

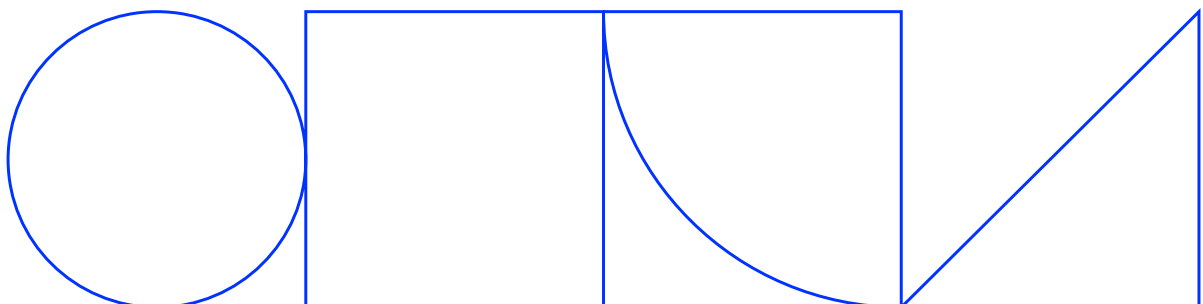
# Förstudie integration mellan PPB och andra verktyg

## Slutrapport

---

Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic  
Ted Rapp, Byggföretagen  
Hans Hedlund, Skanska Sverige AB

2026-03-09



## Förord

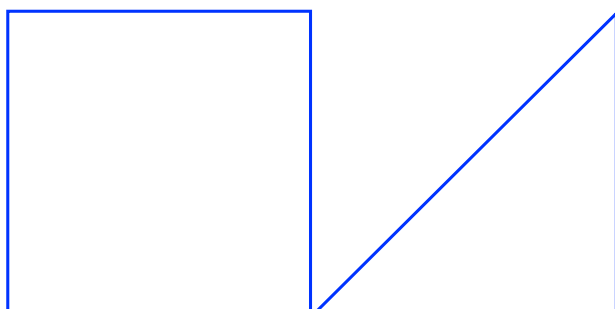
Projektets arbetsgrupp vill rikta ett stort tack till entreprenörer, konsulter och övriga branschrepresentanter som deltagit i arbetet med både sin tid, energi, idéer, branschkunskap och erfarenhet, och ett mer specifikt tack till

- Skanska Sverige AB
- NCC Sverige AB
- Peab AB / Peab Anläggning AB
- Swerock AB
- Betong & Stålteknik
- Polygon Group
- WSP
- Conservator

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

Projektets styrgrupp har varit:

- Ted Rapp, Byggföretagen
- Hans Hedlund, Skanska Sverige AB
- Charlotte Svensson Tengberg, Skanska Sverige AB
- Iad Saleh, NCC Sverige AB
- Fredrik Gränne, NCC Sverige AB
- Martin Laninge, Peab Anläggning AB
- Mattias Gunnarsson, Peab AB
- Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic



# Sammanfattning och slutsatser

Denna rapport sammanfattar projektet SBUF 14270 *Förstudie integration mellan PPB och andra verktyg*. En bakgrund till projektet ges och genomförandet beskrivs. Resultaten presenteras i form av dels redovisning av hur PPB och motsvarande predikteringsverktyg används i byggprocessen, dels som sammanställning och analys av framkomna önskemål om ny funktionalitet och integration med andra verktyg. Slutligen presenteras sammanfattande slutsatser där utveckling av ny funktionalitet efterlyses för ökad produktivitet och möjliggörande av optimering baserat på projektresultatet.

## Slutsatser

### Integration med andra verktyg:

- Integration mellan PPB och andra verktyg är fullt möjligt, men bör bedömas i varje enskilt fall. Detta då förtjänsten i ökad produktivitet kan vara liten i förhållande till kostnaderna för integrationen. De högst prioriterade önskemålen som framkommit rör PPB:s egen funktionalitet och dokumentation och inte integration med andra verktyg.

### Beräkning av värme- och hållfasthetsutveckling:

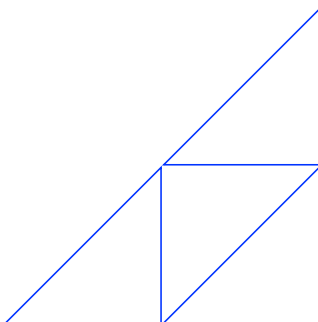
- PPB:s funktionalitet bedöms vara tillfredsställande. Dagens betongsammansättningar kan skilja sig åt mellan olika betongtillverkare och här efterfrågas tillgång till uppdaterade och tillförlitliga materialdata från betongtillverkare.

### Fuktsimulering och uttorkningsberäkning:

- Redigering och stöd för förenklad framtagning av materialdata bör tas fram för möjligheten till simulering av fuktförlopp för moderna betonger med reducerad klimatpåverkan.
- Beräkningar av fuktomfördelning efter påläggning av ytskikt, baserade på uppmätta RF-profiler, ses idag som ett standardverktyg inom fuktsäkerhet och möjligheten att utföra sådana i PPB efterfrågas.

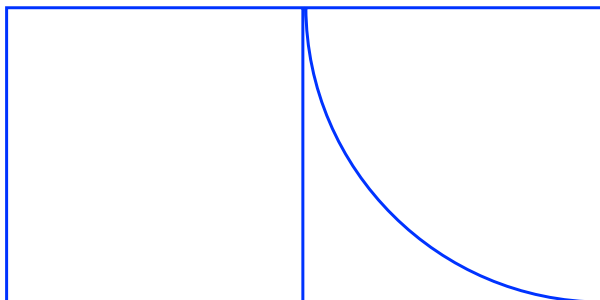
### Beräkning av spänningar och spänningskvoter:

- Dagens komplexa konstruktioner medför att effektivare redigering av geometri efterfrågas.
- Vägledning för tolkning av materialmodeller och strukturmodellen är det näst högst prioriterade behovet för spänningsberäkning i PPB och efterfrågas av användarna



# Innehåll

Förord	1
Sammanfattning och slutsatser	2
1. Inledning	4
1.1 Bakgrund och syfte	4
1.2 Rapportens struktur	4
2. Projektets genomförande	4
2.1 Möten	4
2.1.1 Förberedelser	4
2.1.2 Ändring av genomförandesätt	4
2.1.3 Avslutningsmöte	5
2.2 Genomförande av analys	5
3. Resultat	5
3.1 Generell användning av PPB	5
3.1.1 Värme och hållfasthet	5
3.1.2 Fukt	6
3.1.3 Spänning och sprickrisker	9
3.2 Analys av specifika områden	11
3.2.1 Import av konstruktionsunderlag	11
3.2.2 Import av väderdata och prognos	13
3.2.3 Samverkan med mätutrustning	14
3.2.4 Samverkan med beräkningsverktyg inom forskning	16
3.2.5 Export av resultat och rapport	18
3.2.6 Andra önskemål	20
4. Sammanfattning	21
Referenser	22



# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund och syfte

Detta projekt, SBUF 14270 *Förstudie integration mellan PPB och andra verktyg*, har som syfte att undersöka möjligheter till integration mellan Produktionsplanering Betong (PPB) och andra digitala verktyg. PPB har funnits frisläppt i olika versioner sedan Mars 2014 och möjliggjort simulering av betongens hydratation, hållfasthetstillväxt, uttorkning, fuktsamverkan med andra material, icke-elastiska deformationer vid yttre tvång och egenspanningar därav. Samtidigt finns det sedan länge en successivt pågående digitalisering inom byggbranschen, som gör att alltmer information hanteras digitalt. För att undersöka möjligheter till samverkan mellan PPB startades detta projekt med mål att inhämta information från olika representanter för PPB:s användarkrets rörande hur predikteringsverktyg som PPB används inom byggprocessen, vilka önskemål som föreligger kring vidareutveckling av denna användning samt var och hur skulle eventuell integration med andra verktyg effektivisera byggprocessen. Denna rapport dokumenterar genomförande och resultat av detta projekt.

## 1.2 Rapportens struktur

Rapporten är uppdelad i fyra delar:

- Inledning
- Projektets genomförande – här redovisas det arbetet som utfördes under projektet
- Resultat – här redovisas resultaten av intervjuer och analysarbetet
- Slutsatser och rekommendationer – här redovisas vad projektet rekommenderar avseende uppföljningsarbete.

# 2 Projektets genomförande

## 2.1 Möten

### 2.1.1 Förberedelser

Projektet startade med förberedelser med att fylla på referensgruppen med fler namn lämpliga för deltagande i workshoppar och diskussion om både reell och potentiell användning av PPB. I enlighet med vad som utlovats i ansökan, kompletterades bland annat med personer från utbildningar som berör PPB hos BUC (Byggbranschens Utbildningscenter). Därefter påbörjades arbetet med att boka de tre generella, inledande workshoppar.

### 2.1.2 Ändring av genomförandesätt

Efter ett flertal försök visade det sig vara väldigt svårt att boka gemensamma tider för workshoppar för personal direkt inblandad i produktion eller arbetande med nära support av denna. Samtidigt ville projektet inte kompromissa avseende hur många personers åsikter som skulle komma till uttryck som bas för den senare analysen. Detta för att resultatet då skulle kunna bli styrt av enskilda åsikter. För att hantera situationen fattade styrgruppen 2025-10-08 beslutet att byta ut gemensamma workshoppar mot enskilda telefonintervjuer vilket förankrats hos SBUF. Dessa planerades in och genomfördes under Q4 2025 samt Q1 2026.

### 2.1.3 Avslutningsmöte

Ett avslutningsmöte för projektet ägde rum 2026-03-09 med medlemmar i styr- och arbetsgrupperna som deltagande. På mötet fastställdes projektresultaten i form av denna rapport och projektet avslutades.

## 2.2 Genomförande av analys

Som tidigare nämnt ersattes gemensamma workshoppar med enskilda telefonintervjuer. Anledningen till detta var svårigheten med att få loss personal nära produktion till workshoppar samtidigt. Detta byte visade sig vara ett lyckat drag, som gett ett mervärde till projektet. Under de över 30 personliga intervjuerna, som omfattade ca 30-75 min. per intervju, framkom det generöst med information om hur man både arbetar med PPB samt hur, när, var och varför användningen av liknande verktyg kommer in i byggprocessen. Det är projektets tolkning att de intervjuade med hög sannolikhet inte skulle bjuda lika generöst på information, förklaringar och motiveringar, om personal från andra företag satt med i samma diskussion.

Efter intervjuerna sammanställdes grundresultaten. Till detta lades även information relevant för projektet som framkommit tidigare i form av kontakter med PPB:s användare genom support eller på annat sätt. Därefter följde en mer detaljerad analys av specialområden där önskemål om ny/förändrad funktionalitet och/eller integration identifierades i intervjuerna.

## 3 Resultat

Detta kapitel sammanställer resultaten av samtliga genomförda intervjuer. Därefter följer en analys av mer specifika områden rörande både önskemål, bakomliggande anledning och prioritering samt i berörda fall de tekniska möjligheterna för realisering av önskemål.

### 3.1 Generell användning av PPB

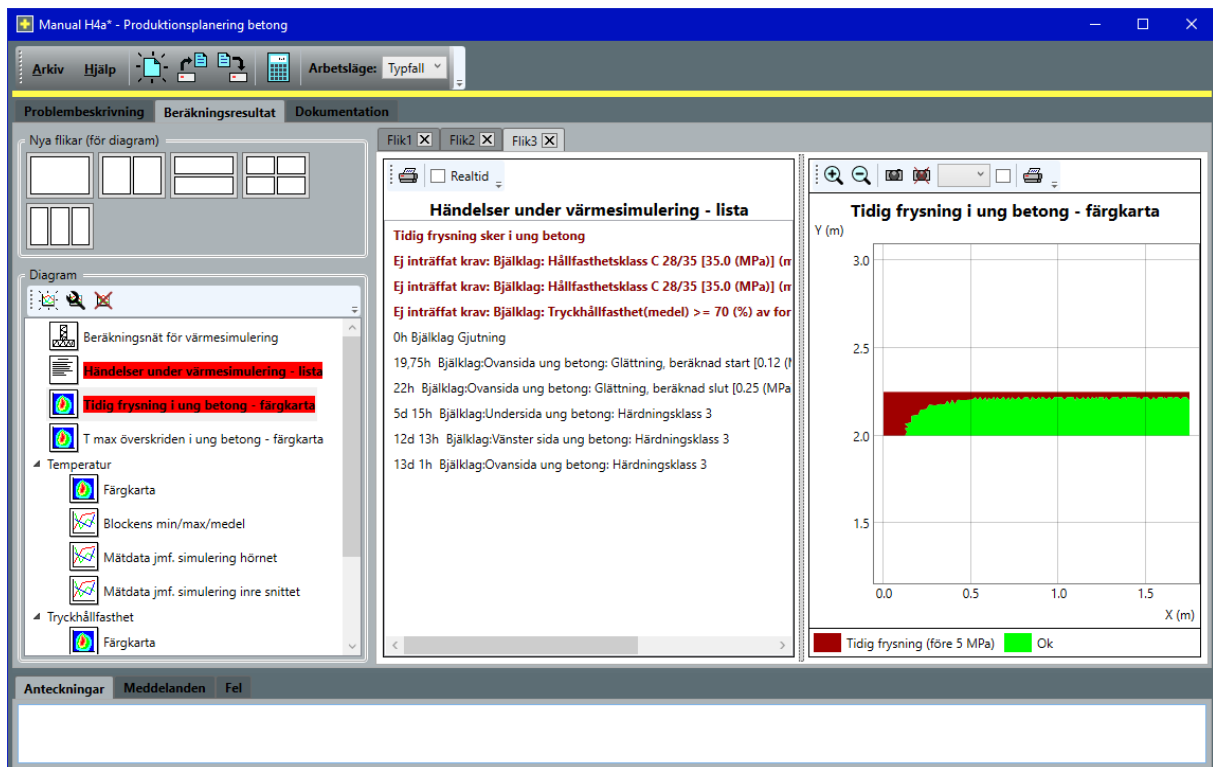
Kapitlet sammanfattar en mer generell bild av hur ett predikteringsverktyg som PPB kommer in i byggprocessen och dess mer generella användning. Denna bild är uppdelat på de tre olika simuleringstyperna 1) värme och hållfasthet, 2) fukt samt 3) spänning där PPB ger användaren möjligheter till planering och riskhantering, då man arbetar på olika sätt avseende dessa.

#### 3.1.1 Värme och hållfasthet

Simulering av värme- och hållfasthetsutveckling sker i princip alltid i direkt anslutning till produktion. Den utförs som oftast av arbetsledare, platschefer och/eller tekniska specialister. Främsta syftet med simuleringen är att kontrollera att vald kombination av material och arbetssätt samt den väderlek som man kan förvänta sig kommer att resultera i en hydratation som ger resultat såsom:

- Planerad formrivningstid
- Risk för tidig frysning eller frostsador vintertid
- Eventuella andra hållfasthetskrav, t.ex. vid ingjutning av hylsor för väggstag krävs viss hållfasthet i bjälklaget innan belastning får ske
- Kontroll att tidsfönstret för eventuell glättning stämmer överens med planering av utförandet

Man letar fram en lösning som fungerar för resp. konstruktionstyp och sedan planerar man ofta utförandet av flera etapper enligt samma simulering.



Figur 1. Exempel på värme- och hållfasthetsberäkning med varning för tidig frysnings

Vid planeringsögonblicket används uppskattning av vilken väderlek som kan förväntas vid gjutning. Denna baserar sig på statistiska data, då simuleringen ibland utförs veckor eller månader i förväg. Om det planerade gjutningstillfället förskjutits kalendermässigt kan en simulering uppdateras strax före gjutning med väderlek baserad på gällande väderprognos. Detta för att kontrollera att det planerade kombinationen av material och arbetssätt fortfarande fungerar som planerat. Om inte, vidtas korrigerande åtgärder innan gjutning.

Denna typ av användning av PPB resulterar inte i någon specifik dokumentation av själva simuleringen. Man nöjer sig med dokumentation av den valda lösningen, dvs. materialvalet och arbetssättet i produktionsplaneringen.

Ofta används temperaturmätning i konstruktion som återkoppling på hur hydratationen fortlöper. Man får en uppskattning av uppnådd tryckhållfasthet direkt från mätutrustningen eller dess mjukvara. Den registrerade temperaturutvecklingen läses som oftast inte in i PPB för jämförelse med de simulerade värdena. Inläsning och jämförelse av registrerad och simulerad temperaturutveckling sker ibland som kvalitetsdokumentation av utförandet eller i andra fall i samband med utredning när kvalitetsbrister / avvikelser uppstår.

### 3.1.2 Fukt

#### 3.1.2.1 Arbete med fuktsäkerhet i allmänhet

Sättet att arbeta med uttorkning och fuktsäkerhet i betongbaserade golvsystem har under det senaste decenniet genomgått signifikanta förändringar. Det tidigare arbetssättet som huvudsakligen gick ut på att planera för uttorkning till 85% RF på ekvivalent djup i konstruktionen utan användning av avjämning som buffert för limfukten med extra uttorkningsåtgärder vid svårigheter att uppnå uttorkningskravet förekommer i princip inte idag. Arbetssättet och branschens möjligheter har utvecklats påtagligt till följd av en rad SBUF-projekt, varav flera kopplade till PPB:

- Till följd av SBUF 13198 *Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong, Stelmarczyk m.fl. 2019a*, har man förstått att den moderna betongen i regel har en väsentligt lägre transportförmåga för fukt
- Till följd av SBUF 13354 *Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial*, se *Stelmarczyk m.fl. 2019b*, och sedan 13560 *Framtidens golvsystem med modern, tät betong*, se *Stelmarczyk m.fl. 2021*, och 14073 *Tilläggsmätningar till SBUF 13560 Framtidens golvsystem med modern, tät betong*, se *Stelmarczyk m.fl. 2022*, har man
  - förstått att de förändrade materialegenskaperna markant påverkar fuktsamspelen i golvsystemet och att betongen oftast är en större flaskhals för fukttransport än vad ytskiktet är
  - förstått att relativ fuktighet på ekvivalent djup inte spelar samma roll som tidigare för vad det blir för fuktförhållanden under ett pålimmat ytskikt
  - förstått att betong inte längre kan användas som buffert för limfukt utan att man måste lägga på ca 10-15mm avjämning som torkas ut väl
  - accepterat att emissioner under ytskiktet kan bildas och ackumuleras trots sunda fuktförhållanden i golvsystemet
- Vidare till följd av reviderad RBK-manual och SBUF 13754 *RBK-metod för RF-mätning i golvavjämning*, se *Rapp 2023*, samt SBUF 13701 *Praktiska vägledning för säkrare uttorkningstider hos betongbjälklag - Fuktomfördelningsberäkningar*, se *Kuclin m.fl. 2021*, och SBUF 14244 *Validering av fuktomfördelningsberäkningsvägledning – Jämförelsestudie mellan uppmätt och beräknad fukt i betongbjälklag*, se *Oxfall m.fl. 2024*, använder man sig av omfördelningsberäkning med validering av uttorkningskrav på ett grundare djup i betongen än det ekvivalenta djupet kombinerat med uttorkningskrav på avjämning

Idag ligger vanligen inte fokus på det ursprungliga ekvivalenta djupet. Man använder sig rutinmässigt av en avjämning som buffert för limfukten. Avjämningen läggs i regel på väldigt tidigt, i princip så fort det är tät hus och den omgivande temperaturen är hög nog för att avjämna. Resultatet blir en mycket god uttorkning i avjämningen med hög förmåga till buffring av fukt. Detta ger i sin tur tillsammans med en omfördelningsberäkning som utnyttjar den moderna betongens låga transportförmåga för fukt möjlighet att justera kravet på 85% RF på ekvivalent djup i betongen. En högre RF i betongen kan då tillåtas utan att riskera att ytskiktet utsätts för en RF överstigande 85%. Detta tillvägagångssätt förkortar uttorkningstiden och därmed byggtiden utan att göra avkall på fuktsäkerheten.

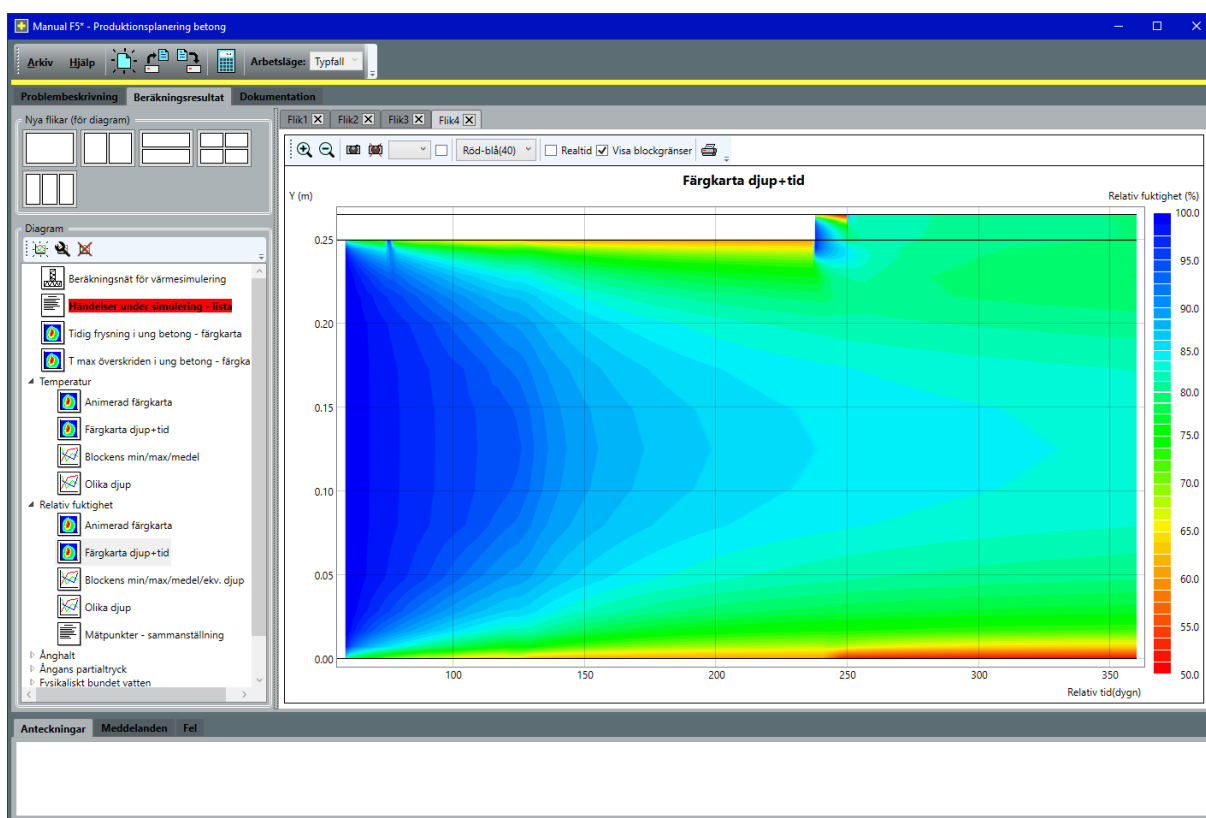
Man bör observera att utmaningar med fuktsäkerhet inte har försvunnit på grund av dessa förändringar. Samtidiga krav på fuktsäkerhet och låg klimatpåverkan från vald betong är alltmer frekvent förekommande idag. Låg klimatpåverkan brukar medföra ett lägre halt av OPC (Ordinarie Portlandcement) som bindemedel i betongen, vilket kan bidra till lägre grad av självuttorkning beroende på vad OPC ersätts med. Högre vattenbindemedelstal (vbt) och lägre bindemedelshalt är också ett typiskt resultat för betong med lägre klimatpåverkan, vilket kan medföra både lägre förmåga till självuttorkning samt högre förmåga till fukttransport.

### 3.1.2.2 Den fuktsakkunniges roll

Det huvudsakliga arbetet som berör verktyg för prediktering av uttorkning, som PPB, utförs i regel av en fuktsakkunnig. Denna kan vara entreprenörens egen resurs, från en intern avdelning för teknik eller byggfysik, eller vara en extern konsult. Beroende på omständigheterna, t.ex. entreprenadform, kommer den fuktsakkunnige olika tidigt/sent in i byggprocessen. Om man kommer in tidigt försöker

man påverka valda lösningar, t.ex. genom val av ytskikt som kräver mindre uttorkning, mer anpassat val av betong mm. Kommer man in sent får man finna sig i den valda lösningen. Någon gång under planeringen görs en bedömning av uttorkningstiden för konstruktionen. Där inträffar ett problem då inga allmänt tillgängliga verktyg inkl. PPB har materialdata för betongprodukter som säljs idag. Lösningen på detta problem varierar. Ibland försöker fuktsakkunniga låta betongleverantören komma med en bedömning baserat på kännedom av egna produkter. Ibland görs beräkningar i PPB eller andra verktyg av fuktsakkunniga för att uppskatta uttorkningstiderna. Som oftast försöker man använda korrektionsfaktorer som får de erhållna resultaten att stämma bättre överens med de gällande betongerna. Unisont anser de intervjuade att det är ett stort behov av moderna materialdata för uttorkningsmuling.

Om man redan på planeringsstadiet upptäcker att det kommer att vara svårt att hinna torka ut den valda betongen i en specifik konstruktion till standardkravet (*ekvivalent djup*) kan man redan här välja att utföra en omfördelningsberäkning. Detta för att sikta på ett mer anpassat uttorkningskrav med kortare torktid. Omfördelningsberäkningar utförs idag i regel i Wufi, ett kommersiellt verktyg som kräver en specialistkompetens. För indikation används även simulering av avjämning och påläggning av ytskikt i PPB. Denna nivå av framförhållning förekommer dock inte allmänt, även om den börjat tillämpas allt oftare.



Figur 2. Exempel på fuktsimulering i PPB som omfattar både uttorkning av betong efter gjutning, avjämning samt omfördelning efter matläggning.

Ibland förekommer upprepning av uttorkningssimulering närmare gjutning om tidsplanen har förskjutits och tidigare antagen väderlek inte kommer att stämma. Fuktsakkunniga brukar påpeka behovet av detta för produktionspersonalen, som ibland följer rådet och ibland inte. En del av branschen har förstått att hydratationstemperaturen spelar en roll för självuttorkningen och försöker ta hänsyn till detta medan andra inte gör det.

Mätning av relativ fuktighet i betonggolvet är ett krav för att validera uppfyllda uttorkningskrav. En sådan utförs av RBK-auktoriserad fuktkontrollant för att verifiera uttorkningen. Man börjar dock mäta uttorkningsnivån tidigare, för att få ett grepp om huruvida uttorkningen fortskrider enligt plan. I praktiken försöker de flesta mäta så fort det är praktiskt möjligt dvs. när man har tätt hus och temperaturen ligger i närheten av 20 °C. Ofta utförs en profilmätning, dvs. relativ fuktighet mäts på flera djup. Om uttorkningen inte bedöms ske enligt plan, används den uppmätta profilen som start för en omfördelningsberäkning för att justera standardkrav på ekvivalent djup och kunna ta hänsyn till avjämningsbuffringskapacitet för fukt. Här utförs omfördelningsberäkningen i Wufi. Detta kan inte utföras med PPB idag då det i simuleringen inte kan tas hänsyn till uppmätta fuktprofiler.

Dokumentation av simulering av uttorkning samt omfördelningsberäkningar sker i egna rapporter (MS Word) där resultat från olika simuleringsverktyg och/eller exporterade diagram används. Rapportfunktionen i PPB används av vissa fuktsakkunniga.

Som slutobservation för de fuktsakkunnigas arbete kan nämnas att användning av omfördelningsberäkningar inte godtas generellt av beställare. Om standardkravet på uttorkning inte uppfylls krävs ofta användning av spärnskikt, även om alla intervjuade fuktsakkunniga anser sig ha större tillit till fuktsäkerhet baserat på omfördelningsberäkning än på spärnskikt. Vissa fuktsakkunniga efterlyser hjälp med att rutinmässigt kunna förklara hur olika val av indata leder till olika resultat för uttorkning och omfördelning. Detta ses dock huvudsakligen som en pedagogisk fråga och inte nödvändigtvis önskemål om funktionalitet i själva mjukvaruverktygen.

### 3.1.2.3 RBK-kontrollantens roll

Ytterligare en aktör som använder PPB för uttorkningssimulering är RBK-kontrollanten. PPB används bland annat för att prognosticera när i tiden det kan vara lämpligt att utföra en fuktmätning. Men verktyget används även för att utföra en rimlighetskontroll av uppmätta värden avseende relativ fuktighet. Kontrollanten erhåller en beskrivning av vad som hänt med konstruktionen efter gjutningen från produktionspersonalen. Baserat på den information som finns att tillgå utförs en simulering av uttorkningen som sedan jämförs med de uppmätta värdena. Ofta visar det sig att den erhållna beskrivningen är litet väl positiv för konstruktionens uttorkning än vad verkligheten har varit. Kontrollanten tvingas då till en liten utredning baserat på dennes kunskap om arbetsplatsen och klimatet. Möjligheten finns då till justeringar av olika indata i PPB för att kunna komma fram till ett mer verklighetsbaserat resultat som bättre överensstämmer med mätresultatet. Det bör noteras att det vid avvikelse mellan prognos och mätning alltid är mätresultatet som ska användas för att bedöma konstruktionens RF. Detta förutsatt att det inte kan noteras uppenbara felaktigheter i mätningen.

### 3.1.3 Spänning och sprickrisker

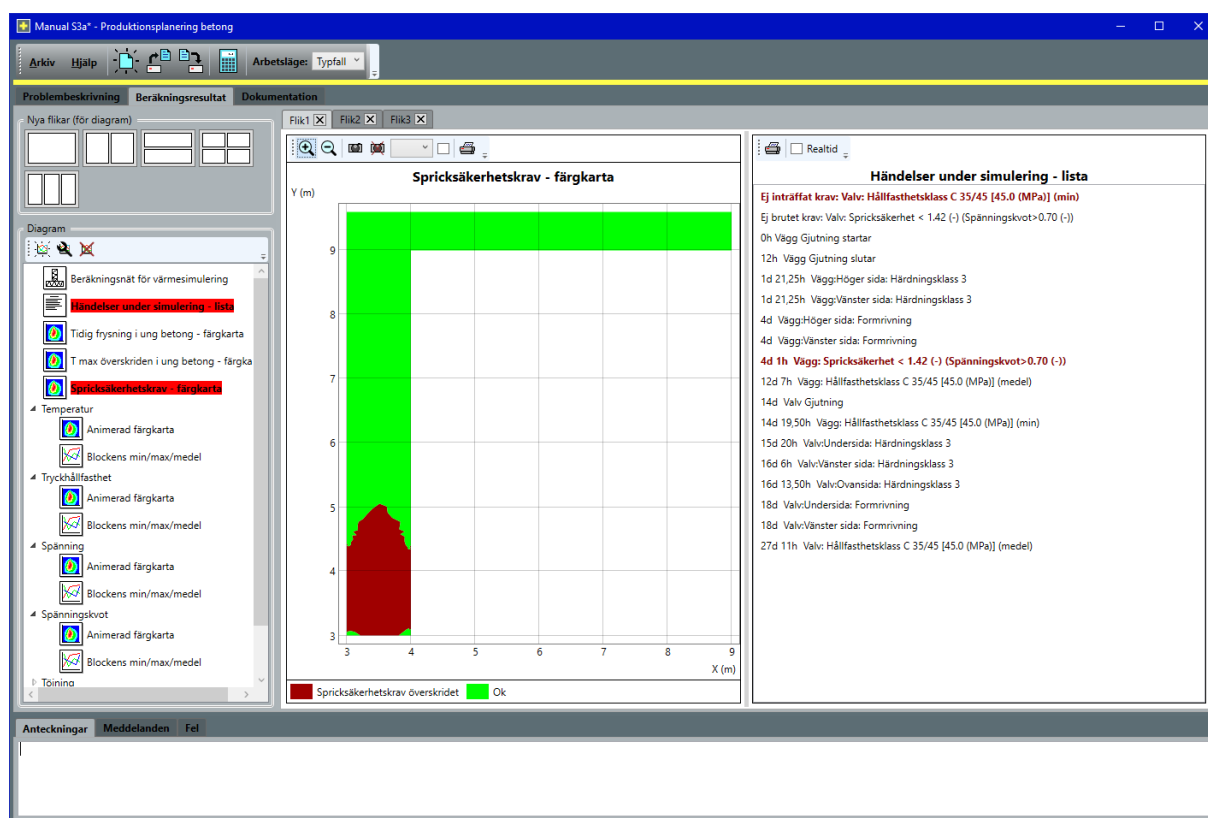
På ett liknande sätt som med fuktsakkunniga i fuktsammanhang, utförs simulering av spänningar och bedömning av spricksäkerhetsnivå (*sprickrisk*) för hårdnande betong av specialister inom området. Dessa kan vara entreprenörens egna resurser, från en intern avdelning för teknik, eller vara externa konsulter.

Ibland kan en sådan specialist komma in i processen redan under anbudsfasen, då kostnaden för sprickriskreducerande åtgärder, t.ex. kylning, behöver uppskattas. Så tidigt saknas det detaljerade underlag och eventuella simuleringar utförs utifrån en blandning av vad som är känt och rimliga antaganden. Ju mer kunskap specialisten besitter om olika produktionsmetoder och utbyggnadsordning ökar precisionen vid dessa tidiga bedömningar.

Den huvudsakliga användningen av PPB och tidigare ConTeSt Pro sker senare, under planeringen av genomförandet. Här tar man in detaljerat konstruktionsunderlag samt kunskap om rådande förutsättningar så som möjligheter till kylning mm. Utförda spänningssimuleringar syftar till att hitta

en kombination av material och arbetssätt samt ibland etapplängd, som resulterar i en acceptabel nivå av sprickrisk. Denna är i regel kravställd genom AMA Anläggning. Samtidigt utförs det sprickriskreduktion även för konstruktioner utan formella krav. Det kan röra sig om konstruktioner med ensidigt vattentryck t.ex. källarväggar, där man vill undvika reparationer om sprickor uppstår. I samband med dessa simuleringar uppstår en hel del kommunikation mellan specialisten som utför simulering och tar fram lösning samt produktionspersonal, betongleverantör och konstruktör. Detta för att få fram en lösning som är acceptabel för alla inblandade. Här ligger den främsta utmaningen för PPB:s användare i att beskriva samverkan mellan den konstruktionen som gjuts och anslutande konstruktion, dvs. yttre tvång och inre lastfördelning i enlighet med den analysmetod (Plane Surface Analysis) som PPB, och tidigare ConTeSt Pro, använder.

Bättre riktlinjer och exempel för val av tvång, t.ex. vid pålning, efterlyses. Ett annat önskemål är kopplat till den stora variationen bland konstruktionsgeometrier och rör ett mer effektivt sätt att ta in en sådan i PPB. Import från huvudsakligen PDF har framförts som önskemål, då 3D-modeller i BIM idag håller för ojämn kvalitet avseende informationsinnehåll för att förlita sig på. Samtidigt efterfrågas också en effektivare och mer fri grafisk redigering i PPB. Detta då PPB:s ursprungliga möjlighet till redigering av geometri i fria läget ses som mycket förenklad och inte anpassad till krav som anläggningkonstruktioner ställer.



Figur 3. Exempel på spänningsberäkning med icke uppfyllt krav på spricksäkerhet och risk för genomgående sprickor.

Framtagning av sprickriskreducerande åtgärder dokumenteras. Utöver själva arbetshandlingarna tas en beräkningsrapport fram manuellt, där samtliga förutsättningar, antaganden, resultat av simuleringar samt vald lösning redovisas. Då det som oftast föreligger fler än en simulering bakom denna information, används PPB:s rapportfunktion för att generera rapporter. I dessa dokumenteras enskilda simuleringar i detalj och dessa läggs som bilagor till den sammanfattande beräkningsrapporten. Bland de intervjuade personer som utför spänningsberäkningar använde allarutinmässigt PPB:s rapportgenerator.

Ett annat önskemål rörande spänningsberäkning är möjligheten till export av det kvarvarande spänningstillståndet i konstruktionen efter gjutning och hydrattation, för senare import till andra verktyg. Syftet med detta är att dimensionering av konstruktionen, med hänsyn till de laster den kommer att utsättas för, inte skall anta en i grunden obelastad/spänningsfri konstruktion utan utgå från den spänningsbilden som faktiskt blir kvar från produktionsstadiet. Krav på detta finns i Eurokod 2 Del 1:1 kap. 9, *SS-EN 1992-1-1:2023*, och branschen har fram till 31 mars 2028 på sig att anpassa sig till detta.

En annan utbredd önskan är en djupare förtydligande dokumentation till hur PPB:s spänningsberäkning fungerar inkl. de använda modeller för både material och konstruktion. Samtliga bakomvarande ekvationer är publicerade och det finns även referenser till forskningsartiklar som berör PPB:s beräkningssätt. Detta bedöms dock av många inte vara tillräckligt för en djupare förståelse för hur spänningsberäkningen fungerar. Materialmodellerna täcker flera delfenomen. Varje delfenomen, modelleras med påtaglig komplexitet för att motsvara materialets beteende i praktiken. Dessa egenskaper varierar dessutom i tid/mognad på grund av den unga betongens hydrattation. Förståelsen för hur dessa samverkar med varandra för att beskriva ett totalbeteende är långt ifrån självklar. Till detta tillkommer även analysmetodens förenkling av konstruktionens rörelse, spännings- och töjningstillstånd med tillhörande modeller för yttre tvång och fördelning av inre last. Den befintliga dokumentationen täcker helt enkelt inte allt som efterfrågas. Det finns ett behov av en mer omfattande vägledning till hur den använda materialmodellerna samt strukturmodellen skall tolkas och användas.

## 3.2 Analys av specifika områden

Nedan följer en analys av specifika områden, tidigare identifierade som möjliga kandidater för integration mellan PPB och andra digitala verktyg. Efter dessa finns slutligen ett delkapitel ägnat åt annan funktionalitet i PPB där kommentarer, åsikter och önskemål framkommit under intervjuerna.

### 3.2.1 Import av konstruktionsunderlag

Intresset för import av konstruktionsunderlag är huvudsakligen kopplat till spänningsberäkning i PPB.

Här förekommer en stor variation i geometrier för konstruktioner som skall gjas. Detta beror i grunden på en stor geometrisk variation hos anläggningskonstruktioner som byggs. Till detta måste även läggas till att den beräkning som PPB erbjuder bygger på en ingenjörsmässig approximation av konstruktionen och kräver en tolkning av den 3-dimensionella verkligheten som resulterar i ett 2-dimensionellt snitt och tillhörande specifikation av yttre tvång och inre lastfördelning. Denna bedömning i sig bidrar också till variationen av den slutliga beräkningsgeometrin och kan utföras på olika sätt för ett verkligt fall.

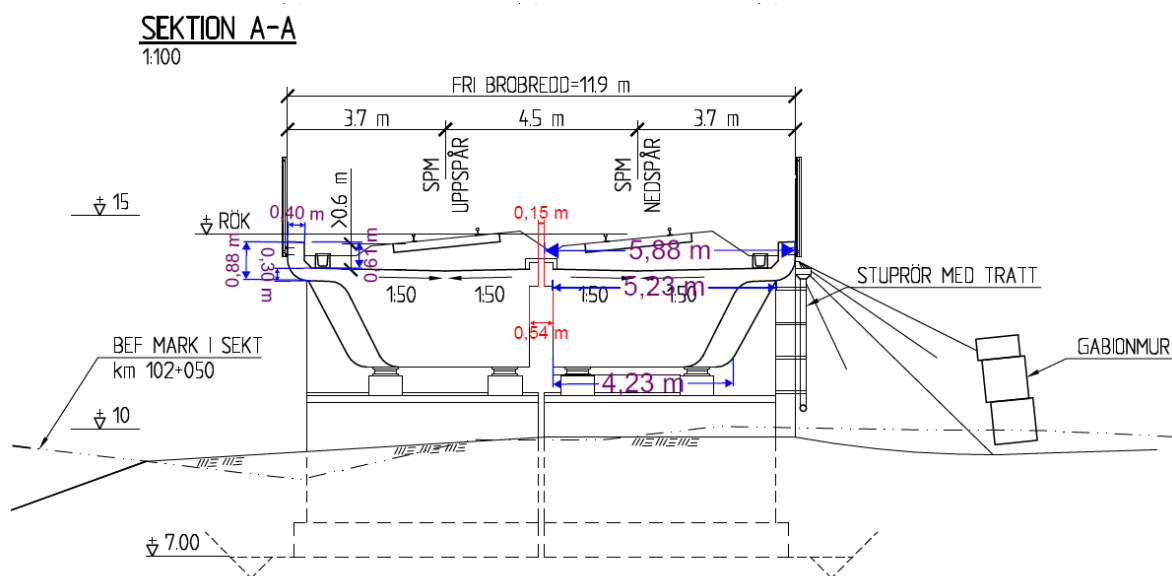
För de övriga simuleringstyperna, värme och hållfasthet samt fukt och uttorkning är konstruktionerna mer standardiserade och variationen mellan simuleringarna är kopplad till material, väderlek och arbetsätt. Variationerna i konstruktionsgeometri täcks väl av de typfallen som är implementerade idag.

Konstruktionsunderlag med geometri kommer idag i två former:

- Klassiska bygghandlingar med 2D-snitt i form av PDF
- 3D-modell med tillhörande information i BIM (olika format används)

Dessa två former används parallellt. Den allmänna bedömningen från de intervjuade är att PDF dominerar även om BIM sakta växer. Det finns en klar skillnad i kvalitet avseende innehållet mellan dessa två former. Konstruktionsunderlag i form av PDF innehåller all information av intresse, presenterad grafiskt i form av 2D-snitt med tillhörande kommentarer. BIM bygger på 3D-modeller

med tillhörande information, associerad med olika modellelement/delar. Här finns tydligen en storvariation kring vilken information som modelleras och innehållet i BIM varierar från fall till fall.



Figur 4. Exempel på konstruktionsunderlag från PDF

Den samlade bedömningen från de intervjuade är att det vore mycket önskvärt att kunna importera konstruktionsgeometri från konstruktionsunderlag. Samtidigt skall man ha klart för sig att denna process inte kan automatiseras helt och hållet utan måste tillåta val, korrigeringar och kompletteringar av det som till slut skall bli beräkningsgeometrin i PPB. Detta handlar dels om den nygjutna konstruktionen, där man i 2D-fallet (PDF) som oftast kan hitta ett direkt tillämpbart snitt. I 3D-fallet (BIM) måste ett aktivt val utföras avseende beräkningsnittet. Dels handlar det om komplettering med anslutande konstruktion och/eller mark, där korrigeringar och val tillkommer i bägge fallen. Eftersom informationsinnehållet i 3D-modeller i BIM är för varierande och inte kan ses generellt som tillräckligt heltäckande, blir slutsatsen att användning av BIM helt enkelt inte är moget för integration och direktimport avseende konstruktionsgeometri. När det kommer till 2D-underlag i PDF är det däremot tvärt om. Då all information antingen förekommer eller går att få i den formen, bedöms det högst önskvärt att kunna importera konstruktionsgeometri från PDF.

Portable Document Format (PDF) är ett filformat framtaget för beskrivning av generella dokument som består av någon form av kombination av textuellt och grafiskt framställt information, i syfte att visa dem på skärmar och skriva ut dem på skrivare. Formatet togs initialt fram av Adobe Inc., som även tillverkar och marknadsför verktyg för hantering av dessa dokument (Adobe Acrobat DC, Adobe Acrobat Reader). Själva filformatet har idag blivit en fritt tillgänglig ISO-standard och dokumenteras i *PDF 2.0 standard 2020*. En närmare analys av denna specifikation visar att dokumentformatet är optimerat för visualisering av information på skärm eller skrivare. Denna framställning, i form av en skärmbild eller utskrift från skrivare, är sedan tänkt att tittas på och eventuellt tolkas av en människa. Filformatet är således konstruerat och optimerat för grafisk framställning och inte för programmatisk tolkning av information. Att återskapa en logisk interpreterbar konstruktionsgeometri från fristående, grundläggande grafiska element med olika slags tillhörande information, t.ex. måttsättning, uttryckt som grafisk framställning av text, bedöms vara mycket omfattande i arbete. Det kommer även att vara mycket svårt om inte omöjligt att få en sådan funktion att fungera väl mot PDF:er framställda av olika ursprungsverktyg. Filformatets möjligheter till grafisk framställning av konstruktionsgeometri ligger på en nivå som kan användas på många olika sätt för att framställa samma geometri och försvårar

logisk tolkning av geometrin. Kortfattat är PDF gjort för att skrivas ut och tolkas visuellt av människor och inte för att tolkas av mjukvara i syfte att återskapa logiskt högre nivå av information.

Slutsatsen av analysen blir att PDF som format inte lämpar sig för tolkning och import av konstruktionsgeometri och att 3D-modeller samt information i BIM i dagsläget inte är mogen nog för en sådan importfunktion heller. Därför blir rekommendationen att vänta med denna integration, trots att den bedöms som högst intressant och önskvärd av branschaktörerna.

### 3.2.2 Import av väderdata och prognos

Synen på väderlek och behov av dess beskrivning kan delas upp i två olika fall:

- Under projektering och långtidsplanering av produktion behövs en uppskattning av väderlek för ungefärlig tidpunkt på året och den geografiska platsen där utförandet planeras. Då detta planeringsarbete kan ske långt innan gjutning, handlar uppskattning av väderlek inte om en prognos utan om användning av genomsnittliga historiska data.
- Om väderleken vid utförande befaras skilja sig från den antagna vid planeringen utförs ofta en upprepning av simuleringen i anslutning till själva utförandet, dvs. några dygn innan gjutning. Då används data från gällande väderprognos.

Idag kan man mata in väderdata manuellt i PPB eller hämta dem från äldre statistiksammanställning från SMHI, som finns bifogad i PPB. Bland de intervjuade finns det ett brett intresse av att få denna funktionalitet uppdaterad med:

- Liveimport av mer moderna historiska data
- Liveimport av gällande prognos

Detta för någon lämplig ort/väderstation i närheten av var man bygger,

Analys av vad SMHI tillhandahåller på området visar på en uppdatering av både tjänster och dokumentation därav, jämfört med läget då väderleksfunktionaliteten senast sågs över i PPB. En fullständig bild av vad SMHI erbjuder finns tillgänglig under s.k. "Öppna data", <https://opendata.smhi.se/>. Gällande prognoser erbjuds genom gränssnittet SNOW1gv1 och finns både tillgängliga och dokumenterade på <https://opendata.smhi.se/metfest/snow1gv1>. Man erbjuder även fri tillgång till historiska, genomsnittliga data för olika väderstationer.

```

JSON  Rådata  Rubriker
Spara  Kopiera  Fäll ihop alla  Expandera alla  Filtreera JSON
createdTime: "2026-02-24T15:29:09Z"
referenceTime: "2026-02-24T15:15:00Z"
▼ geometry:
  type: "Point"
  ▼ coordinates:
    0: 16.011977
    1: 57.996626
▼ timeSeries:
  ▼ 0:
    time: "2026-02-24T16:00:00Z"
    intervalParametersStartTime: "2026-02-24T15:00:00Z"
    ▼ data:
      air_temperature: -0.2
      wind_from_direction: 332
      wind_speed: 2.5
      wind_speed_of_gust: 6.2
      relative_humidity: 82
      air_pressure_at_mean_sea_level: 1018.9
      visibility_in_air: 15.8
      thunderstorm_probability: 0.00 JS:0
      probability_of_frozen_precipitation: 0.00 JS:0
      cloud_area_fraction: 7
      low_type_cloud_area_fraction: 7
      medium_type_cloud_area_fraction: 0
      high_type_cloud_area_fraction: 0
      cloud_base_altitude: 788
      cloud_top_altitude: 963
      precipitation_amount_mean_deterministic: 0.0 JS:0
      precipitation_amount_mean: 0.0 JS:0
      precipitation_amount_min: 0.1
      precipitation_amount_max: 0.2
      precipitation_amount_median: 0.0 JS:0
      probability_of_precipitation: 7
      precipitation_frozen_part: 0.99
      predominant_precipitation_type_at_surface: 5.00 JS:5
      symbol_code: 4.00 JS:4
  ▶ 1: { time: "2026-02-24T17:00:00Z", intervalParametersStartTime: "2026-02-24T16:00:00Z", data: { } }
  ▶ 2: { time: "2026-02-24T18:00:00Z", intervalParametersStartTime: "2026-02-24T17:00:00Z", data: { } }
  ▶ 3: { time: "2026-02-24T19:00:00Z", intervalParametersStartTime: "2026-02-24T18:00:00Z", data: { } }
  ▶ 4: { time: "2026-02-24T20:00:00Z", intervalParametersStartTime: "2026-02-24T19:00:00Z", data: { } }

```

Figur 5. Exempel på prognosdata från SMHI:s öppna data SNOW1gv1, erhållna genom ett webbanrop med resultatet presenterat i en vanlig webbläsare.

Slutsatsen av denna analys blir att de önskade funktionerna för liveimport av prognos och moderna historiska data kan och bör implementeras i PPB.

### 3.2.3 Samverkan med mätutrustning

Idag ger PPB möjlighet att läsa in mätdata för temperatur och relativ fuktighet. För temperatur kan data tas in som funktion av tid, dvs. temperaturer för olika tidpunkter/datum, för en eller flera kanaler. Dessa data läses in från textfiler. Data förutsätts vara tabellerade och PPB erbjuder en flexibel tolkning som hanterar många filformat, så länge de är textbaserade. Inlästa temperaturdata hanteras sedan på ett av två sätt:

- För typfall med konstruktionsgeometri, kan inlästa temperaturer användas som lufttemperatur och/eller annan temperatur och användas som indata i beräkningen alternativt associeras med en mätpunkt i konstruktionen och jämföras med beräknade temperaturer från simuleringen. PPB erbjuder även omräkning av uppmätta temperaturer till mognadsålder och tryckhållfasthet och jämförelse av dessa värden baserade på uppmätta och simulerade temperaturer i form av kurvdiagram.

- För typfall utan konstruktionsgeometri, kan inlästa temperaturer visas i form av kurvdiagram. Om de kopplas ihop med materialdata för den hårdnande betongen (*ung betong*) beräknas även motsvarande mognadsålder och tryckhållfasthet. I detta fall sker det ingen jämförelse med simulering då dokumentet saknar konstruktion för simulering, dvs. detta typfall är framtaget endast för behandling och visualisering av uppmätta temperaturer.

Import av mätdata för fukt i betong och avjämning sker manuellt, dvs. användaren får ange djup, tidpunkt, uppmätt värde och mätosäkerhet. Dessa värden jämförs sedan med beräknade värden från simuleringen i form av tabell och/eller i kurvdiagram.

När det gäller potentiell samverkan med mätutrustning, avgränsades analysen till uppmätta temperaturer. Mätningen av relativ fuktighet anses så känslig att den kräver manuellt utförande med tillhörande kvalitetskontroll och dessa utförs i regel vid enstaka tillfällen.

För temperatur är läget annorlunda då tanken med mätningen är att fånga utvecklingen av temperatur i konstruktionen i en eller flera mätpunkter, dvs. ett tidsförlopp. För detta scenario finns det redan idag möjlighet att läsa in mätdata flera gånger och uppdatera beräknad mognadsålder och/eller tryckhållfasthet samt jämförelse med simulering i den takt som mätdata kommer in. Detta måste dock ske manuellt.

Den huvudsakliga, regelbundna användningen av PPB:s funktionalitet för inläsning och hantering av temperaturmätningar sker idag vid uppföljning av sprickriskberäkningar. Vid dessa gjutningar är temperaturmätning ofta ett krav. Uppmätta temperaturer läses då in en gång. Därefter sker en jämförelse med simulering och eventuellt en uppföljande analys avseende eventuella sprickor trots vidtagna åtgärder. Hela detta förfarande sker efter gjutning och de första veckorna av hydrationsförloppet. Här tillför automatiserad live-överföring av data ingenting av värde.

Vid produktionsplanering används PPB för att genom simulering kontrollera om den tilltänkta kombinationen av arbetssätt och materialval ihop med uppskattad väderlek ger önskade hydrationsresultat. Exempel på detta är formrivningstider för att hålla ett visst tempo i produktionen. Då eventuella temperaturmätningar görs, räknas temperaturerna i regel om till hållfasthet av mätutrustningen eller dess mjukvara. Att överföra dessa data live till PPB tillför inte mycket.

Beaktar man vidare scenariot att hydratationen på något sett inte går som planerat och åtgärder skulle behöva vidtas i realtid, är möjligheterna till detta begränsade. När t.ex. en formrivningshållfasthet inte är uppnådd vid tilltänkt tidpunkt har förseningen redan ägt rum och kommer att få konsekvenser för framtida arbete. För att kunna ha en chans att korrigera något under pågående härdning måste återkopplingen från mätningarna vara mycket tidig och snabb. Det enda som bedömdes kunna ge något av värde är omedelbart larm genom simulering om uppmätt temperatur understiger (formrivning, vintergjutning) eller överstiger (tjocka konstruktioner, sprickrisk) fastställda larmgränser, t.ex. genom ett SMS till arbetsledares mobiltelefon. Denna funktionalitet behöver dock inte involvera PPB utan kan tillhandahållas direkt av mätutrustningen.

Från tillverkare av mätutrustning har det framkommit önskemål om att utnyttja PPB:s materialmodeller, materialdata och omräkning av temperatur till mognadsålder och hållfasthet för att få med noggrann uppskattning än vad de själva är kapabla att åstadkomma i sin utrustning och/eller mjukvara. Då önskemål om bättre uppskattning av hållfasthet direkt i mätutrustningen inte framkommit från intervjuade entreprenörer, bedöms denna fråga inte vara högt prioriterad.

Sammanfattningsvis kan sägas att en integration med mätutrustning för temperatur måste betraktas som en idé med ett flertal positiva och eleganta konsekvenser men med relativt låg direkt nytta för

entreprenörer. Därför bör den ges en låg prioritet och endast implementeras om samverkans effekter med andra ändringar i PPB:s mjukvara föreligger.

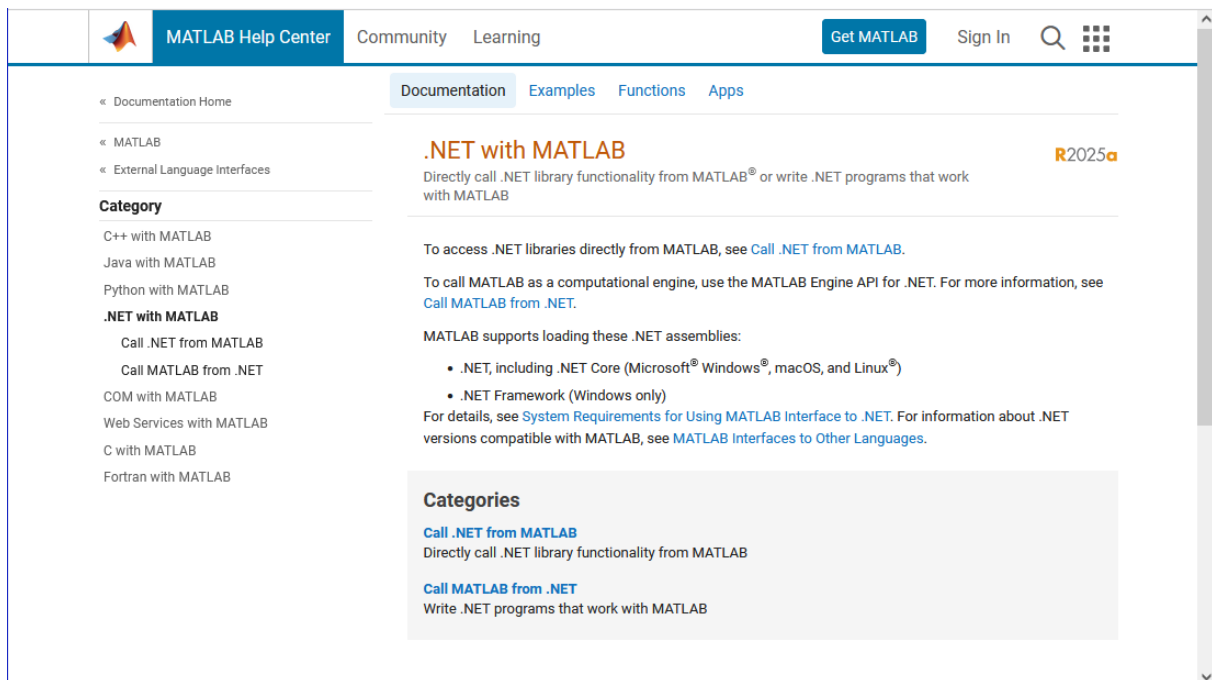
### 3.2.4 Samverkan med beräkningsverktyg inom forskning

PPB samt tidigare ConTeSt Pro har använts vid svenska universitet och högskolor (t.ex. LTU, LTH och Karlstads Universitet) inom ramen för forskning på doktorandnivå samt vid examensarbeten. Inom ramen för ett flertal av dessa har önskemål kommit fram över tiden om möjligheter att fjärrstyra beräkningsmjukvaran inklusive ändringar av indata till simuleringar samt extraktion av resultat till Matlab, ett avancerat matematikprogram för behandling av mätdata, utförande av beräkningar, visualisering av samband mm. Dessa arbeten har på olika sätt tittat på inverkan av materialmodeller, materialdata, sätt att ta fram materialdata, arbetssätt mm. genom utförande av s.k. parameterstudier. Dessa studier går i princip ut på att man:

1. Utgår från en predefinierad konstruktion eller ett antal sådana med tillhörande arbetssätt och materialval
2. Väljer en eller flera parametrar i indata till simuleringen för variation
3. Utför simulering för alla kombinationer av intresse av de varierade parametrarna
4. För varje simulering extraherar ett antal nyckeldata från simuleringens resultat
5. (Möjligen sparar undan simuleringsfiler för senare detaljstudie eller dokumentation)
6. Sammanställer variationen i parametrarna och resultaten matematiskt och visualiserar den med Matlabs diagramfunktioner

Som exempel kan nämnas en tidig studie hur temperaturdifferens över tvärsnittet påverkas risken för ytlig sprickbildning, som har utförts genom Monte-Carlo simulering, se *Hedlund m.fl. 1996*, där denna typ av arbete utförts manuellt. Resultaten har sedan sammanställts och behandlats i Matlab. Manuellt utförande av ändringar och simuleringar kostar tid och arbete och sätter naturliga gränser för hur stora variationer som undersöks. Möjligheten att styra och utföra hela förfarandet enligt ovan programmatiskt från ett skript i Matlab skulle revolutionera parameterstudierna. Simuleringar skulle kunna köras automatiskt under kvällen och helger samt avlasta de inblandade forskarna och studenterna. Detta skulle möjliggöra mer omfattande och noggrannare undersökningar av mer komplexa samband.

Matlab innehåller ett flertal gränssnitt för samverkan med mjukvara utvecklat i/på andra system/programmeringsspråk/plattformar. Bland dessa finns en integration med Microsoft .net i vilken PPB är utvecklat. Detta gränssnitt möjliggör bl.a. anrop från skript i Matlab av funktioner som mjukvara skriven under .net väjer att exponera.



Figur 6. Startside för Matlabs dokumentation av gränssnittet mot .net

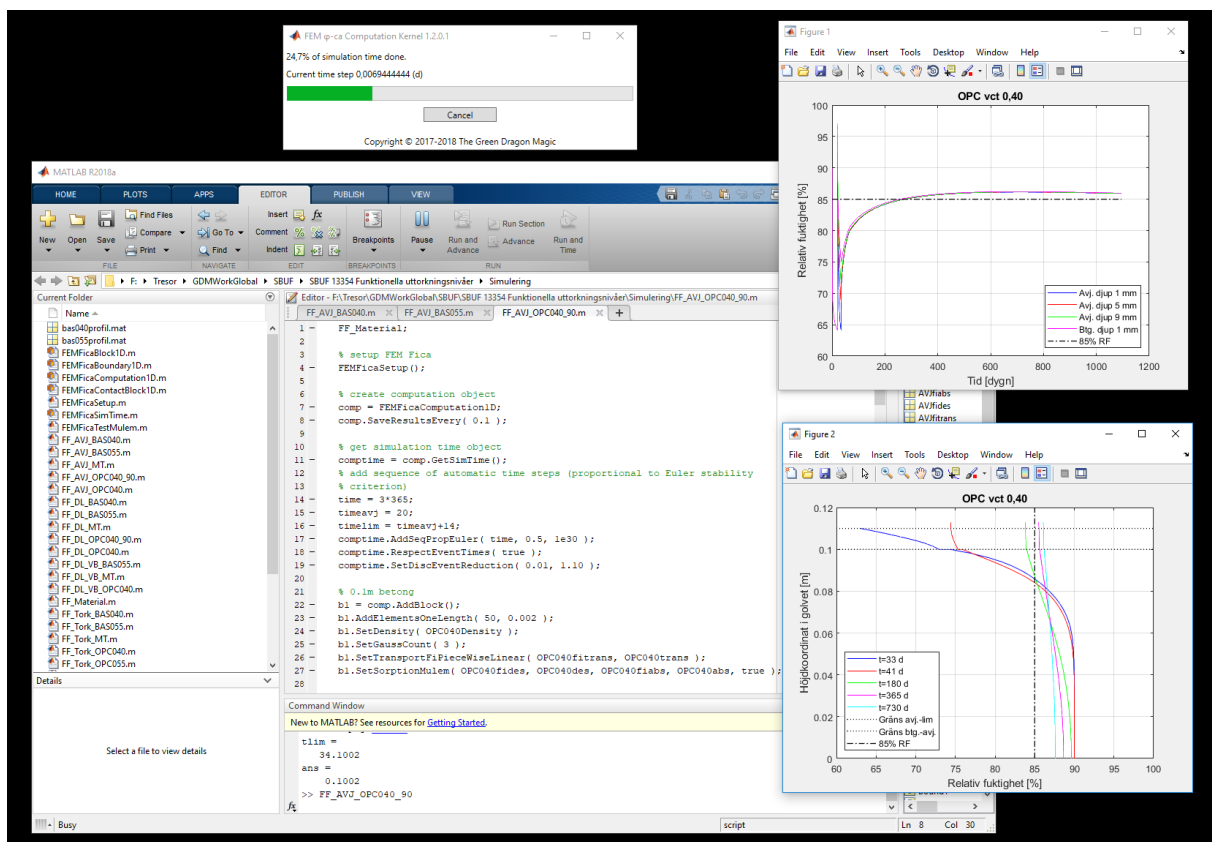
Gränssnittet mellan Matlab och .net har använts framgångsrikt tidigare i beräkningar bakom ett flertal SBUF-projekt:

- I beräkningsmjukvaran FEM  $\phi$ -ca i SBUF 13354 *Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial*
- I anpassning av materialdata i
  - SBUF 13198 *Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong*
  - SBUF 13140 och 13766 *Tillämpningsmodellering av fuktfenomen i betong för modern uttorkningssimulering del 1 och 2*
  - SBUF 13711 *Fuktomfördelning i golvsystem i Produktionsplanering Betong*
  - SBUF 14165 *Förenklad inmätning av värme- och fuktbeetende i betong för PPB*

Det kan med fördel användas för att möjliggöra styrning av och interaktion med PPB från Matlab. En del av PPB:s funktionalitet kräver i princip visuell feedback från mjukvaran, t.ex.:

- Skapande av nytt dokument kräver val mellan tillgängliga problemtyper och därtill hörande typfall
- Ändring av konstruktionsgeometri
- Ändring av kopplingar mellan objekt såsom block och ränder och deras respektive typdefinitioner dvs. blocktyper, randtyper
- Skapande och ändringar av egna diagram

Då dessa normalt sett inte är föremål för parameterstudier utan med fördel kan definieras manuellt i början av en sådan, finns det ingen anledning all lägga ner arbete på exponering av dessa funktioner genom interface mot Matlab. Likaså gäller även funktionalitet för dokumentation av simulering genom generering av rapport. För övrigt bör i princip all återstående funktionalitet exponeras för att möjliggöra maximal användning av verktyget i forskningssyfte. Särskild fokus bör läggas på möjligheten till flexibel export av samtliga beräknade resultat.



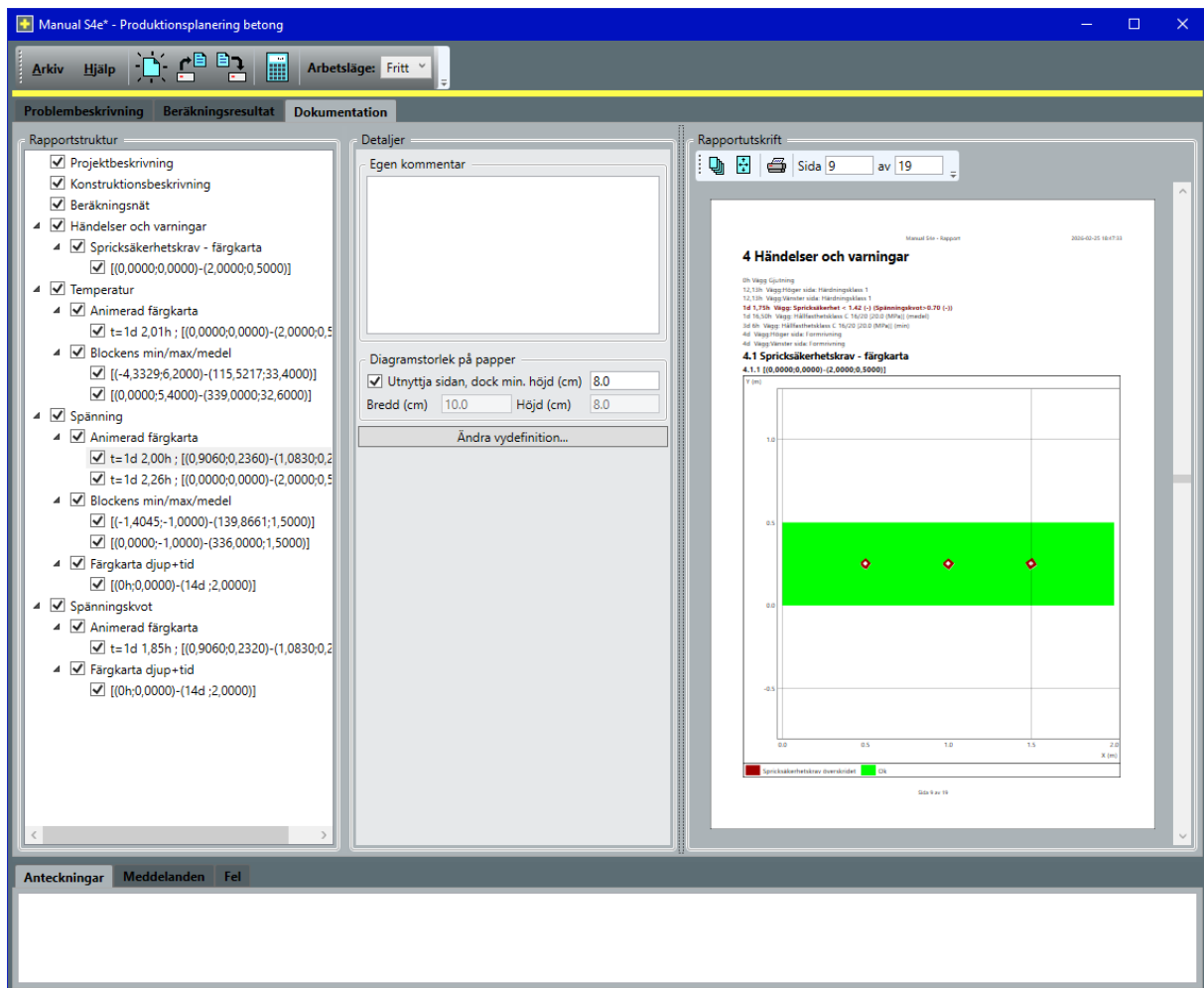
Figur 7. FEM  $\phi$ -ca med styrande skript i Matlab samt två resultatfönster med diagram

### 3.2.5 Export av resultat och rapport

För dokumentation av simuleringsresultat erbjuder PPB möjligheter att exportera enskilda diagram i form av bilder (olika format), video (endast för animerade färgkartor) samt bakomliggande numeriska data som text (endast för kurvdiagram). För mer omfattande dokumentation erbjuds en rapportgenerator där användaren kan välja vad som skall tas med avseende både bakomliggande indata samt bilder från olika diagram, kommentera de olika objekten och få resultatet som en rapport med försättsblad och innehållsförteckning. Denna kan skrivas ut eller sparas som PDF genom användning av PDF-skrivare.

För simuleringar rörande värme och hållfasthet används sällan dessa funktioner. Användarna är mest intresserade att kontrollera om det tilltänkta materialvalet och arbetssättet samt väderleken kommer att resultera i en hydratation med önskade resultat (glättningstid, formrivningstid etc.). När önskat resultat fås fram justeras planeringen därefter och vidare dokumentation av beräkningen är inte nödvändig.

I fuktsammanhang brukar fuktsakkunniga använda sig av egna rapporter där resultat från simulering av uttorkning tas med. Dessa kan tas med manuellt i rent numerisk form eller genom export av bilder. Vissa använder sig av PPB:s rapportfunktion och tar med denna som bilaga i sin egen rapport. Andra gör det inte.



Figur 8. Fliken **Dokumentation** i PPB, med dess rapportgenerator.

Vid spänningsberäkningar används rapportfunktionen regelbundet. Anledningen är krav på dokumentation av sprickrisikanalys och ev. åtgärder för reducering av sprickrisker (*spänningskvoten*). Utöver arbetsutförande brukar en separat rapport tas fram manuellt (MS Word), där analysen och åtgärderna beskrivs i detalj och olika scenarier redovisas. PPB:s rapporter för simuleringar av dessa scenarier, inklusive samtliga indata och ett urval av resultatbilder, bifogas i denna rapport som bilagor. Detta arbetsförfarande fungerar väl och det finns för närvarande inga önskemål på förändringar.

En observation bör dock göras avseende eventuellt framtida behov av att exportera numeriskt det kvarvarande spänningstillståndet efter hydratation för att tas med som input till konstruktionsdimensionering. Det har framkommit att inom ramen för standardiseringsarbete är branschkrav på väg att tas kring detta. En funktionalitet för att möjliggöra detta kan komma att behövas i framtiden. Det är dock för tidigt att säga närmare hur detta skall ske och vad det skall omfatta i detalj.

Analysens slutsatser är att dagens möjligheter till export av resultat och rapport fungerar väl och kräver ingen vidareutveckling för tillfället.

### 3.2.6 Andra önskemål

Under intervjuerna har det framkommit en rad önskemål kring funktionaliteten i PPB som inte rör potentiell integration med andra digitala verktyg utan enbart på PPB. Dessa redovisas nedan och delas upp på två olika områden som de berör eller kommit ifrån.

#### 3.2.6.1 Fukt

Det främsta önskemålet på fuktsidan avser materialdata för moderna betongsammansättningar. Detta önskemål rör två delar av PPB: funktionalitet. Den första är kopplat till möjligheten att redigera existerande materialdata och definiera nya recept. Denna funktionalitet har tidigare inte varit allmänt tillgänglig då materialdata byggde på nyligen reviderade materialmodeller vars vetenskapliga dokumentation inte var publicerad då fuktberäkningar i PPB frisläpptes. Detta har förändrats sedan publiceringen av Stelmarczyk 2023. Det är nu möjligt att möjliggöra redigering av materialdata för fukt i PPB, dock med en viss komplettering i manualen rörande exakt vilka forskningsmodeller som används och hur. Detta skulle kräva en uppdatering av PPB:s Materialredigerare samt manual.

Den andra delen av funktionaliteten i PPB för möjliggörande av modernare materialdata för fukt rör förenklad inmätning och anpassning av materialdata. När det gäller sorption och transport finns det förenklade metoder för uppskattning av egenskaper som inte medför årslånga mätningar. Anpassning av materialdata till PPB:s modeller kan här byggas in i dagens Materialkalkylator. När det gäller hydratation och menisk bindning av vatten är läget något mer komplicerat. Det finns dock möjligheter att basera grundläggande anpassning av hydratation på uppmätt hållfasthets- och värmeutveckling, vilket sker redan för simulering av just värme- och hållfasthetsutveckling och går att mäta rätt fort. Förenklad anpassning avseende kemiskt bundet vatten skulle kunna tas fram baserat på resultat från SBUF 14165 *Förenklad inmätning av värme- och fuktbeetende i betong för PPB* i kombination med redan anpassade materialdata för sorption och transport samt uppmätt relativ fuktighet i betongprover. Till ett sådant mätförfarande kan en anpassning av materialdata läggas till i PPB:s Materialkalkylator,

Det andra stora önskemålet rörande fukt har med omfördelningsberäkningar att göra. Om man kan möjliggöra för materialdata för mer moderna betongsammansättningar som underlag till uttorkningsberäkning, enligt ovan, är den naturliga konsekvensen att vilja utföra en omfördelningsberäkning med samma verktyg, beräkning samt materialmodeller och materialdata. Idag erbjuder PPB beräkning av fuktomfördelning i golvsystem efter avjämning och matläggning, men endast som en del i en fullständig simulering från gjutning. Detta dessutom utan möjlighet att justera uttorkningsnivån senare i beräkning mot uppmätta fuktprofiler. Detta skulle man kunna ändra på två sätt. Dels kan man möjliggöra justering av fukttillstånd mot uppmätt fuktprofil i en simulering från gjutning, för att sedan fortsätta simuleringen. Dels kan man tänka sig beräkningsfall som skippar hydratation och kemisk bindning av vatten helt och hållet. En sådan simulering skulle utgå från ett uppmätt eller antaget fukttillstånd och beräkna vad som händer i konstruktionen baserat på ren omfördelning av fukt. Detta skulle förutsätta implementation av ovan nämnda utökningar i hantering av materialdata samt utökning av beräkningskärnan med nya typfall för ren omfördelning.

#### 3.2.6.2 Spänning

Då import av konstruktionsgeometri från PDF inte bedöms som genomförbar, se kapitel 3.2.1, blir det mest akuta önskemålet friare och effektivare grafisk redigering av konstruktionsgeometri. Stora detaljvariationer i denna för anläggningskonstruktioner är det främsta skälet här.

Det andra önskemålet i prioriteringsordning är en mer ingående dokumentation till hur PPB:s spänningsberäkning fungerar. Som tidigare konstaterat, den publicerade dokumentationen med samtliga bakomvarande ekvationer och forskningsartiklar, bedöms inte som tillräcklig. Användarkretsen efterlyser successiva, pedagogiska förklaringar till olika delar av materialmodeller, hur dessa samverkar med varandra och hur materialmodelleringen samverkar med

konstruktionsmodellen i Plane Surface Analysis. Denna dokumentation bör vidare omfatta en djupare beskrivning avseende modellering av samverkan mellan nygjuten och anslutande konstruktion samt ge fler riktlinjer för specifikation av tvång.

Branschen har på sig fram till Mars 2028 att hantera krav i Eurokod på hänsyn till kvarvarande spänningstillstånd från hydrattation vid konstruktionsdimensionering. Vad som bör observeras är att modellering av materialbeteende och tillstånd skiljer kraftigt mellan spänningsberäkning för den unga hårdnande betongen under dess hydrattation och senare i konstruktionsdimensionering. Översättning mellan dessa två är inte en självklarhet utan är snarare behäftad med en del tolkningsutmaningar. För att möjliggöra en expertdiskussion hur detta över huvudtaget skall ske, ses en djupare dokumentation av modelleringen av den unga hårdnande betongen, enligt önskemål i stycket ovan, som nödvändig. Därefter kan specifik funktionalitet avseende export av kvarvarande spänningstillstånd i numeriskt form implementeras i PPB.

Ett sista önskemål som framkommit under intervjuerna med spänningsspecialisterna gäller möjligheten att jämföra två eller fler beräkningar med variation i en eller flera indata. Man vill specificera fler än ett svar på vissa indata, köra alla resulterande kombinationer av indata som beräkning och därefter få sammanställt ett eller flera nyckelresultat som funktion av de varierade indata. Denna önskemål motsvarar väl funktionaliteten kring serieberäkningar i det tidigare verktyget Hett97. Även om önskemålet nu kommer från spänningsspecialisterna är det inget nytt. Denna funktionalitet är inte specifik för spänningsberäkningar utan är till nytta i samtliga simuleringstyper då användaren söker lösningen på ett specifikt problem. Detta har efterfrågats redan under 2014, då PPB endast räknade på värme och hållfasthet. Funktionaliteten har tidigare nedprioriterats, då utveckling av grundberäkningar för fukt och spänning sågs som mer akuta behov. Det är ett mer omfattande ingrepp i PPB att implementera serieberäkningar, men definitivt genomförbart.

## 4 Sammanfattning

Efter utförande av över 30 telefonintervjuer samt analys av informationen som framkommit både genom dessa samt även tidigare genom andra kanaler, har projektet kommit fram till följande slutsatser.

Först och främst kan konstateras att det som står högst på önskelistan inte är integration med andra digitala verktyg, som idag bedöms som möjlig att genomföra. De önskemålen som verkligen är prioriterade bland användare är:

- **För fukt**
  - **Redigering och förenklad framtagning av materialdata** – detta bedöms som högst prioriterat område inom fukt och en implementation enligt analysen i kapitel 3.2.6.1 är fullt möjlig att genomföra.
  - **Omfördelningsberäkningar baserade på uppmätta RF-profiler** – detta bedöms som näst högst prioriterat område inom fukt och en implementation enligt analysen i kapitel 3.2.6.1 är fullt möjlig att genomföra.
- **För spänning**
  - **Effektivare redigering av geometri** - detta bedöms som högst prioriterat område inom spänning och en implementation enligt analysen i kapitel 3.2.6.1 är fullt möjlig att genomföra.
  - **Vägledning för tolkning av materialmodeller och strukturmodellen** – detta bedöms näst högst prioriterat område inom spänning och en implementation enligt analysen i kapitel 3.2.6.1 är fullt möjlig att genomföra.

- **För värme och hållfasthet**
  - Slutsatsen är att funktionaliteten bedöms vara tillfredsställande idag, men förutsätter tillgänglighet för moderna materialdata för tillförlitliga simuleringar

När det gäller integration med andra verktyg finns följande genomförbara önskemål:

- **Import av väderdata** – en uppdatering av denna funktion är både möjlig att genomföra och efterfrågad, då den skulle förenkla och eliminera manuellt förfarande idag. Då SMHI erbjuder öppna webbtjänster avseende både prognoser och statistik för historiska data är detta relativt enkelt att implementera och kan i princip tas med i vilket utvecklingsprojekt som helst.
- **Integration med Matlab i forskningssyfte** – detta är en funktionalitet som olika universitet och högskolor efterfrågat varje gång det förekommit behov av parameterstudier kring beräkning och modellering av konstruktion och/eller material som implementerats i beräkningsverktygen. Här bör observeras att denna funktionalitet inte direkt är efterfrågad av entreprenörer eller andra primära användare av PPB. Den syftar till en mer långsiktig utveckling av bakomliggande modeller, beräkningsmetodik och kunskap.
- **Integration med mätutrustning** – som tidigare konstaterat i analysen är detta inte en prioriterad eller efterfrågad funktionalitet hos majoriteten av PPB:s användare. Det bör dock observeras att om man beslutar sig att exponera PPB:s funktionalitet genom ett gränssnitt mot Matlab blir kostnaden väldigt liten för att samtidigt se till att även mätutrustningar kan använda samma gränssnitt för att kommunicera med PPB live.

Sammantagen slutsats rörande **serieberäkningar**. Önskemål om dessa har framförts sedan första frisläpp av PPB och är inget nytt. Då implementationen bedöms som rutinmässig dock omfattande, har funktionen nedprioriterats till fördel av mer akuta behov inom fukt och spänning. Sådana mer akuta behov finns fortfarande och är redovisade ovan. När mer prioriterade behov inte längre föreligger rekommenderar projektet att gå vidare med implementation av serieberäkningar. Dessa skulle ge PPB och dess användare en mycket mer effektiv jämförelse av inverkan på nyckelresultat av olika åtgärder.

## Referenser

**Hedlund m.fl. 1996** - H. Hedlund, G. Westman, P. Groth, *Känslighetsanalys av spänningsberäkning, Monte-Carlo simulering för normalpresterande betong*, LuTH SKRIFT 96:02, 1996

**Kumlin m.fl. 2021** - A. Kumlin, S. Lindmark, M. Lindskog, S. O. Mundt-Petersen, L.-O. Nilsson, N. Olsson, M. Oxfall, J. Tannfors, *Praktiska vägledning för säkrare uttorkningstider hos betongbjälklag – Fuktomfördelningsberäkningar, Slutrapport*, SBUF 13701, 2021-05-11

**Oxfall m.fl. 2024** - M. Oxfall, J. Tannfors, M. Lindskog, *Validering av fuktomfördelningsberäkningsvägledning – Jämförelsestudie mellan uppmätt och beräknad fukt i betongbjälklag, Slutrapport*, SBUF 14244, 2024-09-30

**PDF 2.0 standard 2020** - ISO 32000-2:2020 (PDF 2.0), Andra utgåvan: 2020-12, PDF Association, Inc. Winchester USA, PDF Association e.V. Bernau bei Berlin Germany 2020

**Rapp 2023** - T. Rapp, *RBK-metod för RF-mätning i golvavjämning, Slutrapport*, SBUF 13754, 2023-01-11

**SS-EN 1992-1-1:2023** - Eurokod 2 – Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, broar och anläggningskonstruktioner., SIS 2023

**Stelmarczyk m.fl. 2019a** – 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, Slutrapport, SBUF 13197 & 13198, 2019-05-10*

**Stelmarczyk m.fl. 2019b** – M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, *Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial, Slutrapport, SBUF 13354, 2019-05-10*

**Stelmarczyk m.fl. 2021** - M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, *Framtidens golvsystem med modern, tät betong, Slutrapport del 2, kortsiktig del: fukt och emissioner i golvsystem med modern tät betong, SBUF 13560, 2021-10-28*

**Stelmarczyk m.fl. 2022** - M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, *Tilläggsmätningar till SBUF 13560 Framtidens golvsystem med modern, tät betong, Slutrapport, SBUF 14073, 2022-11-02*