpunkten automatiskt av PPB (se mer om uttorkningskrav längre ner i texten). Om man väljer att avjämna i två separata lager kan det andra lagrets avjämningslagret anges med fördröjning efter det första. Detta är särskilt lämpligt då man låter PPB beräkna det första lagrets avjämningslagret baserat på den underliggande betongens uttorkning.

Block: Avjämning

☐ Ung betong

☐ Hantera alla randsegment som en rand

Föreskrivna krav enligt handlingar

☒ RF <= (%)	75.0	Säkerhetsmarginal (%)	3.0	Medel
---	------	-----------------------	-----	-------

Nytt: RF <= X (%) på djup (mm) Ta bort

Blocktyp: Avjämning

Material

Avjämningsmassa: Weberfloor 130 Core (PPB 2020.11.11)

☒ Använd primer: Weberfloor 4716 Primer (PPB 2020.11.11)

Avjämningsförfarande

☒ Vid uppfyllande av uttorkningskrav för Bjälklag

☒ Relativ fuktighet(ekvivalent djup) <= 82.0 (%)

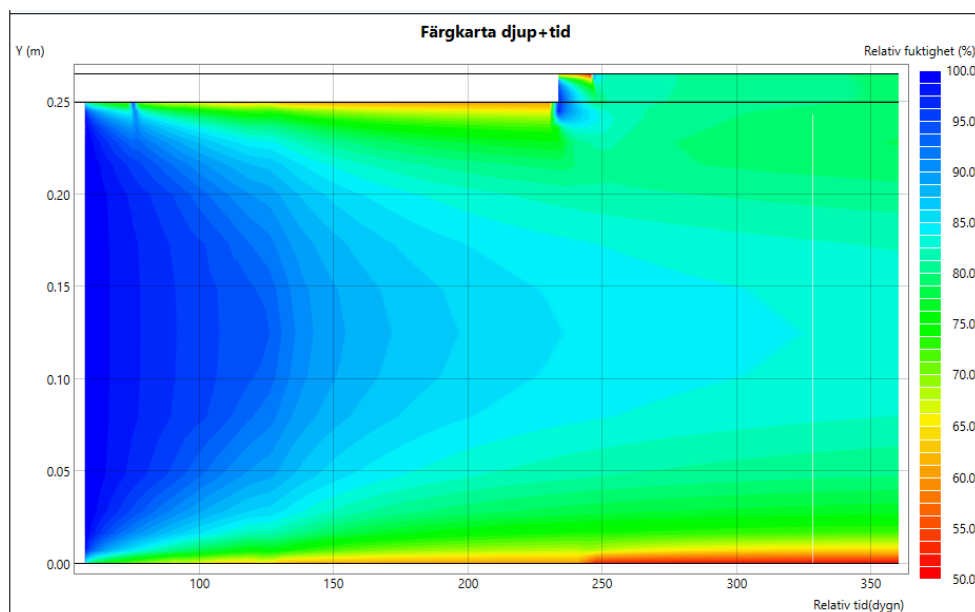
☐ Fast tidpunkt: 8m

Startvillkor

Temp. (°C): 20

Figur 2. Specifikation av avjämningslager

Produktionsplanering betong kommer under simuleringen att beräkna temperatur- och fuktillståndet i avjämningsmassan. Detta inkluderar relativ fuktighet, ånghalt, partiellt ångtryck samt mängd fysikaliskt bundet vatten i avjämningsmassan. Presentationen av dessa resultat sker med samma diagram som för den underliggande betongen. Exempel på detta ges i Figur 3. Färgkartan har tiden på x-axeln och golvet tjocklek på y-axeln. Den är färgad efter RF. Vid ca 233 dygn ser man att avjämningsmassan sker och att simuleringen därefter omfattar hela golvet.



Figur 3. Färgkarta djup+tid avseende relativ fuktighet för ett 250 mm tjock bjälklag som belagts med 15 mm avjämning vid uppfyllande av 82% RF på ekvivalent djup i betongen (ca 7 månader och 23 dygn efter betongens gjutning).

För närvarande finns det endast data för en avjämningsmassa men fler är på gång.

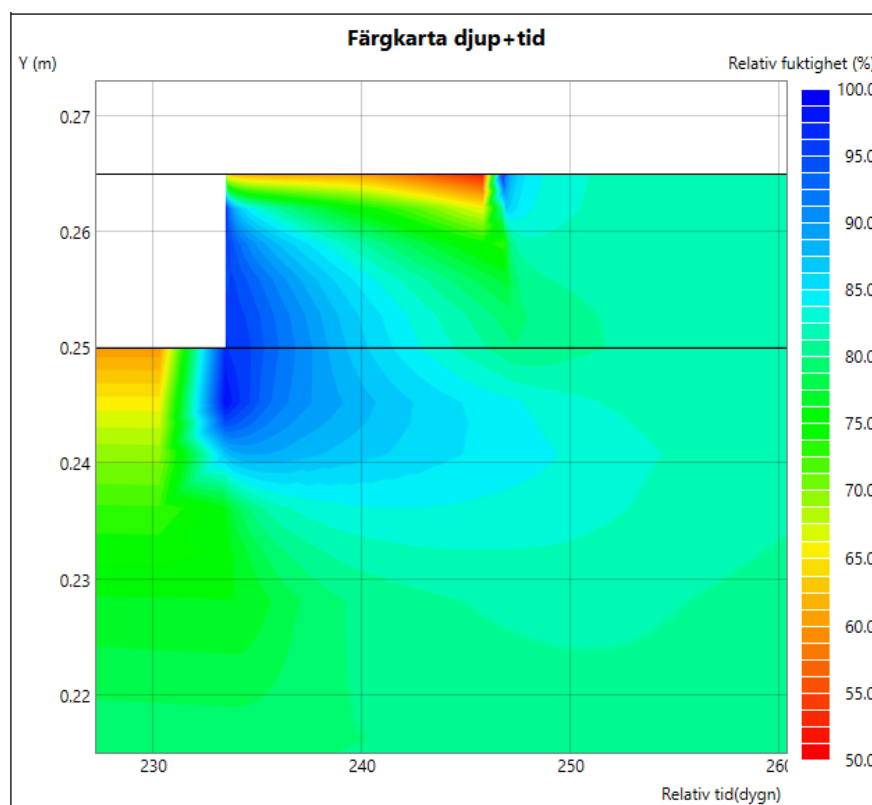
Golvläggning

En annan viktig del av hela golvsystemet är påläggning av ytskiktet. Täta ytskikt tillsammans med vattenbaserade lim påverkar fuktillståndet i de underliggande materialen, vilket kan bidra till risken för alkalisk nedbrytning av bindemedel i lim och/eller mjukgörare i ytskikt med oönskade effekter som följd. I PPB version 3.0 kan fuktillståndet efter golvläggning predikteras, se Figur 4.

A software window titled 'Golvläggning' with several settings. Under 'Golvläggning', 'Utför' is checked. 'Ytskikt' is set to 'Forbo Sphera (PPB 2020.11.04)' and 'Lim' is set to 'CascoProff Universal (PPB 2020.11.04)'. There are two radio buttons: 'Vid vald tidpunkt' (set to '9m') and 'Vid uppfyllda uttorkningskrav' (which is selected). Below this, a section titled 'Uttorkningskrav för Avjämning som styr golvläggning' contains a checked checkbox for 'Relativ fuktighet(medel) <= 72.0 (%)'.

Figur 4. Specifikation av detaljer för beläggning av ytskikt.

Golvkonstruktionen kan beläggas med olika ytskikt.. Det är möjligt att applicera ytskiktet direkt på betong eller på avjämning. Man väljer mellan olika ytskikt och ev. limmer. I databasen finns det mer konventionella ytskikt som limmas men även lösliggande. När det gäller limmer finns det både vattenbaserade och icke vattenbaserade. Man anger tidpunkten för golvläggning på ett liknande sätt som för avjämning. Man kan välja en fast tidpunkt eller låta PPB beräkna tidpunkten baserat på när ett uttorkningskrav i det underliggande skiktet, betongen eller avjämningen är uppfyllt



Figur 5. Förstoring av figur 3 visandes fuktförlopp vid avjämning (ca 233 dygn) samt golvläggning (ca 246 dygn).

I Figur 5 visas inverkan av golvläggning som sker vid ca 246 dygn. Efter avjämning syns tydligt en uttorkning av avjämningsmassan mot luft ovanför samt spridning av dess fukt samt primerfukten ner i den underliggande betongen. Vid golvläggning förändras fukttillståndet i avjämningen. Den lilla blåa kilen vid 246 dygn är inverkan av limfukten som omfördelas för att senare övergå i långsammare uttorkning genom ytskiktet.

Krav på uttorkning

- PPB har tidigare erbjudit möjligheten att övervaka krav på bl.a.
- hållfasthetsutveckling, t.ex. hållfasthetsklass eller en specificerad hållfasthet i MPa.

Senaste versionen av mjukvaran erbjuder möjligheten att övervaka uttorkningskrav. Ett eller flera uttorkningskrav kan anges för betong och/eller avjämning, se Figur 6.

Dimensionerande exponeringsklass / vct_ekv: X0 / ---

T max (°C): 60.0

RF <= (%): 85.0 Säkerhetsmarginal (%): 3.0 Ekvivalent djup

Nytt: % av fordrad 28-d. hållf. Ta bort

Blocktyp: Hållfasthet X (MPa)

Material: Mognadsålder X (h)

RF <= X (%) på djup (mm)

Cement: RF <= X (%) på djup (% av tjocklek) 397.0

Fcc28d (M): RF <= X (%) medel 40.0

RF <= X (%) max

Original (Originaldata)

Färska betongmassans temperatur i formen

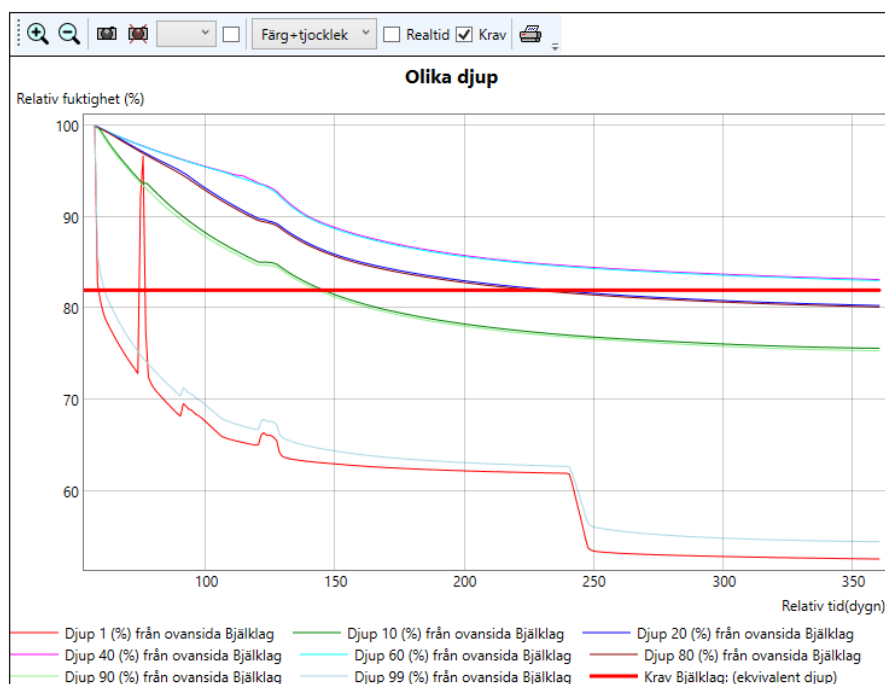
Figur 6. Specifikation av uttorkningskrav för betong, dels med standardkrav för ekvivalent djup och dels med möjlighet att lägga till fler egna krav.

Kraven kan specificeras för:

- Ett specifikt djup i konstruktionsdelen
 - ekvivalent djup i betong
 - mm eller % av tjockleken
 - används som standard för betong men kan användas även för avjämning
- Ett värde för hela konstruktionsdelen
 - snitt eller maximalt värde
 - används som standard för avjämning men kan användas även för betong

Kravnivån anges som % RF. Man får även ange en separat säkerhetsmarginal, som bör väljas med hänsyn till osäkerheten i mätmetoden man senare tänkt använda för verifiering av uttorkningen i den verkliga konstruktionen.

PPB övervakar de specificerade kraven under beräkningen och redovisar om och när de uppfylls i resultatlistan på samma sätt som andra krav redovisas. Man kan även visualisera de specificerade kravnivåerna i kurvdiagrammen för jämförelse med de beräknade resultaten, se Figur 7.



Figur 7. Kurvdiagram för RF med visualiserad nivå för uttorkningskrav.

Uppmätta fuktnivåer

Tidigare erbjöds för hållfasthetsberäkningar möjligheten att läsa in uppmätta temperaturförlopp för jämförelse av det predikterade och det verkliga hydratationsförloppet. På ett liknande sätt kan PPB numera hantera uppmätta fuktnivåer, se Figur 8.

Mätningar

Mätpunkter

Platta: Djup 40 (mm)

Ny mätpunkt... Ta bort mätpunkt

Mätpunkt i block: Platta

Beskrivning

☐ Medel för blocket ☒ Djup (mm) 40

Tidpunkter

Datum och tid	Uppmätt RF (%)	Mätosäkerhet +/- (% RF)
2021-03-30 09:00:00	85.3	2.1
2021-04-30 09:00:00	82.6	2.2

Ny tidpunkt... Ta bort tidpunkt

Figur 8. Inmatning av uppmätta fuktnivåer vid två olika tidpunkter för en och samma punkt i konstruktionen.

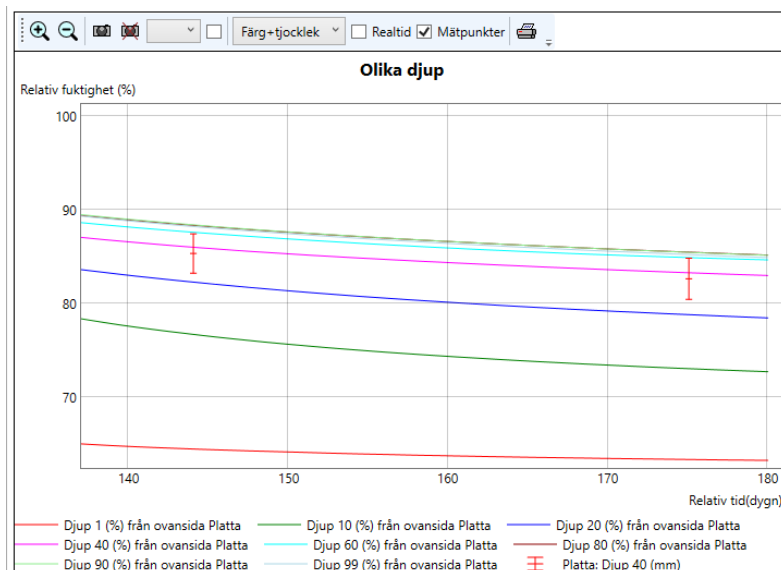
Man definierar en eller flera mätpunkter för konstruktionsdelar av betong och/eller avjämning. Varje mätpunkt har antingen ett djup i konstruktionen, vilket passar monterade givare i betong, eller motsvarar ett snittvärde för ett uttaget prov från avjämning. För varje mätpunkt kan man sedan ange uppmätt RF samt tillhörande mätosäkerhet vid en eller flera tidpunkter, beroende på hur många mätningar man gjort.

De uppmätta nivåerna sammanställs och jämförs med de beräknade i tabellform, se Figur 9.

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)

Figur 9. Jämförelse av predikterad och uppmätt RF.

Man kan också visa de uppmätta nivåerna med tillhörande mätosäkerhet i kurvdiagrammen för RF, se Figur 10.



Figur 10. Kurvdiagram för RF med visualiserade uppmätta nivåer.

Visualisering och justering av väderlek och miljö

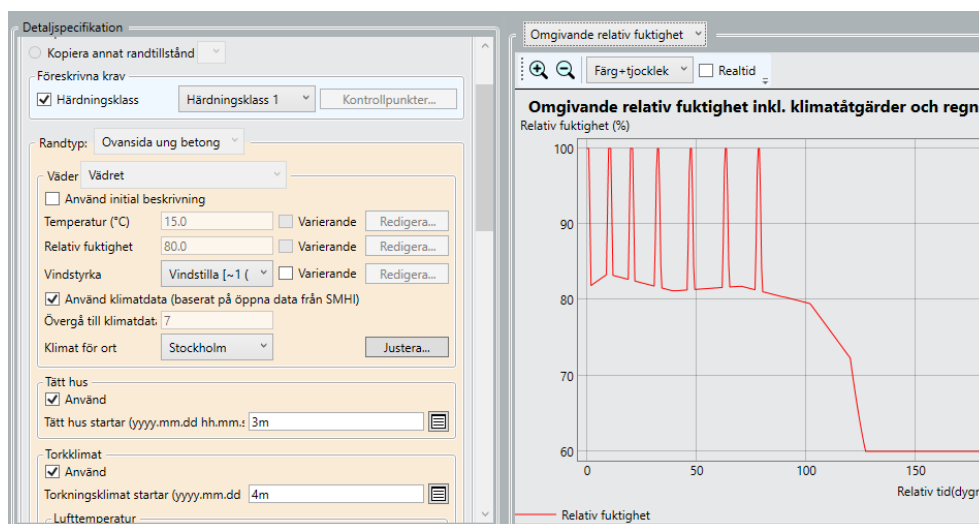
- Möjligheterna att specificera väderleken har förbättrats i den nya versionen av PPB.
- Det går numera att importera data från externa filer för användning i den egna beskrivningen av väderleken. Detta gäller både temperatur och relativ fuktighet, vilket medför att det lätt går att eftersimulera förlopp i miljöer där temperatur och RF loggats.

Det finns även förbättringar rörande inbyggda, ortbaserade klimatdata. Dessa kan både visas och justeras i detalj för den valda orten, se Figur 11.

Redigera klimatändringar								
Månad	Temperatur (°C)		Relativ fuktighet (%)		Regnmängd/månad (mm)		Regndagar/månad (-)	
	Befintlig	Ändring	Befintlig	Ändring	Befintlig	Ändring	Befintlig	Ändring
Jan	-2.9	0.0	81.8	0	39	0	12	0
Feb	-3.1	0.0	79.5	0	27	0	10	0
Mar	0.0	0.0	68.5	0	26	0	16	0
Apr	4.6	0.0	60.5	0	30	0	9	0
Maj	10.5	0.0	60.5	0	30	0	6	0
Jun	15.4	0.0	60.5	0	45	0	16	0
Jul	17.2	0.0	60.4	0	72	0	6	0
Aug	16.3	0.0	65.4	0	66	0	15	0
Sep	12.0	0.0	74.3	0	55	0	15	0
Okt	7.3	0.0	77.1	0	50	0	17	0
Nov	2.6	0.0	83.4	0	53	0	19	0
Dec	-1.1	0.0	81.2	0	46	0	23	0

Figur 11. Dialogruta med möjlighet att justera klimatdata för vald ort.

En annan funktion som underlättar specifikationen av den omgivande miljön är möjligheten att se vad man åstadkommer för temperaturer, vindstyrkor och relativa fuktigheter när samtliga uppgifter om eget väder, klimatdata samt åtgärder som tät hus, torkklimat och/eller inomhusklimat beaktats. Detta görs genom att man väljer vad bilden till höger om detaljspecifikationen för randen visar, se Figur 12. Som standard, visas där en konstruktionsbild med markering av vilket detalj i konstruktionen man arbetar med för tillfället. Man kan byta innehållet i bilden så att randvillkoren åskådliggörs med hjälp av diagram.



Figur 12. Inmatning av väder och miljö för en rand till vänster och visualisering av den resulterande miljön till höger.

Olika sätt att hantera tidsangivelser

Hela användargränssnittet har arbetats om för att möjliggöra ett mer flexibelt sätt att arbeta med tidsbaserade uppgifter, som t.ex. formrivning, täckning på eller av, tät hus mm. Alla tidsuppgifter kan numera specificeras som:

- relativ tid dvs. hur länge efter beräkningens start någonting händer
- realtid dvs. klockslag och datum

Dessa uppgifter kan anges direkt som text eller med hjälp av en bakomliggande dialogruta för bättre visualisering, se Figur 13. Man kan även växla mellan formaten efter att inmatning skett om så önskas. Detta gäller inte bara de enskilda tidsbaserade uppgifterna utan även tidsvarierande uppgifter så som t.ex. egen lista med omgivande temperaturer eller RF.

Figur 13. Dialog för detaljerad inmatning av tidsuppgift som antingen realtid eller tid relativ beräkningens start,

Denna förändring möjliggör ett flexibelt sätt att arbeta. Man kan välja att jobba i realtid då man planerar utförandet av en konstruktionsdel i ett specifikt projekt. Man kan också arbeta i relativ tid då man vill simulera ett mer generellt konstruktionsfall.

Tydligare beräkningsresultat

Ett flertal förbättringar och nyheter har tillkommit avseende hur resultat presenteras. Som tidigare visat i Figur 3 har en ny slags färgkarta tillkommit där resultatvärdet (färg) visas för de endimensionella typfallen som funktion tid (x-axel) och tjocklek (y-axel). Denna färgkarta ger en effektiv överblick för förloppet i hela konstruktionen. För visualisering av specifika detaljer kan zoomning i färgkartan användas, t.ex. så som i Figur 5. I samtliga färgkartor går det numera att själv styra färgskalan. Detta kan användas för att endast visa en del av de resulterande värdena, t.ex. temperatur eller RF över, under eller inom vissa värden av intresse.

Resultatlistan har blivit berikad med fler uppgifter. Där visas inte bara resultat av övervakade krav samt andra automatiskt beräknade händelser utan även tidsbaserade nyckeluppgifter så som gjuttidpunkt, tät hus mm. Detta ger en bra totalbild över vad

som händer under simuleringen, se Figur 14. Resultatlistan kan visas med tidsuppgifterna i antingen realtid eller relativ tid, dvs. tid efter beräkningens start.

 ☐ Realtid	
Händelser under simulering - lista	
Avjämning Avjämning före etablerad inomhusmiljö	
0h Bjälklag Gjutning	
0,13h Bjälklag:Ovansida ung betong: Glättning, beräknad start [0.12 (MPa)]	
0,25h Bjälklag:Ovansida ung betong: Glättning, beräknad slut [0.25 (MPa)]	
2d 3,13h Bjälklag:Undersida ung betong: Härdningsklass 3	
6d 4,13h Bjälklag: Tryckhållfasthet(medel) >= 70 (%) av fordrad 28-dygns hållfasthet [35.0 (MPa)]	
6d 4,13h Bjälklag:Undersida ung betong: Formrivning	
1m 11d 12,13h Bjälklag: Hållfasthetsklass C 28/35 [35.0 (MPa)] (medel)	
1m 11d 16,13h Bjälklag: Hållfasthetsklass C 28/35 [35.0 (MPa)] (min)	
3m Bjälklag:Ovansida ung betong Tätt hus	
3m Bjälklag:Undersida ung betong Tätt hus	
3m Avjämning:Ovansida avjämning Tätt hus	
4m Bjälklag:Ovansida ung betong Torkklimat	
4m Avjämning:Ovansida avjämning Torkklimat	
4m Bjälklag:Undersida ung betong Torkklimat	
7m 23d 10,58h Avjämning Avjämning	
7m 23d 10,58h Bjälklag: Relativ fuktighet(ekvivalent djup) <= 82.0 (%)	
8m Bjälklag:Undersida ung betong Inomhusklimat	
8m Avjämning:Ovansida avjämning Inomhusklimat	
8m Bjälklag:Ovansida ung betong Inomhusklimat	
8m 6d 18,75h Avjämning: Relativ fuktighet(medel) <= 72.0 (%)	
8m 6d 18,75h Avjämning:Ovansida avjämning Mattläggning	

Figur 14. Resultatlista med olika tidsuppgifter för simulering av ett golvsystem med betong, avjämning och golvläggning.

Omarbetad manual

Slutligen har manualen fått en omfattande översyn. Hela fuktfunktionaliteten inkl. avjämning och golvläggning är numera dokumenterad i manualen så att den kan användas för självstudier. Manualen har för tydlighetens skull uppdelats i:

- En översikt
- En hållfasthetsdel med 9 kapitel
- En fuktdel med 5 kapitel
- En materialdel med 3 kapitel

Med programvaran bifogas även färdiga filer med räkneexempel från manualens olika delar.

Slutsatser

Produktionsplanering betong version 3.0 möjliggör nu även beräkning av fukttillstånd under produktionen av hela golvsystemet inkl. avjämning och golvläggning. Programmet har ett flexibelt stöd för övervakning av uttorkningskrav samt för jämförelse av predikterade fuktnivåer med uppmätta. I den senaste uppdatering ingår även en stor mängd andra förbättringar som underlättar arbete med både enkla och mer komplexa simuleringar vid produktion av betongkonstruktioner i allmänhet samt betongbaserade golvsystem.

Författare

Civ.ing. Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic

Civ.ing. Ted Rapp, Byggföretagen, Tekniskt sakkunnig RBK

Dr., Adj. Prof. Hans Hedlund, Skanska Sverige AB / SBUF, PPB Koordinator

Staffan Carlström, Swerock AB