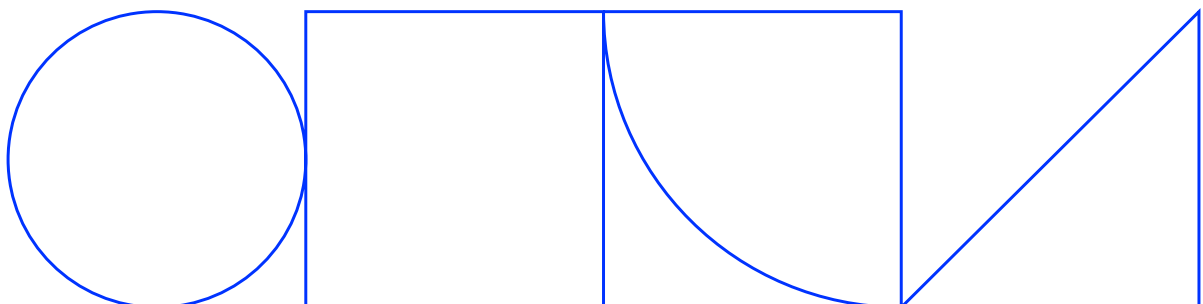


Pedagogisk dokumentation till skillnader i sprickrisksimulering

Slutrapport

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

2025-09-17

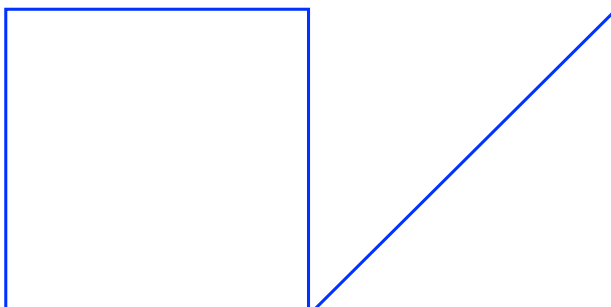


Förord

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

- Trafikverket
- Skanska Sverige AB
- NCC Sverige AB
- Peab Anläggning AB
- Betong & Stålteknik
- Sweco

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



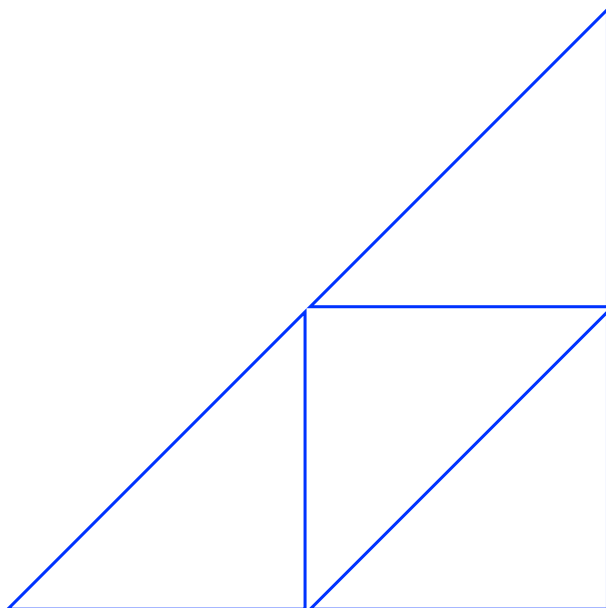
Sammanfattning och slutsatser

Denna rapport sammanfattar projektet SBUF 14500 *Pedagogisk dokumentation till skillnader i sprickrisksimulering*. En bakgrund till projektet ges och genomförandet beskrivs. Resultaten presenteras i form av en ny del i manualen till PPB, som beskriver skillnader mellan den nyligen frisläppta sprickrisksimulering i Produktionsplanering betong och det tidigare använda verktyget ConTeSt Pro. Den uppdaterade manualen med tillhörande beräkningsfiler med jämförda exempelsimuleringar ingår i PPB ver 4.1. PPB kan laddas ner från Byggföretagens webbsajt www.byggforetagen.se/ppb.

Slutsatser

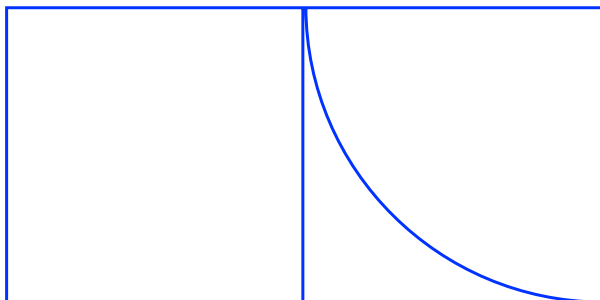
Produktionsplanering betong inkluderar nu även simulering av temperatur- och fuktelaterade spänningar, som vid utsatt olika fastlåsningssituationer (*tvång*) kan skapa en risk för sprickbildning (*sprickrisk*) i den nygjutna betongkonstruktionen. Den nya programmodulen i PPB innehåller flera förbättringar, jämfört med ConTeSt Pro, samt en pedagogisk dokumentation för användaren av verktyget. För att nämna några av förbättringarna:

- Numeriskt noggrannare och stabilare beräkning
- Föråldrade och bristfälliga delar av materialmodeller har korrigerats. Detta eliminerar bl.a. möjligheten att simulera materialbeteende på ett föråldrat eller felaktigt sätt som inte stämmer överens med betongens verkliga beteende
- Konsekvent och genomtänkt implementation av materialmodeller, vilket bl.a. eliminerar störda eller uppenbart felaktiga resultat, som ConTeSt Pro kan leverera
- Korrekt beräkning av spännings- och töjningskvot vid tryckbelastning i konstruktionen
- Eliminering av felaktiga startspänningar och konsekvenser därav vid fördröjd gjutning av konstruktionsdelar
- Fler och förbättrade möjligheter för större flexibilitet vid specifikation av fördelning av inre last i beräkningen.



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 Startmöte	4
2.1.2 Avslutningsmöte	4
2.2 Framtagning av dokumentation	5
2.3 Ny version av PPB	5
3 Resultat	5
4 Slutsatser & rekommendationer	6
Referenser	7
Bilagor	7



1. Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Inom ramen för projektet SBUF 14133 *Utveckling av beräkning av sprickrisker i Produktionsplanering Betong* frisläpptes PPB ver 4.0 med kapacitet att simulera egenrörelse och beräkna spänningar och sprickrisker i hårdnande betong. Den nya funktionaliteten omfattade den mest avancerade spänningsanalysen och de senaste materialmodellerna som tidigare användes i ConTeSt Pro 5.1 för samma typ av simulering. Den nya implementationen i PPB skiljer sig i en rad avseenden från det gamla verktyget ConTeSt. Detta är en följd av generella förbättringar i noggrannhet och numerisk stabilitet i PPB, fixade gamla problem (s.k. buggar) samt specifika designbeslut om mer flexibel och/eller verklighetstrogen modellering av konstruktion och/eller material. Projektet SBUF 14133 identifierade ett akut behov av en pedagogisk dokumentation av dessa skillnader för att underlätta för användarna vid byte mellan verktygen, se *Stelmarczyk m.fl. 2025*. Detta projekt, SBUF 14500, omfattar framtagning av just denna tilläggsdokumentation med tillhörande exempelberäkningar och publicering av dessa inom ramen för en uppdaterad version av PPB.

1.2 Rapportens struktur

Rapporten är uppdelad i fyra delar:

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

Rapporten innehåller även den framtagna dokumentationen som bilaga, del S4 i PPB:s manual.

2 Projektets genomförande

2.1 Möten

2.1.1 Startmöte

Ett startmöte ägde rum 2025-06-17 med medlemmar i styr- och arbetsgruppen som deltagande. Då innehållet i den dokumentationen som skulle tas fram redan var identifierat i SBUF 14133, beslutade mötet att starta arbetet omedelbart i enlighet med tidigare identifierat behov. Planering togs fram för genomförande av projektet med sikte på snabbt genomförande och publikation av resultat.

2.1.2 Avslutningsmöte

Ett avslutningsmöte för projektet ägde rum 2025-09-17 med medlemmar i styr-, arbets- och referensgrupperna som deltagande. På mötet fastställdes projektresultaten i form av en reviderad manual till PPB 4.1 med den nyskrivna delen S4 och frågan om dokumentation av skillnader mot tidigare verktyg ansågs vara avslutad. Slutligen fastställdes även denna rapport och projektet avslutades.

2.2 Framtagning av dokumentation

Först togs fyra olika beräkningsfall fram för att belysa skillnader mellan spänningssimulering i PPB och ConTeSt Pro 5.1. I dessa exempel utförs en spänningssimulering för exakt likadan konstruktion med samma arbetssätt och likadant materialval i bägge verktygen. Skillnader i resultat presenteras och analyseras för att slutligen motivera varför resultat i PPB stämmer bättre överens med verkligheten.

Därefter skrevs en ny del i manualen i till PPB – *S4 Skillnader mellan PPB och ConTeSt Pro*. Denna del omfattar:

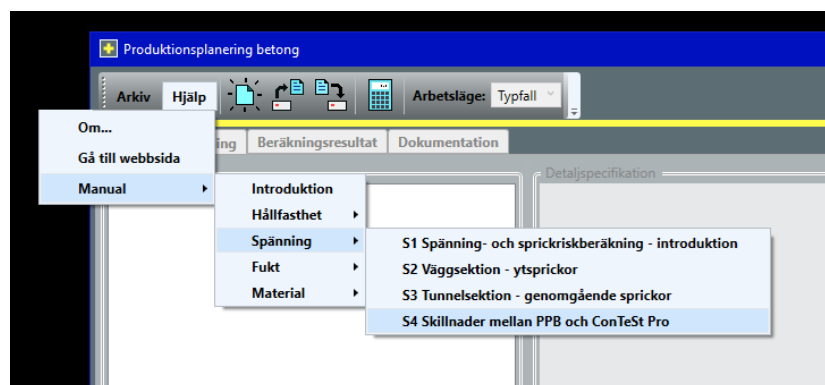
- Dokumentation till de framtagna beräkningsfallen som används för jämförelse mellan verktygen inklusive:
 - Översiktlig beskrivning av studerad konstruktion, arbetssätt och materialval
 - Detaljerad jämförelse av resultat
 - Analys och diskussion av identifierade skillnader
- Ytterligare dokumentation till andra skillnader mellan verktygen:
 - Förändringar i materialmodeller – både i materialdata och implementation i beräkningen
 - Begränsad kompatibilitet mot äldre materialdata och tips på hur detta kan hanteras om det finns tillgång till rådata från laboratorieprovning av materialen
 - Nya möjligheter och större flexibilitet i specifikation av variation av inre last i PPB

2.3 Ny version av PPB

Den reviderade manualen, inkl. den nya delen S4 samt de totalt 8 beräkningsdokument (fyra exempel med en fil för PPB och en för ConTeSt Pro) som nytillskott i utbildningsmaterialet, publiceras som en del i PPB ver. 4.1 under september 2025. PPB kan laddas ner från Byggföretagens webbsajt www.byggforetagen.se/ppb.

3 Resultat

Projektet har resulterat i en ny version av PPB 4.1 med en uppdaterad manual. Den utlovade pedagogiska dokumentationen till skillnader mellan spänningssimulering i PPB och ConTeSt Pro 5.1 finns inkluderad i verktyget som del S4 i manualen, se Figur 1 och Figur 2. För detaljer avseende innehåll se bilaga.



Figur 1. Den nya manualdelen i hjälpmenyn i PPB.



Figur 2. Den nya manualdelen som PDF-fil, öppen i Adobe Acrobat, första sidan.

Den bifogade beräkningsfilerna för PPB och ConTeSt Pro 5.1 installeras som en del av PPB tillsammans med övriga utbildningsexempel.

4 Slutsatser & rekommendationer

Först och främst vill projektet konstatera att man levererat samtliga i ansökan utlovade resultat, se Tabell 1 nedan.

Utlovat resultat	Levererat resultat
”Resultaten redovisas i form av en reviderad och utökad manual till PPB...	PPB Manual del S4 Skillnader mellan PPB och ConTeSt Pro, ingår i PPB ver. 4.1. PPB kan laddas ner från Byggföretagens webbsajt www.byggforetagen.se/ppb
... med tillhörande beräkningsexempel som beräkningsdokument både för PPB och ConTeSt Pro...	4 exempel, totalt 8 beräkningsdokument, ingår i utbildningsmaterialet i PPB ver. 4.1. PPB kan laddas ner från Byggföretagens webbsajt www.byggforetagen.se/ppb
... samt en projektrapport.”	Denna rapport

Tabell 1. Projektnytt, jämförelse mellan vad som utlovats i ansökan och levererats.

Vidare vill projektet dra slutsatsen att det omedelbara behovet av pedagogisk dokumentation till skillnader mellan spänningssimulering i PPB och ConTeSt Pro, som identifierat i slutrapporten till SBUF 14133, se *Stelmarczyk m.fl. 2025*, härmed har åtgärdats. Den framtagna dokumentationen försöker pedagogiskt 1) presentera skillnader mellan verktygen, 2) ge exempel på hur dessa skillnader kan påverka beräkningsresultaten och 3) ge användaren en möjlighet att förstå den rad av förbättringar som sprickrisksimuleringen i PPB erbjuder jämfört med ConTeSt Pro. Dessa förbättringar är:

- Numeriskt noggrannare och stabilare beräkning

- Föråldrade och bristfälliga i delar av materialmodeller har korrigerats. Detta eliminerar bl.a. möjligheten att simulera materialbeteende på ett föråldrat eller felaktigt sätt som inte stämmer överens med betongens verkliga beteende
- Konsekvent och genomtänkt implementation av materialmodeller, vilket bl.a. eliminerar störda eller uppenbart felaktiga resultat, som ConTeSt Pro kan leverera
- Korrekt beräkning av spännings- och töjningskvot vid tryckbelastning i konstruktionen
- Eliminering av felaktiga startspänningar och konsekvenser därav vid fördröjd gjutning av konstruktionsdelar
- Fler och förbättrade möjligheter för större flexibilitet vid specifikation av fördelning av inre last i beräkningen.

Slutligen vill projektet än en gång påpeka tidigare konstaterat behov av vidareutveckling av spänningssimuleringen i PPB. Detta beskrivs under rekommendationer i slutrapporten till SBUF 14133.

Referenser

Stelmarczyk m.fl. 2025 – Stelmarczyk M., Rapp T., Hedlund H., Saleh I., Laninge M., *Utveckling av beräkning av sprickrisker i Produktionsplanering Betong, Slutrapport*, SBUF 14133, 2025-04-24

Bilagor

PPB Manual del S4 – *Produktionsplanering Betong ver 4.1, Manual del S4, Skillnader mellan PPB och ConTeSt Pro*, Byggföretagen 2025

S4 Skillnader mellan PPB och ConTeSt Pro

BYGGFÖRETAGEN

› Produktionsplanering betong

Vad skall vi lära oss?

- Vad som skiljer spänningsberäkning i PPB och ConTeSt Pro:
 - Beräkningsnoggrannhet
 - Simulering i närheten av brottgräns
 - Spänningskvot och töjningskvot är fel i ConTeSt Pro vid tryck
 - Felaktig startspänning vid flera block med fördröjd gjutning
 - Hållfasthet vid höga temperaturer
 - AlfaC och alfaH
 - Inkompatibla materialdata
 - Modellering av yttre tvång och inre last

Uppläggningsen av denna del av manualen

- Simulering av egenrörelse och beräkning av spänning i PPB och ConTeSt Pro 5.1 , som användes tidigare för den typen av simuleringar, bygger på:
 - samma typ av beräkning
 - samma sätt att modellera konstruktionen
 - samma materialmodeller (gäller senaste materialmodeller i ConTeSt Pro 5.1)
- Bägge verktygen räknar i princip likadant och ger likvärdiga simuleringsresultat, med några specifika undantag.
- Syftet med denna del av manualen till PPB är att förklara dessa undantag, dvs. specifika skillnader mellan spänningsberäkning i PPB och ConTeSt Pro 5.1.

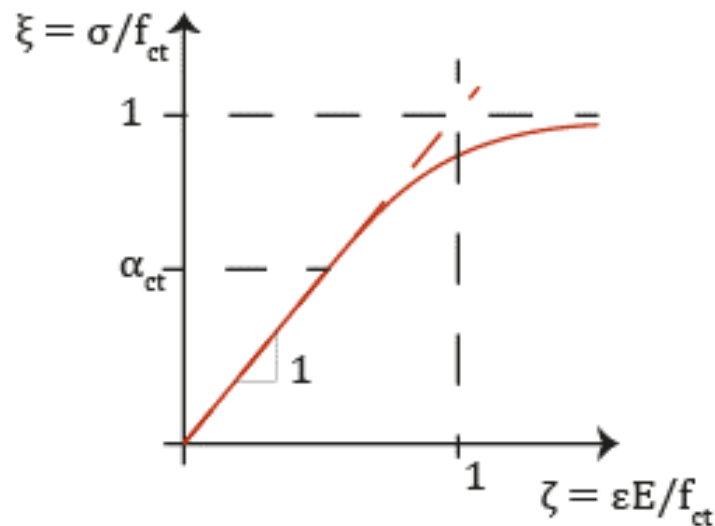
Uppläggningsen av denna del av manualen

- Denna del av manualen innehåller både förklaringar och exempel på simuleringar, där resultaten jämförs mellan de bägge verktygen.
- För samtliga exempel finns tillhörande beräkningsfiler tillgängliga för både PPB och ConTeSt Pro 5.1 så att användaren kan utföra simuleringarna själv och jämföra de olika verktygen.
 - Dessa kan hittas i "Dokument" eller "Mina dokument" i underkatalogen "PPB Utbildning"
- I manualen ges det en översikt av indata för de använda beräkningsfallen, för användarens förståelse av vilka simuleringar man jämför. För samtliga detaljer avseende indata hänvisas användaren till exempelfilerna för respektive verktyg.

Beräkningsnoggrannhet

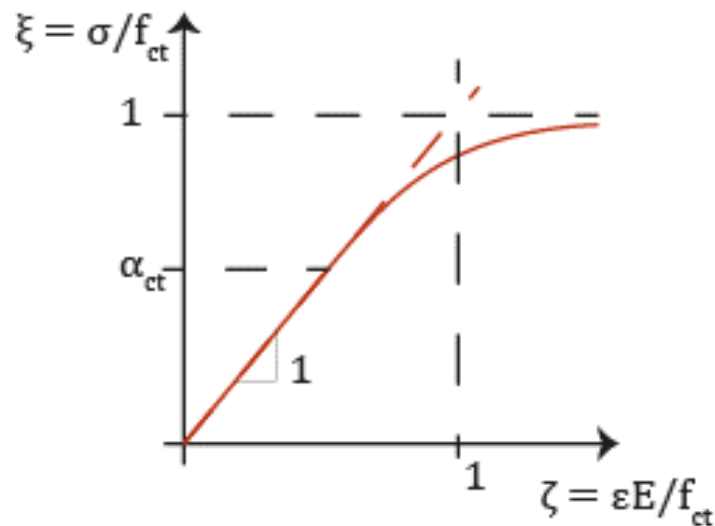
- PPB implementerar i form av spänningsberäkning:
 - samma simuleringsmetod för spänningsanalys som ConTeSt Pro – plankompensationsmetoden (Plane Surface Analysis)
 - senaste och mest verklighetstroga materialmodeller, dvs. de i ConTeSt Pro 5.1 med enstaka skillnader som beskrivs i senare delar av denna presentation
- Det förekommer dock skillnader i implementationen som resulterar i synliga skillnader i beräkningsresultat
- Den mest grundläggande skillnaden är att PPB delar in beräkningstiden i fler och kortare tidssteg, vilket gör beräkningen numeriskt mer stabil och noggrannare

Simulering i närheten av brottgräns



- När spänningskvoten (förhållandet mellan spänning och hållfasthet) närmar sig 1 (den teoretiska brottgränsen), övergår modellering av ett linjärelastiskt samband mellan spänning och töjning med tillägg av relaxation till modellering av ett delvis plastiskt sådant med modifierade deformationsegenskaper
- En konsekvens av denna modell är att ju närmare brottgräns man kommer desto lättare blir det att deformera materialet
- (för detaljer se bilaga 1 i slutrapport till SBUF 14016 *Analys av spänningsberäkning i ConTeSt och framtagning av prototyp för Produktionsplanering Betong*)

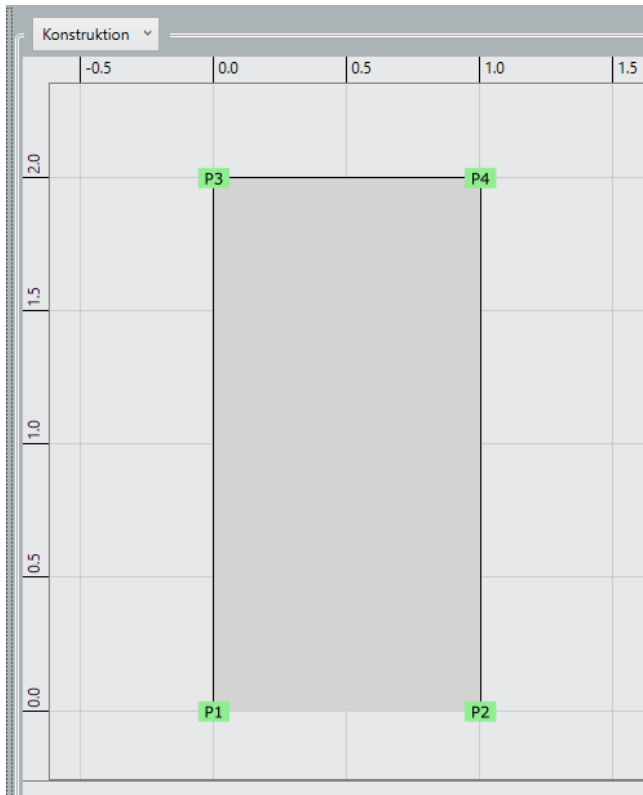
Simulering i närheten av brottgräns



- Materialets beteende i närheten av den teoretiska brottgränsen gör beräkningen mer numeriskt känslig
- Implementationen av beräkningen i ConTeSt Pro hanterar inte denna utmaning särskilt bra, vilket ibland kan medföra en rad märkliga resultat, så som fluktuationer i spänning, spänningskvot och/eller töjningskvot samt oförklarliga spikar och helt orimliga nivåer för dessa värden.
- PPB implementerar denna del av modellen på ett mer numeriskt stabilt sätt och uppvisar inte samma problem som ConTeSt Pro kan göra
- Vidare följer två exempel på hur instabilitet i ConTeSt Pro kan slå mot beräkningsresultat och en jämförelse med hur PPB hanterar samma simulering

Närheten av brottgräns

Exempel 1, konstruktion



- Som konstruktionsexempel används en 2 m hög och 1 m tjock vägg
- Simuleringstiden satt till 300 h
- Exempelfiler:
 - PPB: Manual S4a.ppbcomp
 - ConTeSt Pro: Manual S4a.cpr

Närheten av brottgräns

Exempel 1, material & gjutning

Blocktyp:

Material:

Bindemedelshalt (kg/m³)

Fcc28d (MPa)

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C)

Gjutning

☐ Momentan Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h)

☒ m/h Hastighet (m/h)

☐ m³/h Hastighet (m³/h)

Konstruktionslängd (m)

Klar efter (h)

- Materialet som används är
 - Cementa AnlCem Brevik 50% CEM I + 50% Slagg med AEA, C32/40, vct 0.45
- Vid gjutning simuleras påfyllning med en hastighet av 0.5 m/h

Närheten av brottgräns

Exempel 1, randvillkor

Randtyp: Sida

Väder: Vädret

Temperatur (°C): 5.0 ☐ Varierande Redigera...

Vindstyrka: Vindstilla [~1 (m/s)] ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

Temperaturhöjning (°C): 5.0

Värmeövergångstal (W/(m²·K))

30.000 Redigera...

☒ Varierande Redigera varierende...

Infravärme

Strålningseffekt (W/m²): 0.0

På (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h): 0h

Av (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h): 3d

☐ Varierande Redigera...

Tidsvarierande värmeövergångstal

Tidpunkt (yyyy.mm.dd hh.mm.ss y/m/d/h)	0h	Lägg till/Ändra
30.000		Redigera...
0h	2.800	Ta bort
4d	500.000	Rensa listan
		Ändra tidtyp
		Ok
		Avbryt

- Som väderlek används:
 - Lufttemperatur 5 °C
 - Vindstilla (~1 m/s)
- Undersidan sätts till adiabatisk
- Vänster och höger sida använder sig av en simulering av tjock träform med värmeövergångstal 2.8 med formrivning efter 4 dygn

Närheten av brottgräns

Exempel 1, randvillkor

The screenshot shows the 'Randtyp: Topp' (Top boundary) configuration window. It is divided into several sections:

- Väder (Weather):** Includes a dropdown for 'Vädret' (Weather) and input fields for 'Temperatur (°C)' (5.0) and 'Vindstyrka' (Vindstillastilla [~1 (m/s)]). Both have 'Varierande' (Variable) checkboxes and 'Redigera...' (Edit) buttons.
- Väderskydd (Weather protection):** Includes an 'Använd' (Use) checkbox and a 'Temperaturhöjning (°C)' (5.0) input field.
- Täckning (Covering):** Includes a 'Typ' (Type) dropdown set to 'Ingen (PPB 2025.03.27)', 'På' (From) and 'Av' (To) date/time pickers (1h and 7d respectively), a 'Varierande' checkbox, and a 'Redigera...' button.
- Infravärme (Infrared heat):** Includes a 'Strålningseffekt (W/m²)' (0.0) input field, 'På' and 'Av' date/time pickers (0h and 3d respectively), a 'Varierande' checkbox, and a 'Redigera...' button.

- Ovansidan sätts till fri yta utan täckning
- Lufttemperatur för den rörliga gjutranden sätts till samma värde som för väderleken

Närheten av brottgräns

Exempel 1, yttre tvång & inre last

Detaljspecifikation

Yttre tvång

Translation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som töjning i djupled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som kraft (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1) 0.10

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Vertikal rotation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i vertikallplanet (runt x-axeln), dvs. konstruktionen skjuter rygg (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1) 0.10

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Horisontell rotation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i horisontalplanet (runt y-axeln), dvs. konstruktionen böjs i sidled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1) 0.10

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Inre last

Vägg

☐ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilineär ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m) 10.000

Variationsriktning

☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog

☐ Använd

Fogbredd (m)

☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen 1.000

Utsträckning från fog (m)

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen 2.000

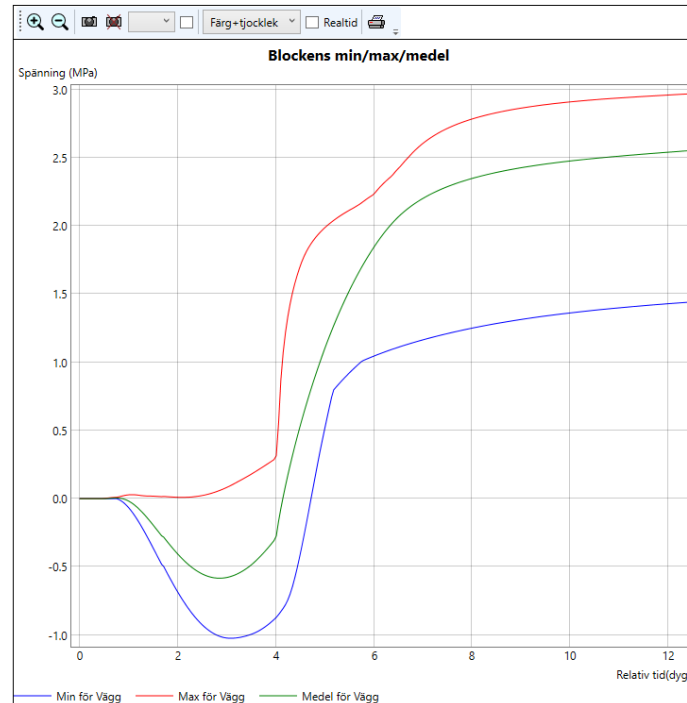
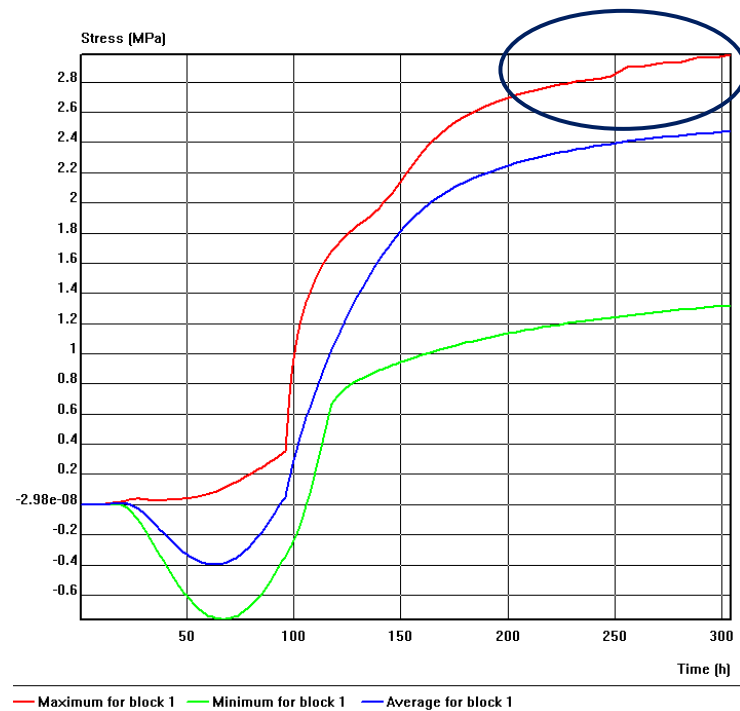
☐ Växla till konstant vid tidpunkt 1y 1m 26d 16h

Faktor (0-1) 1

- Yttre tvång sätts till fullt för alla tre rörelseriktningar
- För inre last används variation mellan övre fri kant och undre fog med en konstruktionslängd av 10 m

Närheten av brottgräns

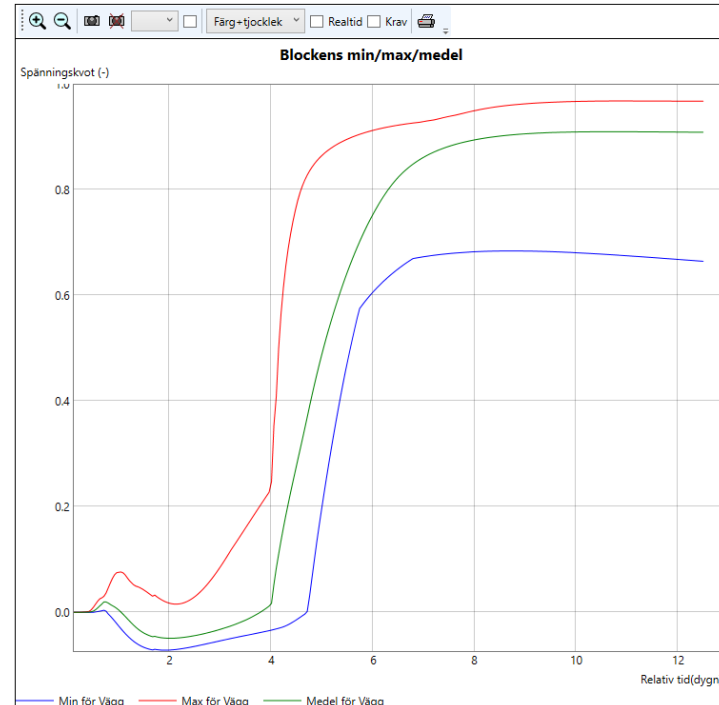
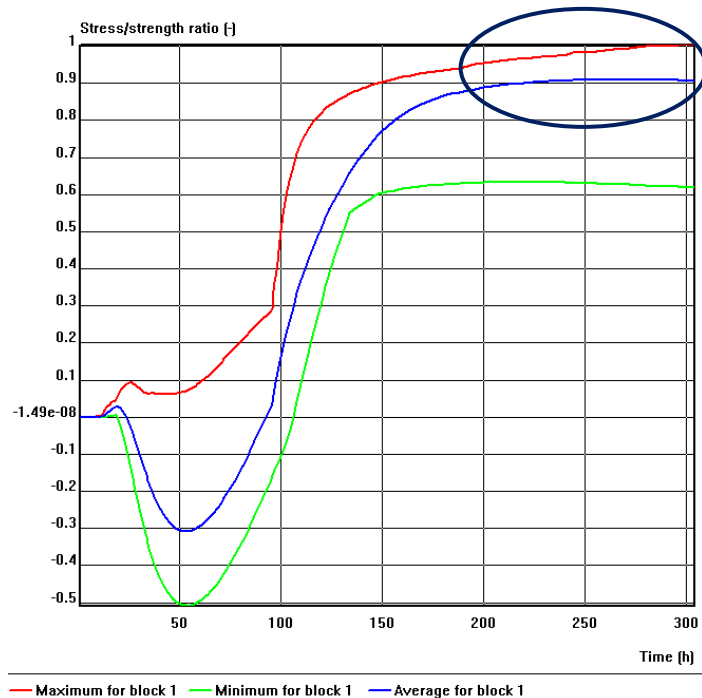
Exempel 1, spänning



- En jämförelse av spänning (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att maxkurvan i ConTeSt Pro blir något hackig i sin högsta del
- Denna hackighet finns inte i kurvan från PPB

Närheten av brottgräns

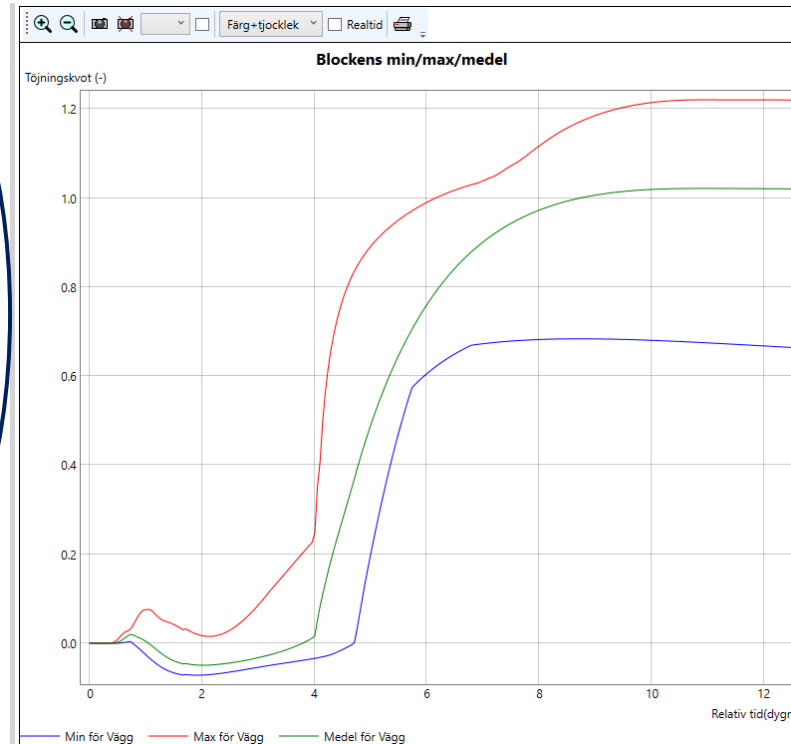
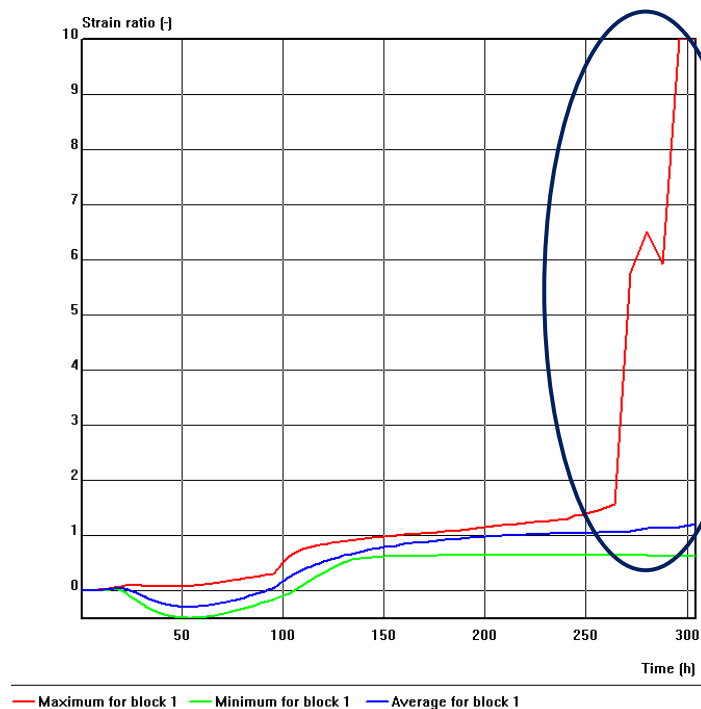
Exempel 1, spänningskvot



- En jämförelse av spänningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att maxkurvan i ConTeSt Pro också har en viss hackighet, dock i detta fall mindre än för spänning
- Denna hackighet finns inte i kurvan från PPB
- Skillnader i den negativa delen av diagrammet behandlas senare i denna presentation

Närheten av brottgräns

Exempel 1, tökningskvot



- En jämförelse av töjningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att maxkurvan i ConTeSt Pro blir både hackig och sticker iväg rejält
- Inget av detta finns i kurvan från PPB
- Skillnader i den negativa delen av diagrammet behandlas senare i denna presentation

Närheten av brottgräns

- Felaktigheterna i resultaten från ConTeSt Pro i den presenterade simuleringen är ett exempel på numeriska problem i detta verktyg då materialtillståndet närmar sig brottgräns
- Vidare följer ytterligare ett exempel med mer extrema resultat där hela simuleringen i ConTeSt Pro blir i princip orimlig

Närheten av brottgräns

Exempel 2, material & gjutning

Blocktyp: Ung betong

Material: Cementa AnlCem FA med AEA, C 35/45, vctgkv=0.40, CEM II/A-V, S4, Dmax=16 (mm) (PPB 2025.04.23)

Bindemedelshalt (kg/m³) 430.0

Fcc28d (MPa) 53.0

Redigera... Sätt till original (Originaldata)

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C) 15

Gjutning

☐ Momentan Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 0h

☒ m/h Hastighet (m/h) 0.5

☐ m³/h Hastighet (m³/h) 15.0

Konstruktionslängd (m) 10.000

Klar efter (h) 4.00

- Samma konstruktion som i det tidigare fallet används
- Materialet byts till:
 - Cementa AnlCem FA med AEA, C35/45, vct 0.40, S4
- Exempelfiler:
 - PPB: Manual S4b.ppbcomp
 - ConTeSt Pro: Manual S4b.cpr

Närheten av brottgräns

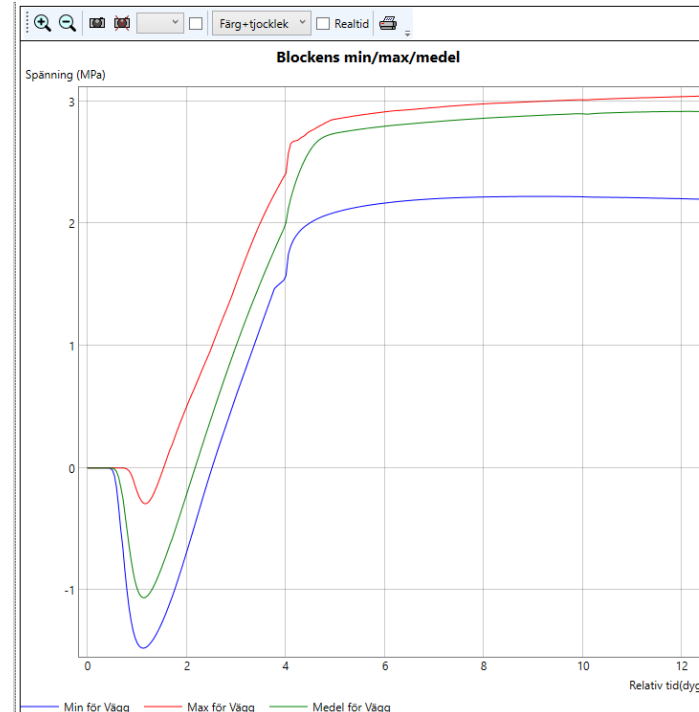
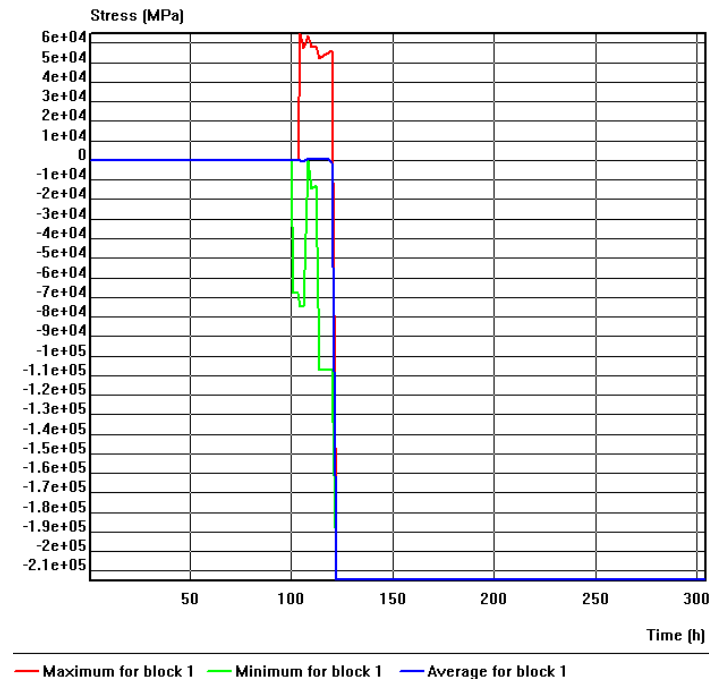
Exempel 2, randvillkor

The screenshot shows the 'Randtyp' (Boundary Type) settings in the PPB software. The 'Randtyp' dropdown is set to 'Vänster sida ung betong'. The 'Väder' (Weather) section is set to 'Vädret' (Weather) with a temperature of 5.0°C and wind speed of 'Vindstilla [~1 (m/s)]'. The 'Väderskydd' (Weather Protection) section has 'Använd' (Use) checked and a temperature increase of 5.0°C. The 'Form' (Form) section is set to 'Formtyp' (Form Type) as 'Trä 22-25mm, isolerat (PPB 2022.12.06)'. The 'Formrivning' (Formwork) section has 'Manuell formrivning' (Manual formwork) selected, with a 'Formrivningstidpunkt' (Formwork removal time) of 4d. The 'Villkor' (Conditions) section has '% av fordrad 28-dygns hållfasthet' (Percentage of required 28-day strength) set to 70, 'Tryckhållfasthet (MPa)' (Compressive strength (MPa)) set to 5.0, and 'Randens härdningsklass' (Boundary curing class) checked. The 'Isolering efter formrivning' (Insulation after formwork removal) section has 'Isoleringstyp' (Insulation type) set to 'Ingen (PPB 2025.03.27)', 'Fördröjning efter formrivning (y/m/d/h)' (Delay after formwork removal (y/m/d/h)) set to 1h, and 'Av (yyyy.mm.dd hh.m)' (Until (yyyy.mm.dd hh.m)) set to 7d.

- För vänster och höger sida används en 2.5 cm träform utan isolering
- Formrivning sker efter 4 dygn
- Alla andra ränder är som tidigare

Närheten av brottgräns

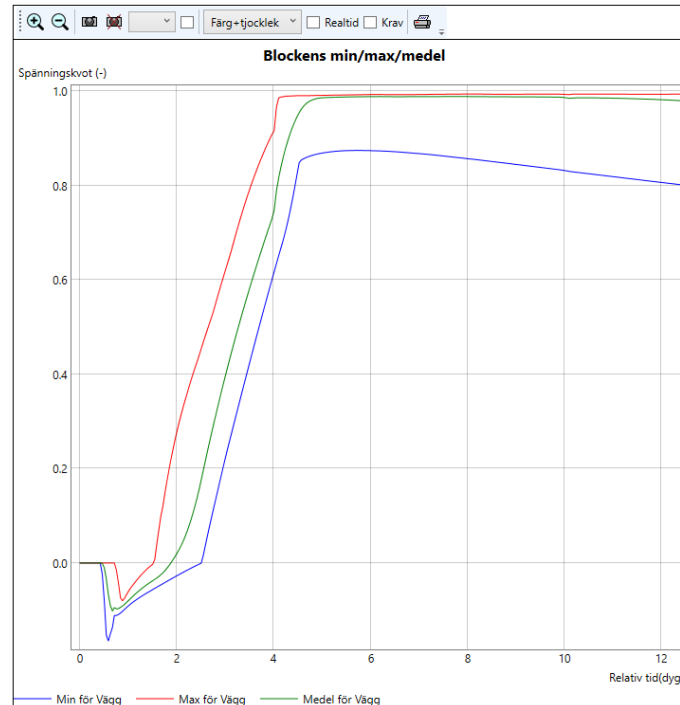
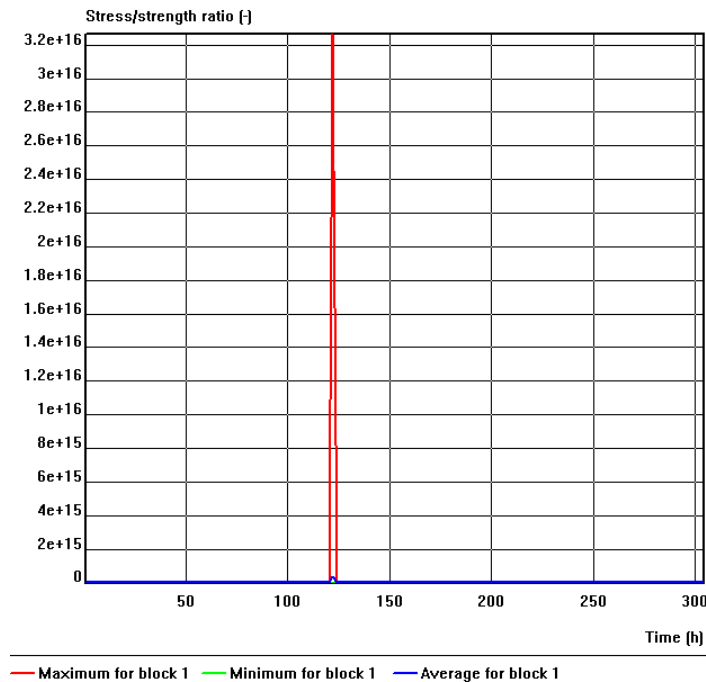
Exempel 2, spänning



- En jämförelse av spänning (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att beräkningen i ConTeSt Pro uppvisar brister i numerisk stabilitet. Detta påverkar spänningskurvorna till oigenkännlighet och gör dem otillförlitliga.
- Kurvorna för spänning från PPB ser normala ut.

Närheten av brottgräns

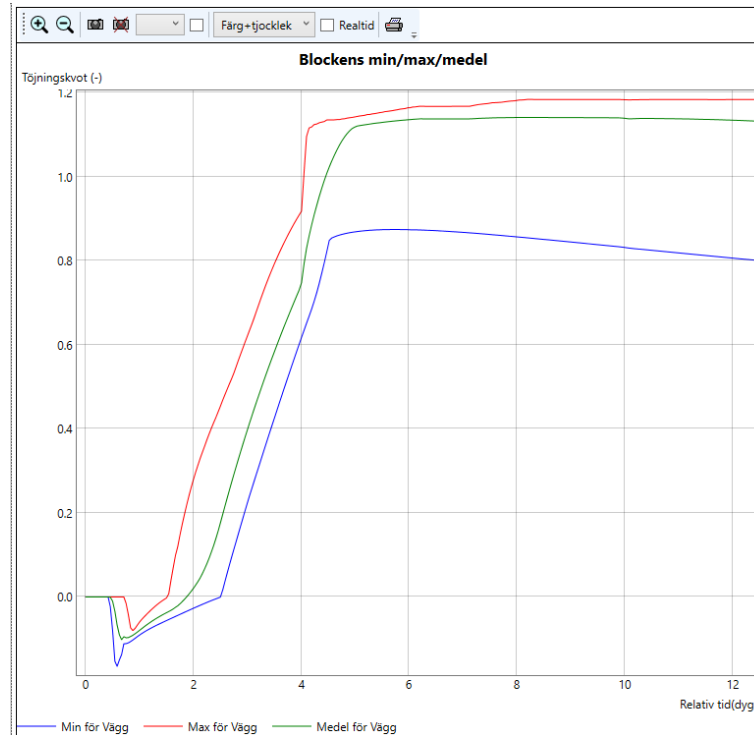
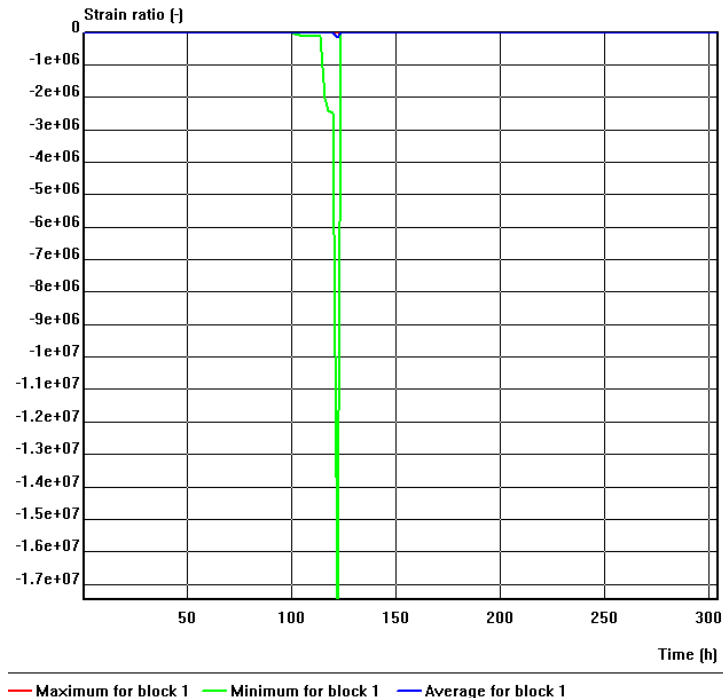
Exempel 2, spänningskvot



- En jämförelse av spänningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att beräkningen i ConTeSt Pro uppvisar brister i numerisk stabilitet Detta påverkar kurvorna för spänningskvot till oigenkännlighet och gör dem otillförlitliga.
- Kurvorna för spänningskvot från PPB är något extrema men inte orimliga

Närheten av brottgräns

Exempel 2, töjningskvot



- En jämförelse av töjningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att beräkningen i ConTeSt Pro uppvisar brister i numerisk stabilitet. Detta påverkar kurvorna för töjningskvot till oigenkännlighet och gör dem otillförlitliga.
- Kurvorna för töjningskvot från PPB är något extrema men inte orimliga.

Simulering i närheten av brottgräns

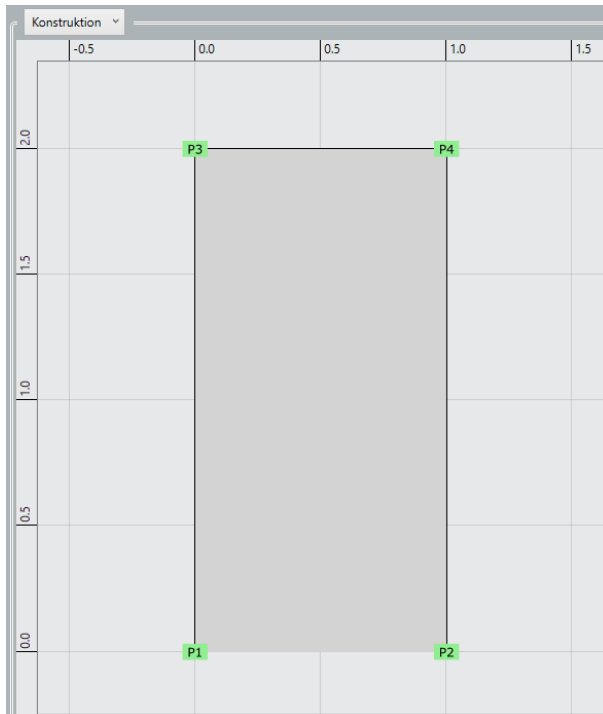
- I närheten av materialets teoretiska brottgräns blir simulering mer numeriskt krävande.
- ConTeSt Pro kan i vissa situationer ha problem med detta. Problemen kan resultera i störda resultat, hackiga kurvor eller i värsta fall i helt orimliga resultat.
- PPB hanterar denna utmaning på ett stabilt sätt och beräknar rimliga resultat,
- Alla materialmodeller som används är approximationer av verkligheten och beräkningsresultaten måste också ses som sådana, även om de ser ut att vara rimliga och stabila.
- Höga spänningar, nära teoretisk brottgräns, är behäftade med relativt stora osäkerheter. Detta tillsammans med själva närheten till brottgränsen ger en hög sprickrisk för konstruktionen och bör därför undvikas.
- Ett stabilt beräkningsresultat från PPB kan användas för att studera hur och varför man hamnat i så höga spänningsnivåer och för framtagning av åtgärder för att undvika situationen.
- Instabila och ibland orimliga beräkningsresultat från ConTeSt Pro kan försvåra detta arbete.

Spänningskvot och töjningskvot är fel i ConTeSt Pro vid tryck

- ConTeSt beräknar spänningskvot och töjningskvot felaktigt för tryckspänning, dvs. negativa värden för kvoterna
- Spänningskvoten skall vara förhållandet mellan spänning och hållfasthet vid varje given tidpunkt
- För drag räknar ConTeSt rätt – spänningskvoten är spänningen dividerad med draghållfasthet
- För tryck räknar ConTeSt fel - spänningskvoten är spänningen dividerad med draghållfasthet i stället för tryckhållfasthet, vilket kan påverka både spänningsbilden och spänningskvoten vid dragspänning i resten av konstruktionen
- Då draghållfastheten normalt sett är en storleksordning lägre än tryckhållfastheten, resulterar detta i för höga nivåer (absolutvärden) för spänningskvoten under tryck
- Då töjningskvoten baserar sig på spänningskvoten gäller samma fenomen även töjningskvot under tryck, dvs. negativ töjningskvot.

Fel kvoter

Exempel, konstruktion



- För att exemplifiera skillnaden i beräkning av spännings- och töjningskvot används ett liknande beräkningsfall som i förra exemplet
- Som konstruktionsexempel används en 2 m hög och 1 m tjock vägg
- Simuleringstiden sätt till 200 h
- Exempelfiler:
 - PPB: Manual S4c.ppbcomp
 - ConTeSt Pro: Manual S4c.cpr

Fel kvoter

Exempel, material & gjutning

Blocktyp: Ung betong

Material: Cementa AnlCem Brevik 50% CEM I + 50% Slagg med AEA, C 32/40, vctgkv=0.45, CEM I + k, S4, Dmax=16

Bindemedelshalt (kg/m³) 400.0

Fcc28d (MPa) 48.0

Redigera... Sätt till original (Original)

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C) 15

Gjutning

☐ Momentan Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 0h

☒ m/h Hastighet (m/h) 0.5

☐ m³/h Hastighet (m³/h) 15.0

Konstruktionslängd (m) 10.000

Klar efter (h) 4.00

- Materialet som används är
 - Cementa AnlCem Brevik 50% CEM I + 50% Slagg med AEA, C32/40, vct 0.45
- Vid gjutning simuleras påfyllning med en hastighet av 0.5 m/h

Fel kvoter

Exempel, randvillkor

Randtyp: Vänster sida ung betong

Väder: Vädret

Temperatur (°C): 5.0 ☐ Varierande Redigera...

Vindstyrka: Vindstilla [~1 (m/s)] ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

Temperaturhöjning (°C): 5.0

Form

Formtyp: Trä 22-25mm, isolerat (PPB 2022.12.06)

Formrivning: ☒ Manuell formrivning ☐ Automatisk formrivning

Formrivningstidpunkt (yyyy.mm.dd hh.mm.ss): 4d

Villkor

☐ % av fordrad 28-dygns hållfasthet: 70 ☒ Medel ☐ Min

☒ Tryckhållfasthet (MPa): 5.0 ☐ Medel ☒ Min

☒ Randens hårdningsklass

Isolering efter formrivning

Isoleringstyp: Ingen (PPB 2025.03.27)

Fördröjning efter formrivning (y/m/d/h): 1h

Av (yyyy.mm.dd hh.m): 7d

- Som väderlek används:
 - Lufttemperatur 5 °C
 - Vindstilla (~1 m/s)
- Undersidan sätts till adiabatisk
- För vänster och höger sida används en 2.5 cm träform utan isolering
- Formrivning sker efter 4 dygn

Fel kvoter

Exempel, randvillkor

The screenshot shows the 'Randtyp: Topp' (Boundary Type: Top) configuration window. It includes sections for weather conditions, wind, weather protection, insulation, and heating. The 'Väder' (Weather) section is active, showing 'Vädret' (Weather) selected. The 'Temperatur (°C)' (Temperature) is set to 5.0, and 'Vindstyrka' (Wind speed) is set to 'Vindstillastilla [~1 (m/s)]'. The 'Väderskydd' (Weather protection) section has 'Använd' (Use) checked, and 'Temperaturhöjning (°C)' (Temperature increase) is set to 5.0. The 'Täckning' (Insulation) section has 'Typ' (Type) set to 'Ingen (PPB 2025.03.27)'. The 'Infrastruktur' (Infrastructure) section has 'Strålningsseffekt (W/m²)' (Radiation effect) set to 0.0. The 'På' (On) and 'Av' (Off) dates are set to '1h' and '7d' respectively. The 'Varierande' (Variable) checkbox is unchecked. The 'Redigera...' (Edit) button is visible at the bottom right.

- Ovansidan sätts till fri yta utan täckning
- Lufttemperatur för den rörliga gjutranden sätts till samma värde som för väderleken

Fel kvoter

Exempel, yttre tvång & inre last

Yttre tvång

Translation

☒ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som töjning i djupled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som kraft (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☐ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Vertikal rotation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i vertikalplanet (runt x-axeln), dvs. konstruktionen skjuter rygg (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Horisontell rotation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i horisontalplanet (runt y-axeln), dvs. konstruktionen böjs i sidled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Inre last

Vägg

☐ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilinjär ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m)

Variationsriktning

☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog

☐ Använd

Fogbredd (m)

☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen

Utsträckning från fog (m)

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

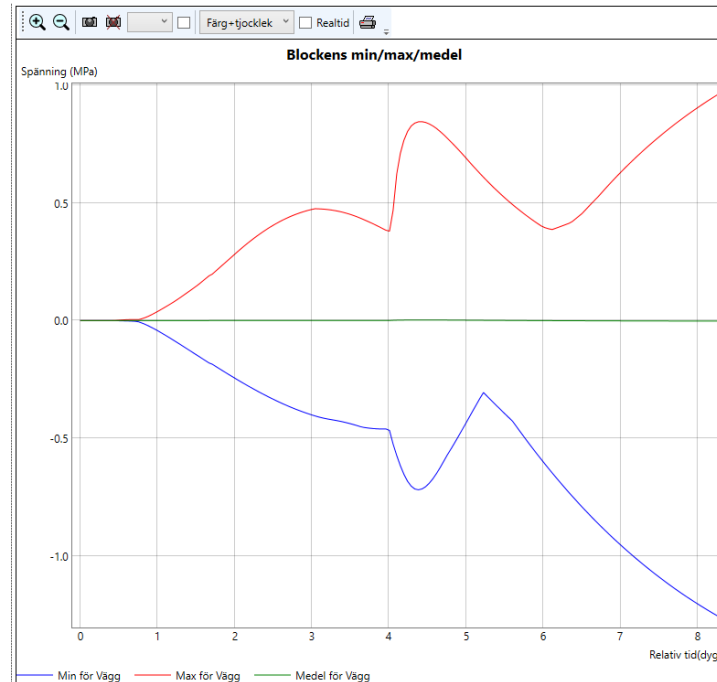
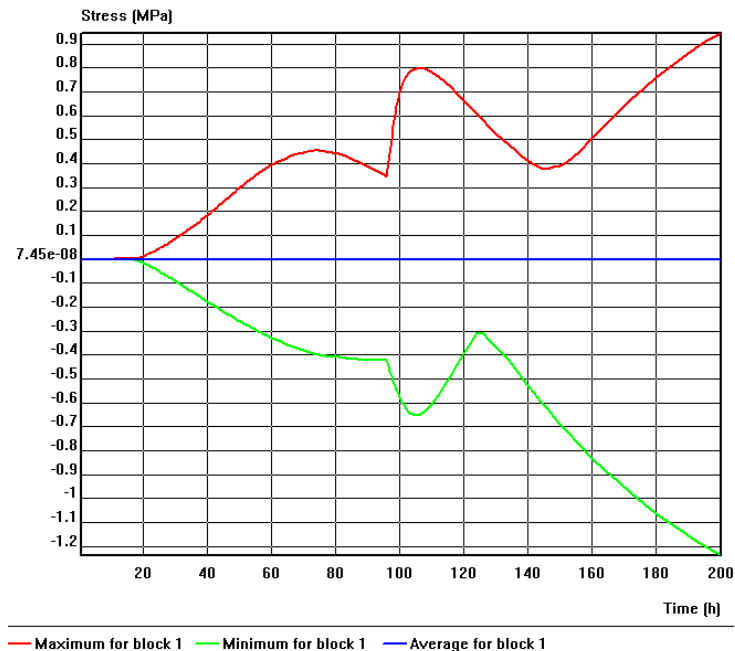
☒ Växla till konstant vid tidpunkt

Faktor (0-1)

- Yttre tvång sätts till
 - fullt för bägge rotationsriktningar
 - inget för translation
- För inre last används variation mellan övre fri kant och undre fog med en konstruktionslängd av 10 m

Fel kvoter

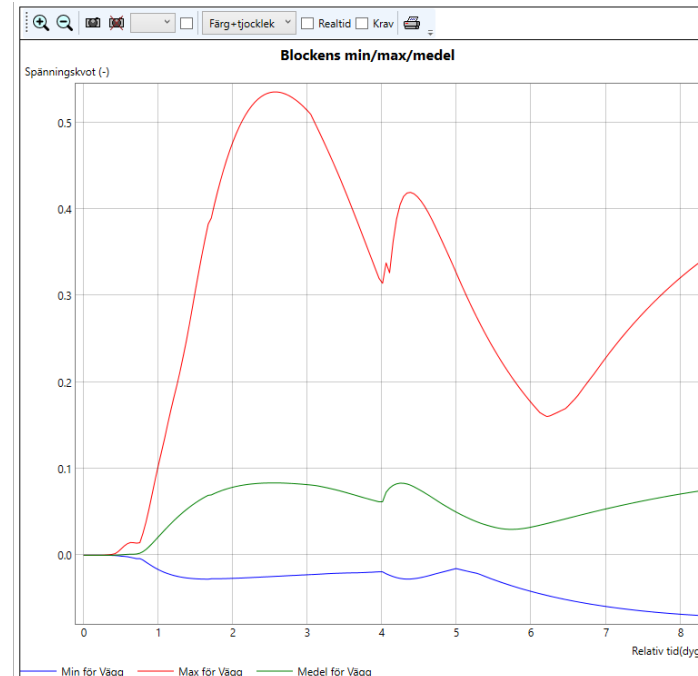
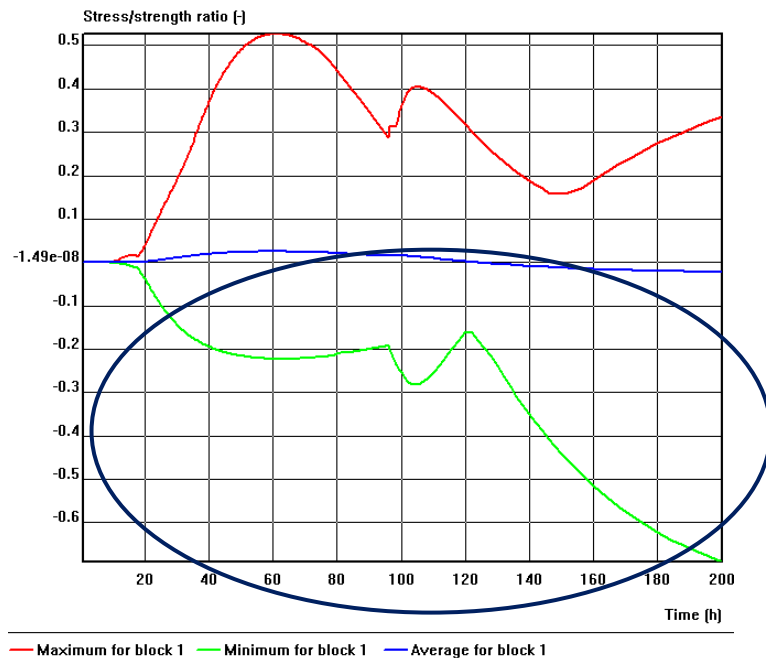
Exempel, spänning



- En jämförelse av spänning (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar samma spänningsbild i bägge simuleringar

Fel kvoter

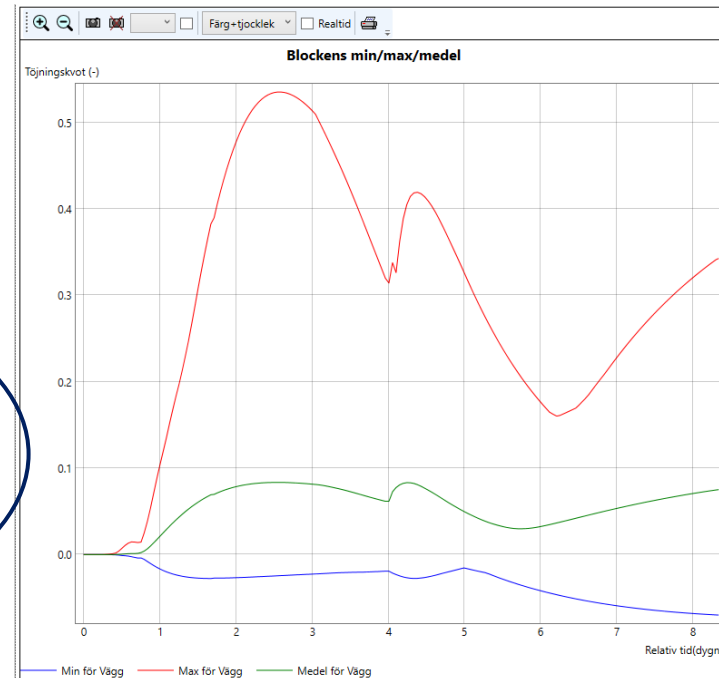
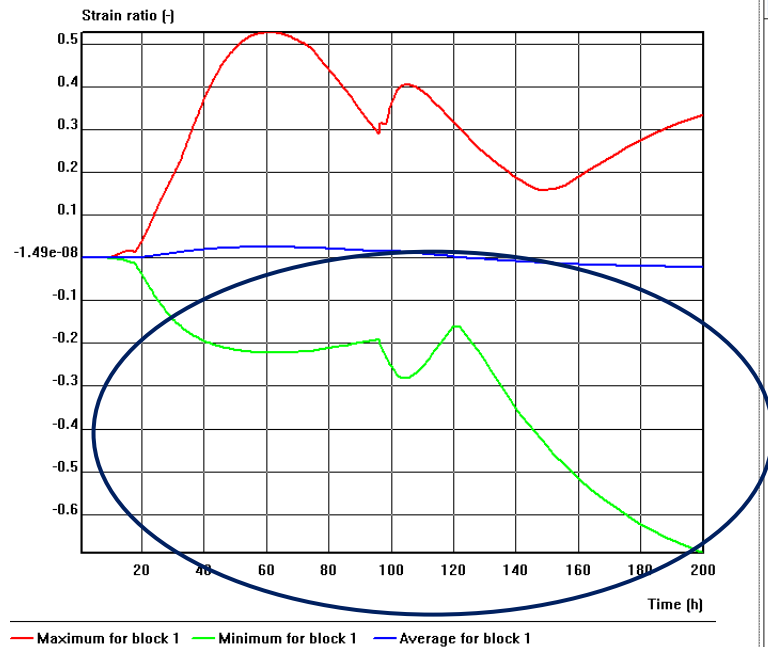
Exempel, spänningskvot



- En jämförelse av spänningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar en påtaglig skillnad för den negativa delen av skalan (tryck)
- Då ConTeSt Pro dividerar spänningen med en felaktig, mycket mindre hållfasthet erhålls en mycket större negativ kvot än i verkligheten

Fel kvoter

Exempel, töjningskvot



- En jämförelse av töjningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar en påtaglig skillnad för den negativa delen av skalan (tryck)
- Då ConTeSt Pro baserar töjningskvot på den vid tryck felaktigt beräknade spänningskvoten, blir även den negativa töjningskvoten fel

Spänningskvot och töjningskvot är fel i ConTeSt Pro vid tryck

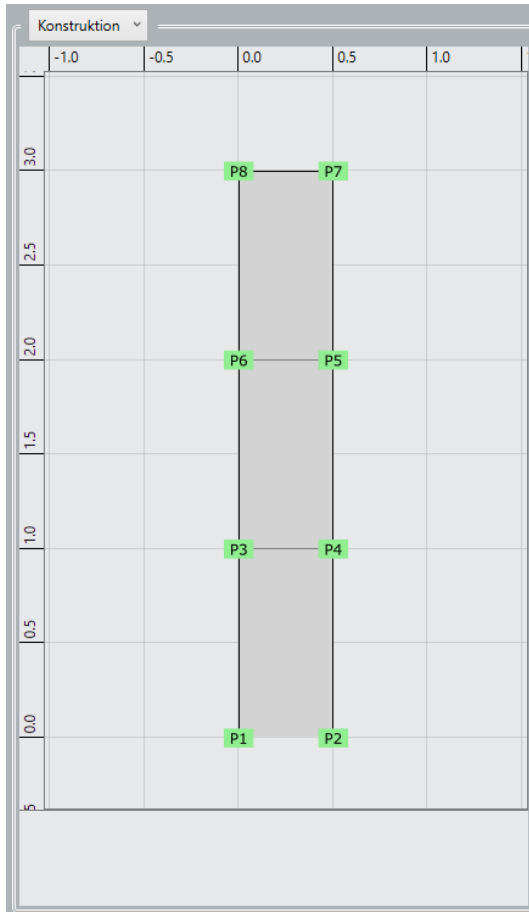
- ConTeSt Pro redovisar felaktigt beräknad spänningskvot och töjningskvot vid tryck (negativa värden för kvoterna)
- Nivån (absolutbeloppet) för dessa värden blir mycket högre än i verkligheten
- PPB beräknar kvoterna i förhållande till rätt hållfastheter och undviker detta fel

Felaktig startspänning vid flera block med fördröjd gjutning

- Vid simulering av spänning i konstruktioner med flera block av ung betong med fördröjd gjutning (t.ex. först bottenplatta, därefter vägg och ännu senare valv) kan ConTeSt Pro ställa till med en annan uppenbar felaktighet i beräkningen:
 - startnivå för spänning i block som gjuts med fördröjning kan skilja sig från 0
 - detta är uppenbart fel då all betong som gjuts, startar från ett spänningslöst tillstånd eftersom den vid gjutning är flytande och inte kan ta upp spänningar
 - genom balansering av krafter och moment över hela konstruktionen och mot det yttre tvånget, påverkar dessa felaktiga startnivåer potentiellt sett hela konstruktionen
 - det är svårt att ge en bra generell beskrivning under vilka exakta förutsättningar felet uppträder och hur mycket det påverkar resten av simuleringen
- PPB är inte drabbat av detta fel
- Nedan ges ett schematiskt exempel på hur denna skillnad kan påverka resultaten från bägge beräkningsverktygen

Felaktig startspänning

Exempel, konstruktion



- Som konstruktionsexempel tre på varandra staplade block, var och en 1 m hög och 0.5 m tjock
- Simuleringstiden satt till 400 h
- Exempelfiler:
 - PPB: Manual S4d.ppbcomp
 - ConTeSt Pro: Manual S4d.cpr

Felaktig startspänning

Exempel, material

The screenshot shows a software interface for defining concrete material properties. It includes a dropdown for 'Blocktyp' set to 'Ung betong', a text field for 'Material' with a detailed cement and slag specification, input fields for 'Bindemedelshalt' (400.0) and 'Fcc28d' (48.0), buttons for 'Redigera...' and 'Sätt till original', and a section for 'Färska betongmassans temperatur i formen' with a temperature input of 15°C.

Blocktyp:	Ung betong
Material:	Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C 32/40, vctgkv=0.45, CEM I + k, S4, Dmax:
Bindemedelshalt (kg/m ³)	400.0
Fcc28d (MPa)	48.0
Redigera... Sätt till original (O)	
Färska betongmassans temperatur i formen	
Temperatur (°C)	15

- Materialet som används är
- Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C32/40, vct 0.45

Felaktig startspänning

Exempel, fördröjd gjutning

Gjutning	
☐ Momentan	Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss y/m/d) 0h
☒ m/h	Hastighet (m/h) 0.5
☐ m³/h	Hastighet (m³/h) 15.0
	Konstruktionslängd (m) 10.000
	Klar efter (h) 2.00

Gjutning	
☐ Momentan	Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss y/m/d/h) 8d 8h
☒ m/h	Hastighet (m/h) 0.5
☐ m³/h	Hastighet (m³/h) 15.0
	Konstruktionslängd (m) 10.000
	Klar efter (h) 2.00

Gjutning	
☐ Momentan	Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss y/m/d/h) 12d 12h
☒ m/h	Hastighet (m/h) 0.5
☐ m³/h	Hastighet (m³/h) 15.0
	Konstruktionslängd (m) 10.000
	Klar efter (h) 2.00

- Vid gjutning simuleras påfyllning med en hastighet av 0.5 m/h för samtliga block
- Det undre blocket startar vid 0h
- Det mittre blocket startar vid 200 h
- Det övre blocket startar vid 300 h

Felaktig startspänning

Exempel, fördröjd gjutning

- Samma startförfarande i ConTeSt Pro anges i enlighet med figuren till vänster

Filling rate

Time (h)

Height (m) - y-coord.

0	0
2	1
200	2
202	2
300	2
302	3

Add/Change item

Delete item

Clear list

OK

Cancel

Felaktig startspänning

Exempel, randvillkor

Detaljspecifikation

Block Underst: Rand (Ra4): Vänster sida

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Från 0,00(h)

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☐ Härdningsklass

Härdningsklass 1

Kontrollpunkter...

Randtyp: Vänster sida ung betong

Väder: Vädret

Temperatur (°C): 15.0 ☐ Varierande Redigera...

Vindstyrka: Vindstill [~1 (m/s) ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

Temperaturhöjning (°C): 5.0

Form

Formtyp: Trä 22-25mm, oisolerat (PPB 2022.12.06)

Formrivning: ☒ Manuell formrivning ☐ Automatisk formrivning

Formrivningstidpunkt (yyyy.mm.dd hh.mm): 1m 11d 16h

Villkor

☐ % av fordrad 28-dygns hållfasthet: 70 ☒ Medel ☐ Min

☒ Tryckhållfasthet (MPa): 5.0 ☐ Medel ☒ Min

☒ Randens härdningsklass

Isolering efter formrivning

Isoleringstyp: Ingen (PPB 2025.03.27)

Fördröjning efter formrivning (y/m/d/h): 1h

Av (yyyy.mm.dd hh.m): 7d

Storleksdefinition för nät

☒ Automatisk

☐ Använd

Storlek (m): 0.025

Konstruktion

-0.5 0.0 0.5

3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5 0.0

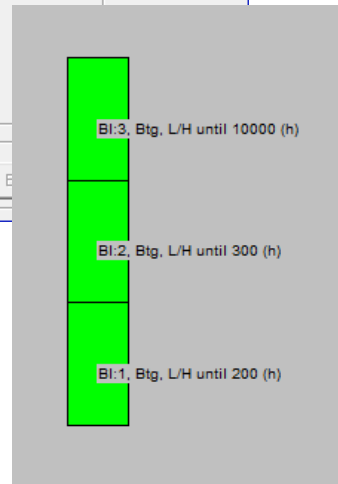
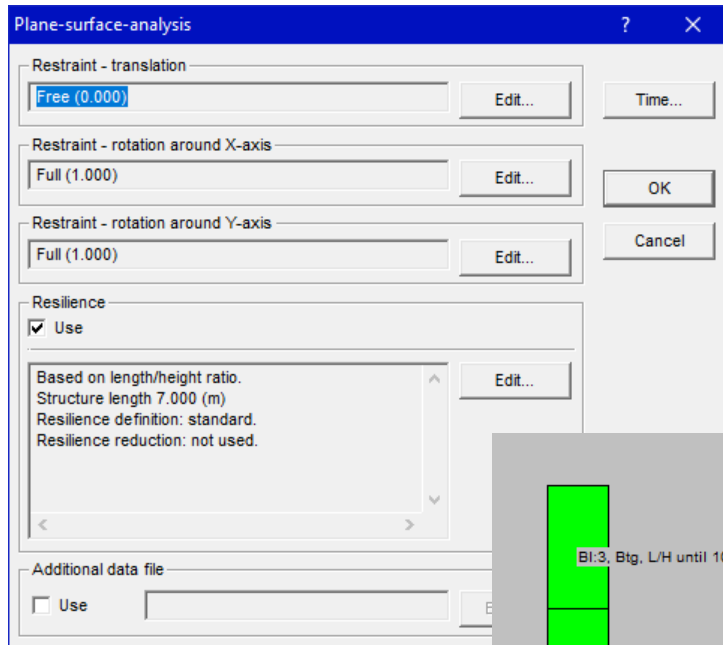
■ Rand: Vänster sida (Block: Underst), Randtyp:

■ Randtyp: Vänster sida ung betong

- Som väderlek används:
 - Lufttemperatur 15 °C
 - Vindstill (∼1 m/s)
- Undersidan sätts till adiabatisk
- För alla vänster- och högersidor används en 2.5 cm träform utan isolering och i detta fall utan formrivning inom simuleringstiden
- Alla ovansidor sätts till fri yta utan täckning
- Lufttemperatur för den rörliga gjutranden sätts till samma värde som för väderleken

Felaktig startspänning

Exempel, yttre tvång & inre last



- Yttre tvång sätts till
 - fullt för bägge rotationsriktningar
 - inget för translation
- För inre last används variation mellan övre fri kant och undre fog med en konstruktionslängd av 7 m
- Varje block övergår till konstant inre last då nytt block gjuts ovanpå
- (bilder till vänster visar configurationen i ConTeSt Pro)

Felaktig startspänning

Exempel, yttre tvång & inre last

Yttre tvång

Translation

☒ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som töjning i djupled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som kraft (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☐ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Vertikal rotation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i vertikalplanet (runt x-axeln), dvs. konstruktionen skjuter rygg (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Horisontell rotation

☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i horisontalplanet (runt y-axeln), dvs. konstruktionen böjs i sidled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Inre last

Underst

☐ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilineär ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m)

Variationsriktning

☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog

☐ Använd

Fogbredd (m)

☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen

Utsträckning från fog (m)

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

☒ Växla till konstant vid tidpunkt

Faktor (0-1)

- Yttre tvång sätts till
 - fullt för bägge rotationsriktningar
 - inget för translation
- För inre last används variation mellan övre fri kant och undre fog med en konstruktionslängd av 7 m
- Varje block övergår till konstant inre last då nytt block gjuts ovanpå
- (bilder till vänster visar configurationen i PPB)

Felaktig startspänning

Exempel, yttre tvång & inre last

Mitten

☐ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilineär ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m)

Variationsriktning
☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog
☐ Använd

Fogbredd (m)
☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen

Utsträckning från fog (m)
☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

☒ Växla till konstant vid tidpunkt 

Faktor (0-1)

Överst

☐ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilineär ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m)

Variationsriktning
☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog
☐ Använd

Fogbredd (m)
☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen

Utsträckning från fog (m)
☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

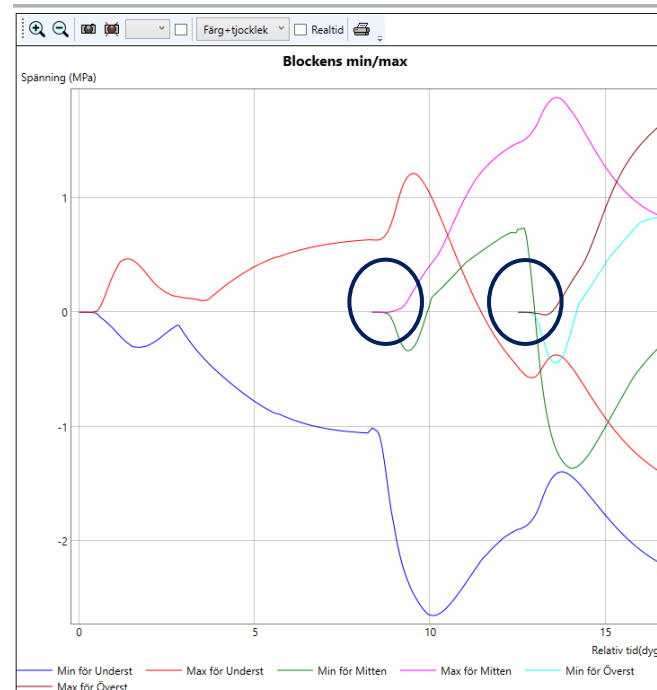
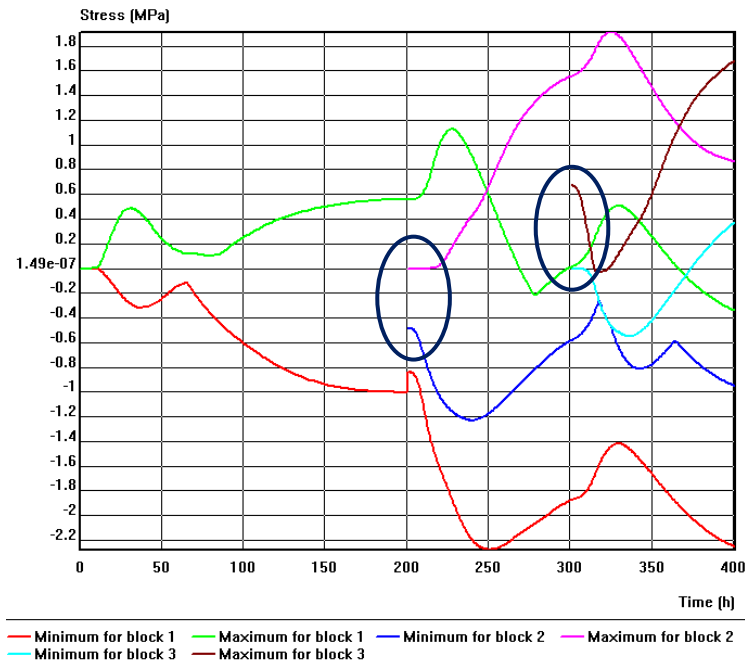
☐ Växla till konstant vid tidpunkt 

Faktor (0-1)

- För inre last används variation mellan övre fri kant och undre fog med en konstruktionslängd av 7 m
- Varje block övergår till konstant inre last då nytt block gjuts ovanpå
- (bilder till vänster visar konfigurationen i PPB)

Felaktig startspänning

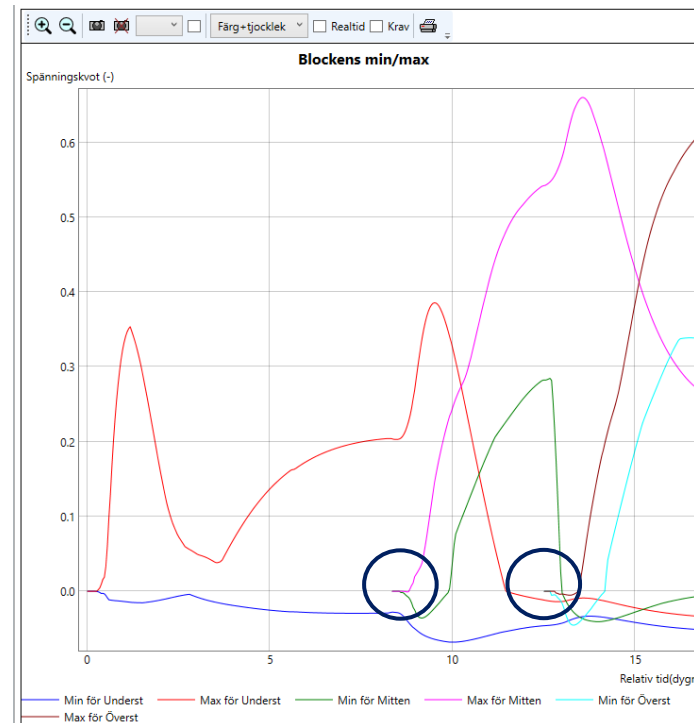
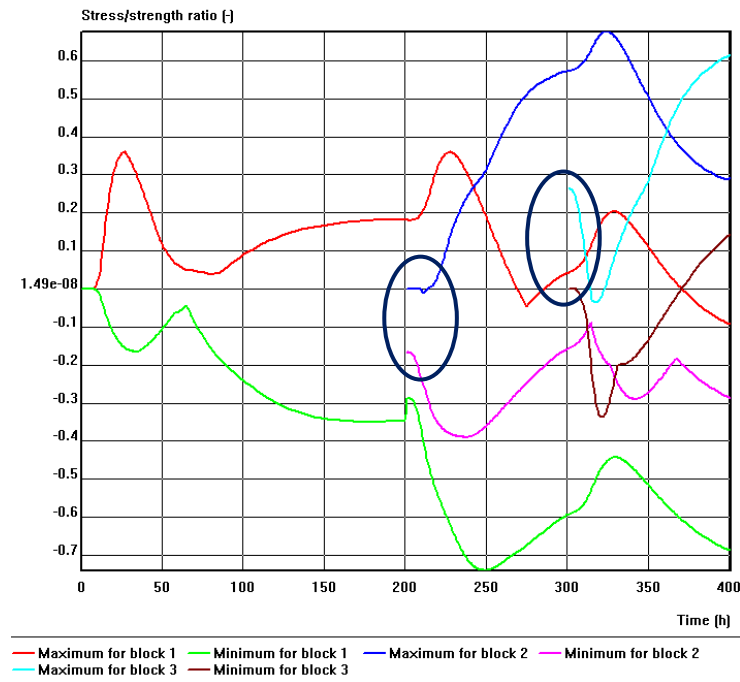
Exempel, spänning



- En jämförelse av spänning (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att delar av mittre blocket startar med tryckspänningar och delar av övre blocket med dragspänningar i ConTeSt Pro
- Alla block startar i spänningsfritt tillstånd i PPB

Felaktig startspänning

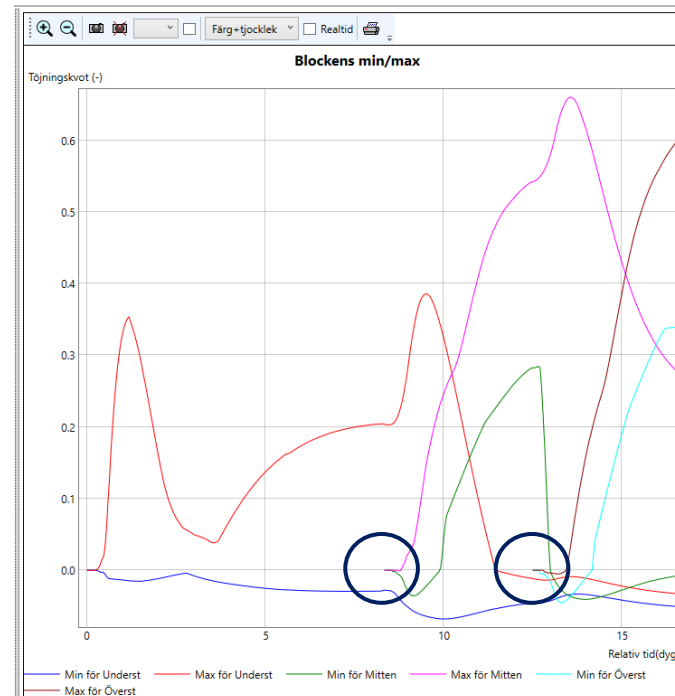
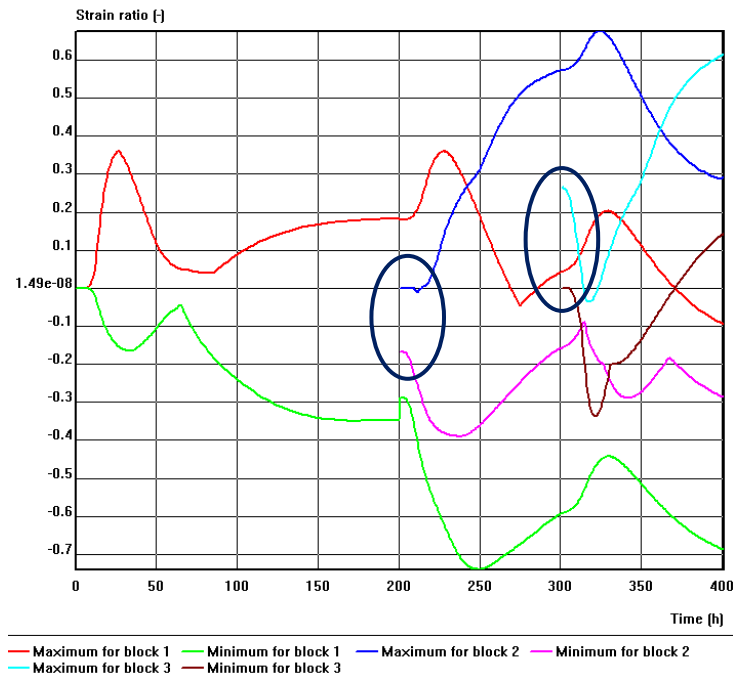
Exempel, spänningskvot



- En jämförelse av spänningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att problemet med felaktig startspänning i de övre två blocken i ConTeSt Pro sprider sig till spänningskvot
- Problemet finns inte i PPB

Felaktig startspänning

Exempel, töjningskvot



- En jämförelse av töjningskvot (vänster ConTeSt Pro och höger PPB) visar att problemet med felaktig startspänning i de övre två blocken i ConTeSt Pro sprider sig till töjningskvot
- Problemet finns inte i PPB

Felaktig startspänning vid flera block med fördröjd gjutning

- ConTeSt Pro kan starta med felaktigt spänningstillstånd i block med fördröjd gjutning i konstruktioner med flera block.
- Delar av blocken kan starta i drag eller tryck, vilket är uppenbart fel. All betong som gjuts, startar från ett spänningslöst tillstånd eftersom den vid gjutning är flytande och inte kan ta upp spänningar
- Dessa initialfel påverkar potentiellt sett hela konstruktionen genom den beräkningsmodell som används. Det är svårt att generellt säga hur mycket detta fel påverkar resten av simuleringen.
- PPB är inte drabbat av detta fel.

Hållfasthet vid höga temperaturer

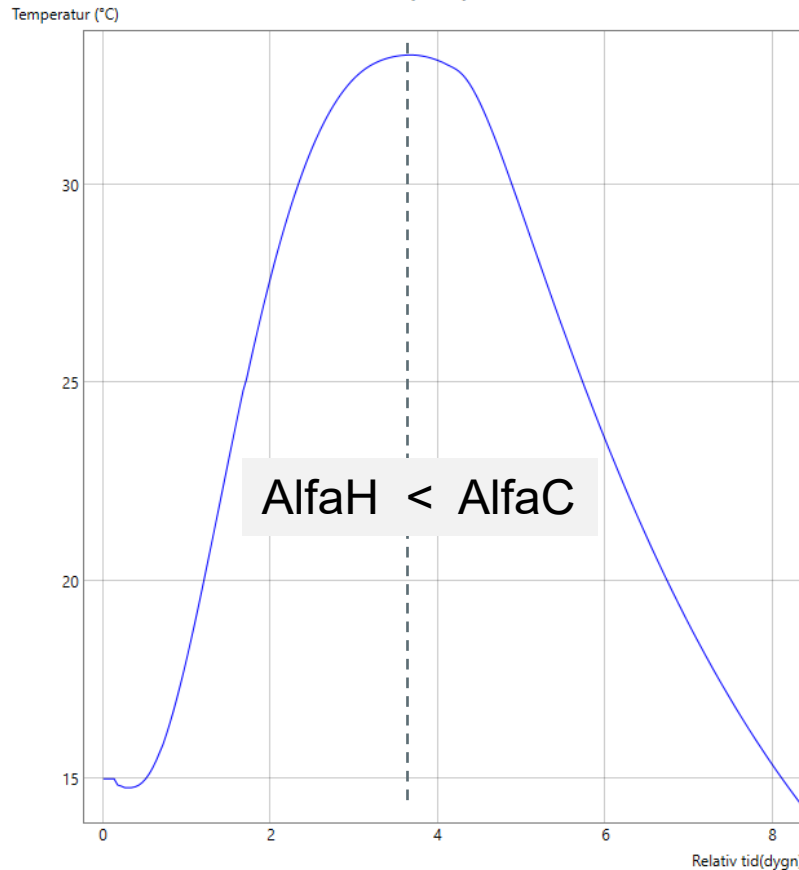
- Modellen för beräkning av tryckhållfasthet innehåller dels ett generellt beroende av mognadsåldern men även en sänkning av hållfasthet vid höga temperaturer.
- Modellen för beräkning av draghållfasthet baserar sig på modellen för tryckhållfasthet.
- Detta beroende är inte konsekvent implementerat i ConTeSt Pro.
- Detta har åtgärdats i PPB.
- Skillnaden kan slå åt olika håll (mindre eller större) beroende på olika omständigheter.
- Då skillnaden inte är särskilt stor och inte heller alltid märkbar, redovisas inte några explicita exempel på detta.
- Det kan dock vara värt att notera att draghållfastheten kan skilja sig åt något mellan beräkningar trots att tryckhållfastheten och temperaturutvecklingen är densamma.

AlfaC och alfaH

- Egenrörelse hos hårdnande betong under simulering i PPB och ConTeSt Pro består huvudsakligen av två komponenter
 - Termisk rörelse
 - Autogen krympning – mätbar krympning som resultat av kemisk krympning (volymen av slutprodukter för hydratationen är något mindre än för reaktanterna) samt krympning på grund av självuttorkning
- Den termiska rörelsen delen bidrar proportionellt mot förändring i temperatur
 - Under uppvärmningsfasen med utvidgning
 - Under avsvälning med krympning
- Autogen krympning, som namnet antyder, bidrar i princip endast med krympning och utvecklas med hydrationsprocessen.

AlfaC och alfaH

Gammal materialmodell



- Tidigare användes en modelleringsstrategi där hela egenrörelsen kopplades direkt till temperaturen.
- Detta resulterade i behov av två olika termiska rörelsekoeficienter – en för uppvärmningsfasen och en för avsvlningsfasen
- I uppvärmningsfasen användes AlfaH (eller AlfaHeat) och den anpassades så att utvidgningen i modellen motsvarade reell termisk utvidgning minus autogen krympning
- I avsvlningsfasen användes AlfaC (eller AlfaCool) och den anpassades så att krympningen i modellen motsvarade reell termisk krympning förstärkt med autogen krympning
- AlfaH blev följaktligen mindre än AlfaC

AlfaC och alfaH

Modern materialmodell

$$\varepsilon_{SH} = \begin{cases} 0 & \text{for } t_e \leq t_{e0} \\ \frac{(t_e - t_{e0})}{(t_{SH} - t_{e0})} \varepsilon_1 & \text{for } t_{e0} < t_e \leq t_{SH} \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_{ref} \exp \left[- \left(\frac{t_{s0}}{t_e - t_{SH}} \right)^{\eta_{SH}} \right] & \text{for } t_e > t_{SH} \end{cases}$$

- I modern modellering används en explicit modell för autogen krympning
- Autogen krympning kopplas till hur långt hydratationen har gått och inte explicit till temperaturen och den modelleras som en funktion av mognadsåldern
- (för detaljer se bilaga 1 i slutrapport till SBUF 14016 *Analys av spänningsberäkning i ConTeSt och framtagning av prototyp för Produktionsplanering Betong*)
- Detta medför att det inte finns något behov eller anledning för att anpassa olika termiska rörelsekoeficienter för uppvärmning resp. avsvälning. Det räcker med anpassning av en och samma för hela förloppet.

AlfaC och alfaH ConTeSt Pro

Young concrete - mechanic properties

Name: 0/C=0.45, CEM I (75C+25S) med AEA

Source: Baserad på provningar vid LTU 2018-2022, SBUF 13872. Receptägare: Skanska Sverige AB. Anpassad till generell databas.

Description: Klimatförbättrad Anläggningsbetong, 65% < PK-andel < 80%, Slagg används för ersättning av viss andel cement. Cement: CEM I 42.5N SR3 MH/LA.

Poisson's ratio (-): 0.18

AlphaHeat (1/K): 1.1956e-05

AlphaCool (1/K): 1.1956e-05

Theta1 (K): 5000

Number of ages: 10

Number of rel. units: 8

RelTime1 (d): 0.005

TimeZero (d): 0.125

Fcc28 (MPa): 48

Ftref (MPa): 3.47

Fcuf (MPa): 48

Beta1 (-): 0.667

AlphaCT (-): 0.904

RhoT (-): 0.286

RhoFi (-): 0.495

KFi (-): 2

Eps1 (-): 0

TimeS1 (h): 2

Eps2 (-): -0.000305

TimeS2 (h): 7

ThetaSH (h): 32

EthaSH (-): 0.41

Ages (d): 0.124 0.275 0.392 1.2 1.24 3.92 12 12.4 39.2 124 392 12 1240

Relax [rows=ages, columns=units] (GPa)

0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
0.2799	0.2224	0.3241	0.5396	0.4825	0.1058	0.219	0.0732					
0.9343	0.5034	0.6353	1.0329	0.9054	0.2155	0.4207	0.1525					
1.5881	0.3745	1.5901	3.4585	2.4832	0.9792	1.3731	0.7534					
1.0356	-0.8135	2.2898	5.2727	3.6218	2.8626	2.8635	2.3675					
1.1282	-0.2143	1.8402	3.7804	2.418	2.2599	2.1172	9.1704					
1.2853	0.0386	1.8121	3.4524	1.9991	1.8514	1.7297	12.3315					
1.4659	0.0468	2.0598	3.8223	2.1015	1.9193	1.784	12.8005					
1.5563	0.0492	2.1839	3.9945	2.1524	1.9375	1.7865	12.8397					
1.6104	0.0505	2.2582	4.0952	2.1878	1.9564	1.7865	12.8548					

OK Cancel

- I ConTeSt Pro finns möjligheten att ange två olika koefficienter för termisk rörelse.

AlfaC och alfaH PPB

Redigera ung betong

Namn:

Klassificering

Recepttyp	Generellt	Hållfasthetsklass	C 32/40	Bindemedel	CEM I + k
Vct_ekv ≤ (-)	0.45	Konsistensklass	S4	Dmax (mm)	16
Exponeringsklasser	XC4_XS2/XD2_XF1_XA2				
Beskrivning	Baserat på resultat från SBUF 14096 k=1 antaget för slagg				

Allmänt

Densitet (kg/m³)	2350.0	Värmekapacitet (J/(K·kg))	1000.0	Värmeledningsförmåga (W/(m·K))	Redigera...
------------------	-------------------------------------	---------------------------	-------------------------------------	--------------------------------	--

Värmeutveckling

Wu (J/kg)	352000	Bindemedelshalt (kg/m³)	400.0	t1 (h)	37.339
Kappa1 (-)	1.010	Lambda1 (-)	1.0000		

Mognad och hållfasthet

te_ini (h)	3.00	te0 (h)	5.00		
BetaD_ini (-)	1.0	ThetaRef_ini (K)	5331	Kappa3_ini (-)	0.207
BetaD_set (-)	1.0	ThetaRef_set (K)	5331	Kappa3_set (-)	0.207
BetaD_fin (-)	1.0	ThetaRef_fin (K)	5331	Kappa3_fin (-)	0.207
s (-)	0.317	N_set (-)	3.000	N_cc28d (-)	0.749
Fcc_set (MPa)	0.5	Fcc28d (MPa)	48.0		

Hållfasthetssänkning pga. hög temperatur

DMaxDrop28d (-)	0.150	TempD (°C)	35.0	KappaTemp (-)	3.700
TimeD (h)	92.4	KappaTime (-)	7.300		

Krympning

TimeSHR1 (h)	6.00	EpsSHRTOT (-)	-3.0820e-004	ThetaSHR (h)	62.00
EthaSHR (-)	0.440				

Krypning

Theta_Temp (-)	5000	Relaxationsdata	Redigera...
----------------	-----------------------------------	-----------------	--

Andra mekaniska parametrar

Tvärkontraktionstal (-)	0.18	AlfaHeat (1/K)	1.3022e-005	Fcm8d (MPa)	3.46
Alfa_ct (-)	0.771	Rho_1 (-)	0.473	Rho_fi (-)	0.365
Beta1 (-)	0.667				

Ok Avbryt

- Denna möjlighet är borttagen i PPB då behovet för denna modellering har upphört.
- Materialdata skall anpassas explicit till en kombination av den explicita modellen för autogen krympning samt en termisk rörelsekoeficient
- Om man vill använda gamla materialdata där AlfaH och AlfaC skiljer sig från varandra måste nya materialparametrar anpassas till rådata från labbförsök.

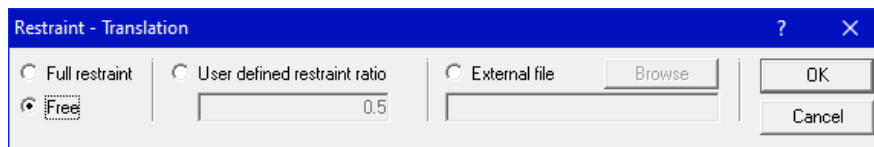
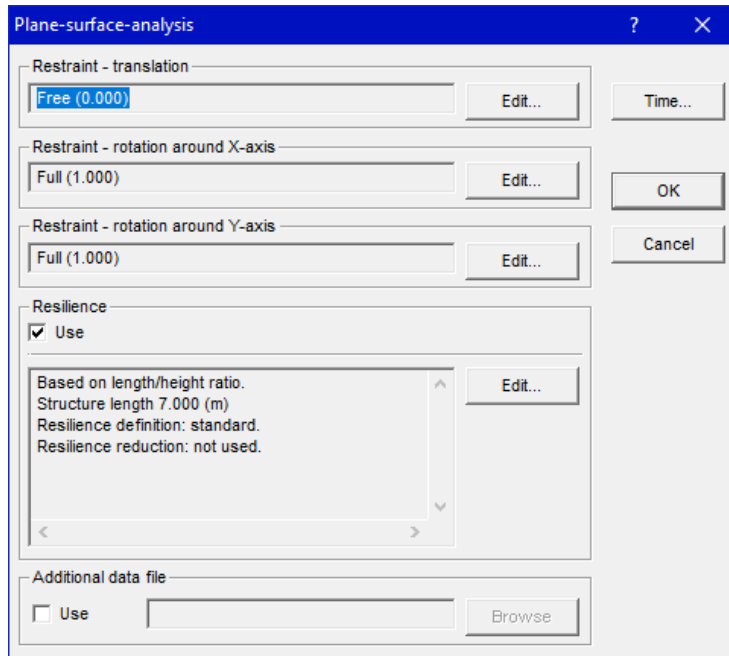
Inkompatibla materialdata

- PPB använder sig av senaste och mest verklighetstroga materialmodeller
 - Samma materialmodeller som i ConTeSt Pro 5.1
 - (med undantag för AlfaH och AlfaC, se separat del av denna presentation)
- Man kan alltså lägga in sina gamla materialparametrar från ConTeSt Pro in i PPB om man så önskar, förutsatt att de är framtagna för ConTeSt Pro 5.1
- Materialdata för ConTeSt Pro 5.0 eller tidigare följer inte samma format och använder sig av gamla, enklare materialmodeller. Dessa övergavs för många år sedan och ersattes av bättre och mer verklighetstroga materialmodeller för olika egenskaper för ung betong.
- Det är inte att rekommendera att översätta numeriskt materialdata från formatet för ConTeSt Pro 5.0 eller tidigare direkt till ConTeSt Pro 5.1 för vidare användning i PPB.
- Om man vill använda gamla materialdata anpassade till ConTeSt Pro 5.0 eller tidigare, måste nya materialparametrar anpassas i enlighet med senaste materialmodeller till rådata från labbförsök.

Modellering av yttre tvång och inre last

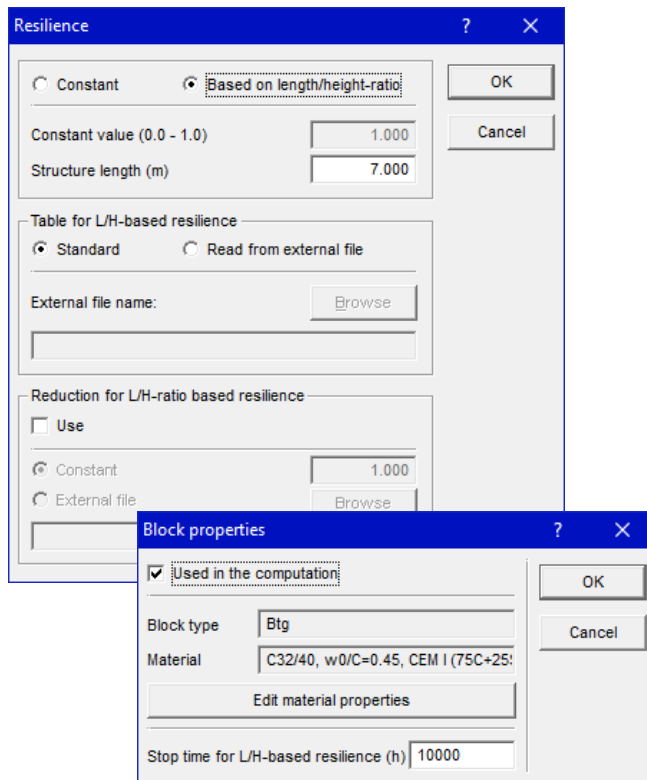
- Både ConTeSt Pro och PPB använder samma grundmodeller för att beskriva hur konstruktionen interagerar med sin omgivning och med sig själv i plankompensationsmetoden (Plane Surface Analysis) som används för spänningsberäkningen.
- Den direkta interaktionen med omgivningen specificeras som:
 - "yttre tvång" i PPB
 - "restraint" i ConTeSt Pro
 - Dessa skiljer sig inte nämnvärt åt
- Utöver detta används även en justering av hur mycket inre last i form av materialtöjning som läggs på:
 - "inre last" och "inre lastfaktor" i PPB
 - "resilience" i ConTeSt Pro
 - Här erbjuder PPB fler sätt och större strukturell flexibilitet än ConTeSt Pro
- I nedanstående bilder ges en översikt av hur specifikation av yttre tvång och inre last utförs i de olika verktygen

Modellering av yttre tvång i ConTeSt



- Specifikation av yttre tvång / restraint i ConTeSt Pro
 - Tre frihetsgrader för vilka tvång anges
 - Translation
 - Rotation kring x-axel
 - Rotation kring y-axel
- Inget tvång, fullt tvång eller egen tvångsfaktor mellan 0 (inget) och 1 (fullt) går att ange
- (möjligheten "external file" är av experimentell karaktär och används inte i praktiken)

Modellering av inre last i ConTeSt

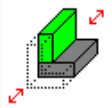


- Inre last / resilience anges i ConTeSt Pro för hela konstruktionen, dvs. specifikationen gäller alla materialblock
- Man väljer mellan
 - konstant med specificerad faktor mellan 0 och 1
 - varierande mellan fog (underst i konstruktionen) och fri kant (överst i konstruktionen) baserat på en konstruktionslängd och förberäknad lastfördelning från *Emborg M., Bernander S., Ekerfors K., Groth P., Hedlund H., Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C, LTU 1997:02*
- Reduktion på grund av glid i fogen kan kopplas på, förberäknad från *Nilsson M., Hedlund H., Emborg M., Jonasson J.-E., Bernander S., Tvång iför sprickanalyser, SBUF 11618, LTU 2015-11-16*
- Man kan ange tidpunkt för varje block då blocket övergår från varierande inre last till konstant med faktor 1

Modellering av yttre tvång i PPB

Yttre tvång

Translation



☒ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som töjning i djupled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som kraft (röda pilar i bilden).
☐ Faktor (0-1)
☐ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Vertikal rotation



☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i vertikalplanet (runt x-axeln), dvs. konstruktionen skjuter rygg (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).
☐ Faktor (0-1)
☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

Horisontell rotation



☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i horisontalplanet (runt y-axeln), dvs. konstruktionen böjs i sidled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).
☐ Faktor (0-1)
☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

- Specifikation av yttre tvång / restraint i PPB
- Tre frihetsgrader för vilka tvång anges
 - Translation
 - Rotation kring x-axel
 - Rotation kring y-axel
- Inget tvång, fullt tvång eller egen tvångsfaktor mellan 0 (inget) och 1 (fullt) går att ange
- (samma som i ConTeSt Pro med undantag för "external file" som var av experimentell karaktär)

Modellering av inre last i PPB

Inre last

Underst

☒ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilinjär ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)

Mitten

☐ Konstant ☒ Linjär ☐ Bilinjär ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)	1	X (m)	0.000	Y (m)	0.000
Faktor (0-1)	1	X (m)	1.000	Y (m)	0.000

Överst

☐ Konstant ☐ Linjär ☒ Bilinjär ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)	1	X (m)	0.000	Y (m)	0.000
Faktor (0-1)	1	X (m)	1.000	Y (m)	0.000
Faktor (0-1)	1	X (m)	0.000	Y (m)	1.000

- Inre last / resilience anges i PPB per materialblock, vilket möjliggör blandning mellan olika modeller för olika delar av konstruktionen
- De tre mest grundläggande sätten är
 - Konstant med specificerad faktor mellan 0 och 1
 - Linjärt varierande - två punkter anges i geometrin med resp. värde och lastfaktor beräknas genom projektion på linjen och linjär extrapolation begränsad till intervallet mellan 0 och 1
 - Bilinjärt varierande – samma som linjärt fast med tre angivna punkter och värden och resulterande tvådimensionell variation av lastfaktor

Modellering av inre last i PPB

Överst

☐ Konstant ☐ Linjär ☐ Bilineär ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m)

Variationsriktning

☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog

☒ Använd

Fogbredd (m)

☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen

Utsträckning från fog (m)

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

☐ Växla till konstant vid tidpunkt 

Faktor (0-1)

- PPB innehåller även möjligheten till varierande lastfaktor mellan fog och fri kant
- baserat på en konstruktionslängd och förberäknad lastfördelning från *Emborg M., Bernander S., Ekerfors K., Groth P., Hedlund H., Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C, LTU 1997:02*
- reduktion på grund av glid i fogen kan kopplas på, förberäknad från *Nilsson M., Hedlund H., Emborg M., Jonasson J.-E., Bernander S., Tvång inför sprickanalyser, SBUF 11618, LTU 2015-11-16*
- Tidpunkt för övergång till konstant lastfaktor kan anges tillsammans med lastfaktorn
- Här finns även möjligheten att välja den geometriska riktningen för variationen beroende på vilken del av blocket som sitter fast i en fog och vilken som är fri

Modellering av inre last i PPB

Detaljspecifikation

Faktor (0-1) 1

Vägg

☐ Konstant ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m) 12.000

Variationsriktning

☒ Nerifrån upp (Y-axel) ☐ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog

☒ Använd

Fogbredd (m)

☒ Blockets bredd (underkant) ☐ Egen 1.000

Utsträckning från fog (m)

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen 2.000

☒ Växla till konstant vid tidpunkt 14d

Faktor (0-1) 1

Valv

☐ Konstant ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m) 12.000

Konstruktion

0 5 10

10

5

0

Block: Väg, Blocktyp: Ung betong vägg

- För variation av inre lastfaktor längst med väggens höjd från fogen underst till den fria kanten överst väljs variationsriktning "Nerifrån upp (Y-axel)"
- Detta motsvarar vad som är möjligt i ConTeSt Pro

Modellering av inre last i PPB

Detaljspecifikation

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

☒ Växla till konstant vid tidpunkt

Faktor (0-1)

Valv

☐ Konstant ☒ Varierande mellan fri kant och fog

Konstruktionslängd (m)

Variationsriktning

☐ Nerifrån upp (Y-axel) ☒ Vänster till höger (X-axel) ☐ Höger till vänster (X-axel)

Reduktion av lastfaktor för glidfog

☒ Använd

Fogbredd (m)

☐ Blockets bredd (underkant) ☒ Egen

Utsträckning från fog (m)

☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

☐ Växla till konstant vid tidpunkt

Faktor (0-1)

Konstruktion

0 5 10

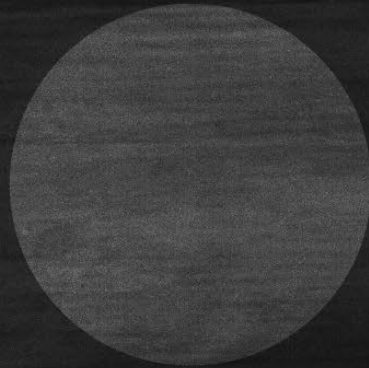
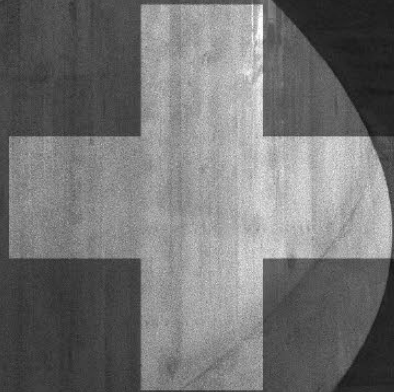
10 5 0

Block: Valv, Blocktyp: Ung betong valv

- För variation av inre lastfaktor längst med valvet från fogen till vänster till den fria kanten till höger väljs variationsriktning "Vänster till höger (X-axel)"
- I ConTeSt Pro var detta inte möjligt att ange. Man var tvungen att ändra på konstruktionen och rita valvet som en vertikal förlängning av väggen för att kunna använda varierande lastfaktor.

Vad har vi lärt oss?

- Högre beräkningsnoggrannhet i PPB
- PPB klarar av stabil simulering i närheten av brottgräns och levererar inte störda eller uppenbart felaktiga resultat, vilket ConTeSt Pro kan göra
- Spänningskvot och töjningskvot beräknas korrekt vid tryck i PPB, till skillnad från ConTeSt Pro
- Vid simulering av flera block med fördröjd gjutning startar alla block från spänningsfritt tillstånd i PPB, vilket de inte alltid gör i ConTeSt Pro
- Mindre skillnader i draghållfasthet vid höga temperaturer mellan verktygen
- Separata värmeutvidgningskoefficienter för uppvärmning och kylning har avskaffats
- Vilka materialdata som inte är kompatibla med PPB
- Att nya anpassningar av materialparametrar i enlighet med senaste materialmodeller till rådata från labbförsök måste utföras för att i PPB kunna modellera gamla material med inkompatibla materialparametrar
- Skillnader i modellering av yttre tvång och inre last



BYGGFÖRETAGEN

> Produktionsplanering betong