

Utveckling av beräkning av sprickrisker i Produktionsplanering Betong

Slutrapport

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

2025-04-24

Reviderad 2025-09-29

BYGGFÖRETAGEN

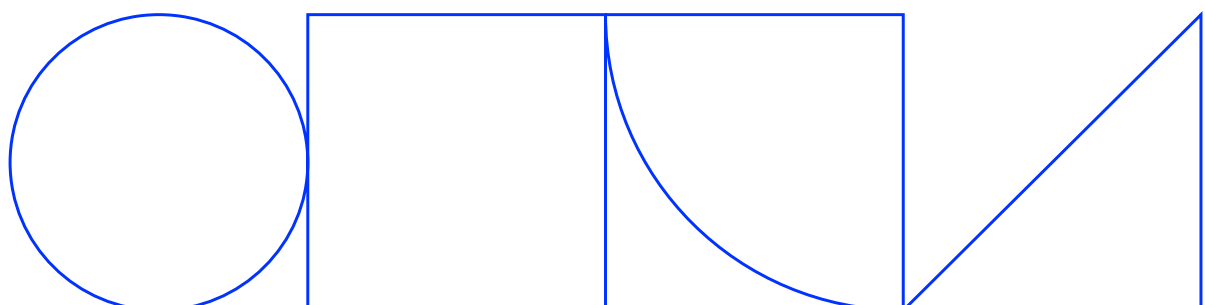
SKANSKA

NCC

PEAB



SWECO

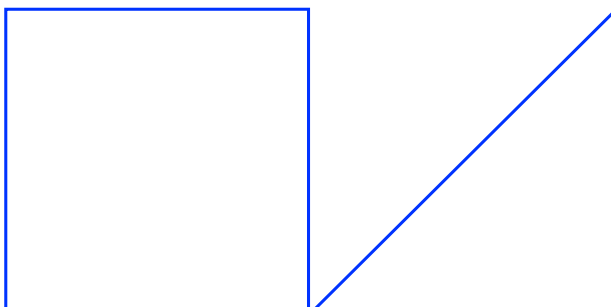


Förord

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

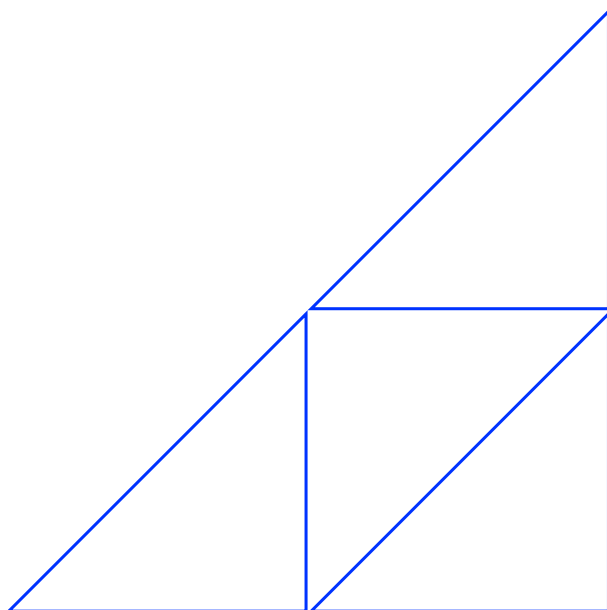
Denna rapport sammanfattar projektet SBUF 14133 *Utveckling av beräkning av sprickrisker i Produktionsplanering Betong*. En bakgrund till projektet ges och genomförandet beskrivs. Resultaten i form av en ny version av PPB med en tredje simuleringsmodul, nu för spänning i hårdnande betongkonstruktioner, presenteras.

En översikt ges av nya typfall, resultatvariabler för att åskådliggöra relevanta resultat från simuleringen, tillhörande kravövervakning samt annan ny och/eller förändrad funktionalitet. För den avancerade användaren ges ytterligare möjligheter att simulera en godtycklig geometri, vilket möjliggör att alla typer av betongkonstruktioner kan analyseras.

Slutligen diskuteras behov av ytterligare funktionalitet kring beräkningar av temperatur- och fuktrelaterade spänningar, sprickrisk, för att tillfredsställa dagens branschbehov och rekommendationer ges rörande framtida projekt.

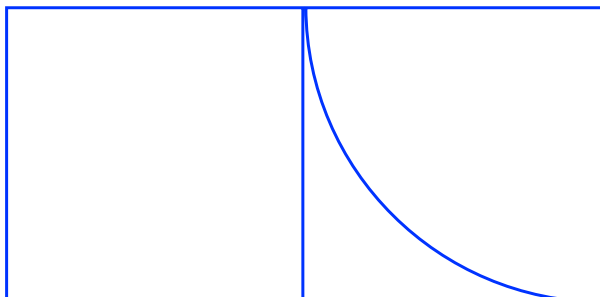
Slutsatser

- Produktionsplanering betong (PPB) är ett fritt tillgängligt simuleringsverktyg för den svenska byggbranschen.
- Vid simulering av hårdnande betong kan användaren nyttja egna materialdata.
- Produktionsplanering betong ger nu även stöd för simulering och framtagande av åtgärder för att begränsa risken för temperatursprickor såväl den vanliga som den avancerade användaren.
- Genom användning av simuleringsverktyget kan användaren optimera gjutningen, öka produktiviteten och tillämpa förebyggande åtgärder för att nå hållbara och beständiga betongkonstruktioner.



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 Kompletterande analys av källkod till Constre	5
2.3 Implementation	5
2.4 Testning	5
3 Resultat	6
3.1 Skillnader mot tidigare beräkningsverktyg	8
4 Slutsatser & rekommendationer	11
Referenser	12



1. Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Det branschgemensamma prognosverktyget Produktionsplanering Betong (PPB) frisläpptes för första gången 2014, då med kapacitet att simulera värme- och hållfasthetsutveckling i betongkonstruktioner. Mjukvaruverktyget fick sin andra beräkningskärna, för värme- och fuktsimulering, under slutet av 2018 och kunde även beräkna uttorkning av betong. Ett år senare kompletterades det med beräkning av fuktillstånd efteravjämning och efter mattläggning. Nu var det dags att implementera en tredje beräkningskärna för rörelse och spänning för att möjliggöra beräkning av sprickrisker i ung betong. SBUF 14133 omfattar just detta implementationsarbete med tillhörande analys, design, uttestning samt framtagning av användardokumentation.

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 har reviderats 2025-09-29. Revideringen omfattar tillägg av tre nya delar i manualen till PPB, rörande sprickrisksimulering, som bilagor till denna rapport.

2 Projektets genomförande

2.1 Möten

2.1.1 Startmöte

Ett startmöte ägde rum 2022-11-14 med medlemmar i styr-, arbets- och referensgrupperna som deltagande. På mötet gavs först en bakgrund till hur spänningar modelleras i ung betong samt hur strukturmodelleringen tidigare (i ConTeSt) anpassats till detta för att få rimliga beräkningstider. Därefter diskuterades innehållet i projektansökan. Slutligen fastställdes en rad detaljer kring implementationen i PPB så som:

- Vilka typfall som skulle med i den första versionen av spänningsberäkning
- Hur flexibel modellering av yttre tvång som efterfrågas
- Hur flexibel modellering av inre last som efterfrågas
- Vilka resultattyper som skulle presenteras

2.1.2 Avslutningsmöte

Ett avslutningsmöte för projektet ägde rum 2025-04-22 med medlemmar i styr-, arbets- och referensgrupperna som deltagande. På mötet fastställdes projektresultaten i form av en ny version av PPB 4.0. Vidare önskemål och behov av funktionalitet kopplat till spänningsberäkning diskuterades, se kapitel 4. Slutligen fastställdes även denna rapport och projektet avslutades.

2.2 Kompletterande analys av källkod till Constre

Då det tidigare använda verktyget för spänningsberäkning inom ramen för ConTeSt Pro, constre.exe, saknade dokumentation, har en omfattande analys av dess källkod blivit nödvändig för att förstå både använda materialmodeller, strukturmodeller samt själva simuleringen med de tillhörande beräkningarna. Denna analys har utförts efter behov i olika omgångar under de senaste åren. En del utfördes i samband med SBUF 13108 *Kvalitetssäkrad utvärdering av materialdata – spänningsanalyser i PPB*, då en ny materialkalkylator för spänningsparametrar togs fram. Då denna initiala analys visade sig inte räcka till startades SBUF 14016 *Analys av spänningsberäkning i ConTeSt och framtagning av prototyp för Produktionsplanering Betong*. I projektet genomfördes en mycket omfattande och strukturerad analys av den ca 30 år gamla källkoden. Detta resulterade i slutrapporten *Stelmarczyk m.fl. 2022*, där materialmodellerna dokumenteras i detalj.

Inom ramen för detta projekt visade det sig att ytterligare analyser var nödvändiga. Nu var de inriktade på strukturmodelleringen samt själva beräkningsprocedurerna med de tillhörande detaljerna.

2.3 Implementation

Implementation av funktionaliteten utfördes som utökning av dagens PPB, fullt integrerat in i den övriga designen av verktyget.

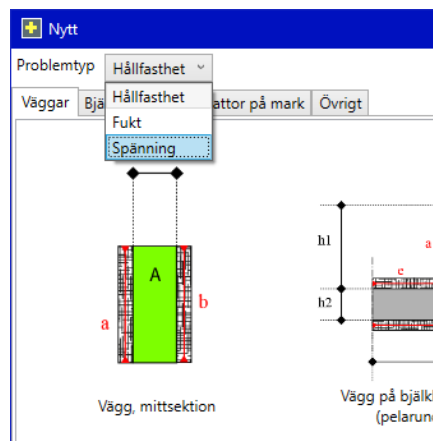
2.4 Testning

Testning utfördes i tre faser:

- En grundläggande testning inom ramen av implementationen
- En mer omfattande testning inom ramen för ett inofficiellt beta-test
- Ett officiellt beta-test där samtliga medlemmar av styr- och referensgruppen var inbjudna

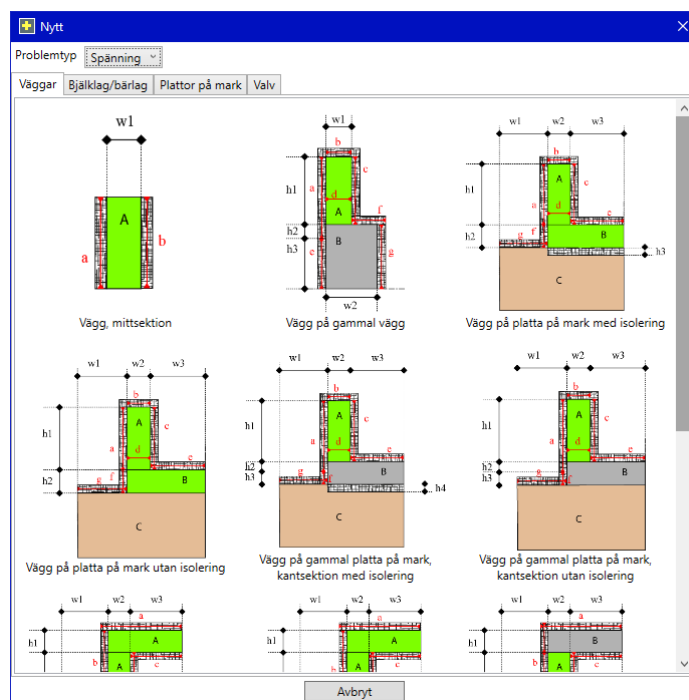
3 Resultat

Projektets arbete har resulterat i en ny version av PPB 4.0. Denna innehåller en tredje problemtyp, spänning utöver de tidigare två som är hållfasthet och fukt.



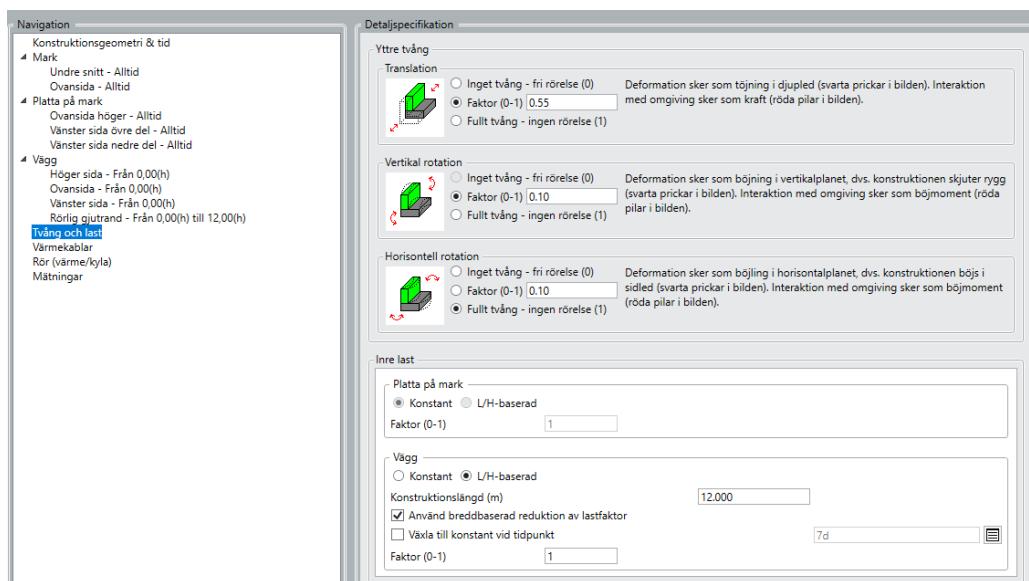
Figur 1. Olika problemtyper i PPB

Spänningsberäkningen sker i kombination med den gamla beräkningen av värme och hållfasthet (först värme sedan spänning). Simuleringen sker enligt den s.k. kompensationsplansmetoden (plan böjning 2D) på samma sätt som i ConTeSt Pro (plane surface). För spänning som problemtyp finns för närvarande 17 olika konstruktionstypfall att välja mellan.



Figur 2. Konstruktionstypfall för spänningsberäkning i PPB

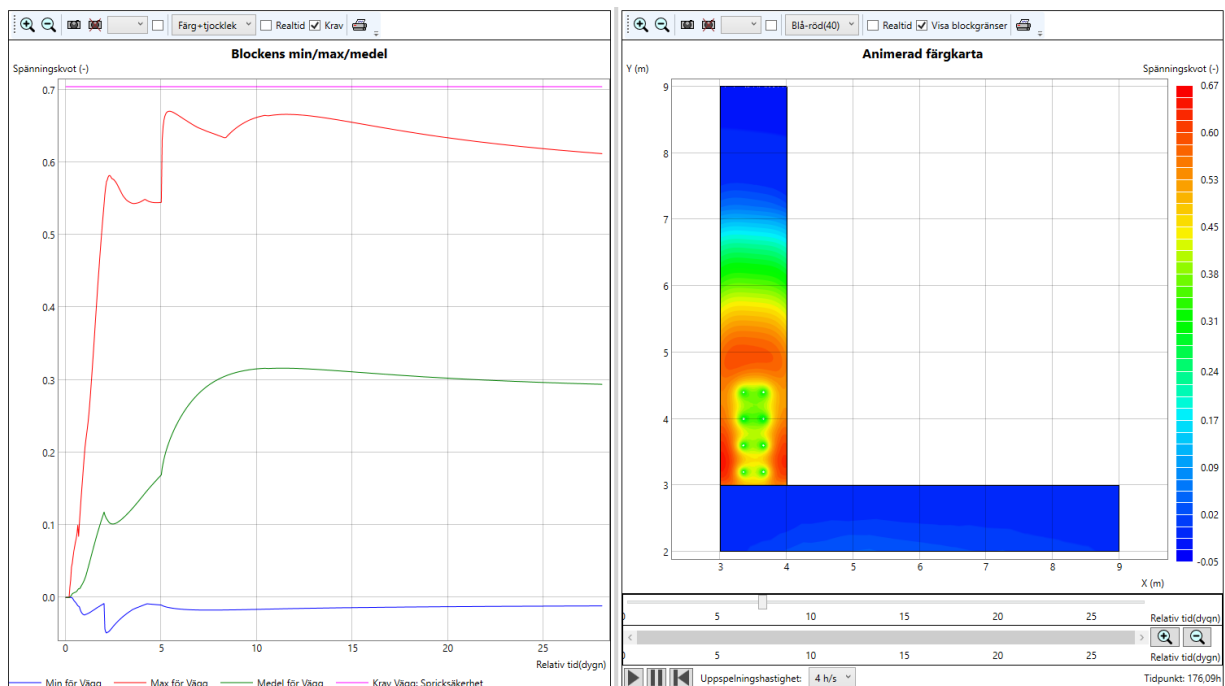
Eftersom spänningsberäkningen är integrerad med resten av PPB återanvänds hela konstruktionsbeskrivningen från värme- och hållfasthetssimuleringen. De huvudsakliga uppgifterna som tillkommit i konstruktionsbeskrivningen är specificering av yttre tvång och fördelning av inre last.



Figur 3. Specifikation av yttre tvång och inre last i PPB

Utöver de implementerade typfallen stödjer spänningsberäkning även det s.k. fria läget i PPB. Detta innebär att användaren fritt kan ändra konstruktionsgeometri samt utan begränsningar styra alla andra indata.

Även presentation av resultat från spänningsberäkningen är väl integrerad med övrig resultatpresentation i PPB. Samma färgkartor, kurvdiagram och resultatlistor används, fast med nya resultattyper som innehåller.

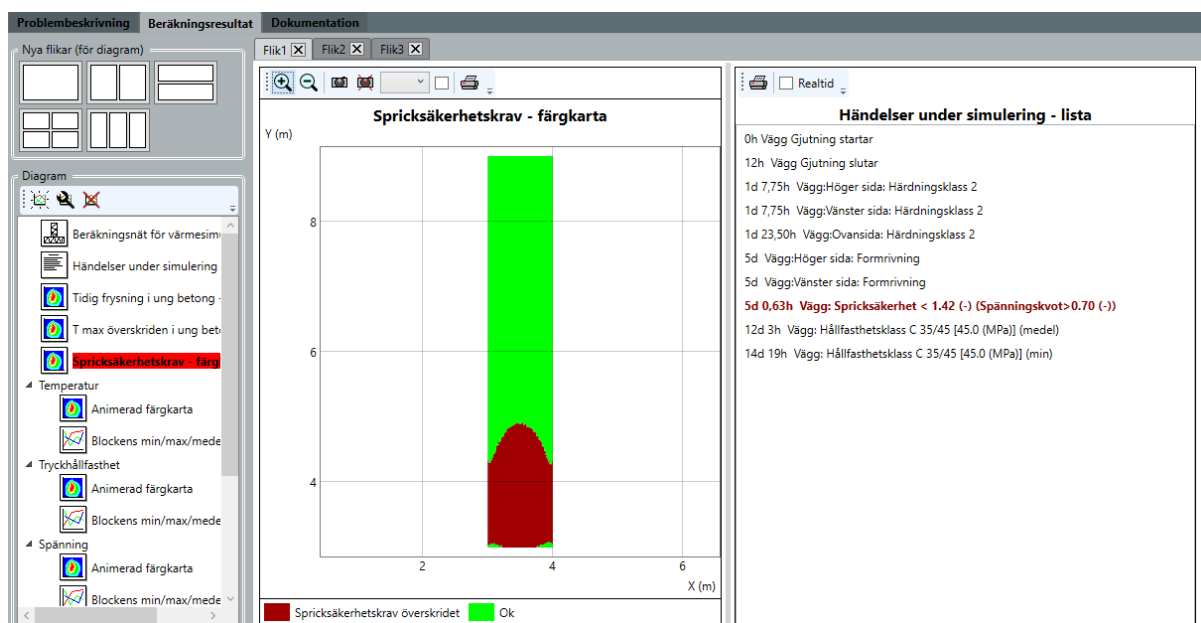


Figur 4. Kurvdiagram med spänningskvot (vänster) samt animerad färgkarta med spänning (höger)

Utöver tidigare beräknade resultattyper (temperatur, mognadsålder och tryckhållfasthet) tillkommer nu 6 nya:

- Spänning
- Spänningskvot
- Töjning
- Töjningskvot
- Draghållfasthet
- Effektiv e-modul

Spänningsberäkningen utnyttjar även PPB funktioner för övervakning av krav. Standardkrav på spricksäkerhet (enligt AMA Anläggning 23) övervakas. Om kravställd nivå för spricksäkerhet underskrids (dvs. maximal spänningskvot överskrider) får man dels veta när det detta sker, som en punkt i listan över händelser under simuleringen, och dels visualiseras vilka delar av konstruktionen som är drabbade i form av en färgkarta. Det går även att övervaka egna ställda krav på spänningskvot och/eller töjningskvot.



Figur 5. Övervakning av spricksäkerhetskrav - färgkarta med den drabbade delen av konstruktionen (vänster) samt händelselista med tidpunkt då kravet överskreds (höger)

Samtliga indata och resultat fungerar även tillsammans med PPB:s rapportfunktion så att flexibel dokumentation av simuleringen kan fås.

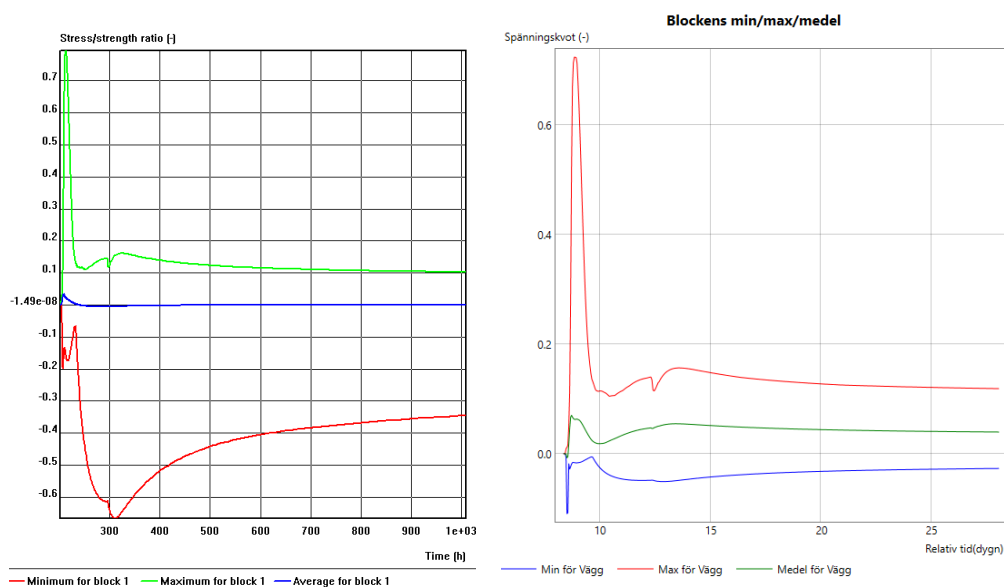
PPB version 4.0 levereras med en uppsättning av både moderna och historiskt relevanta materialdata för spänningsberäkning (t.ex. från SBUF 14096, se Hedlund m.fl. 2023a, och SBUF 13872, se Hedlund m.fl. 2023b). Användaren kan utöver detta även lägga in egna materialdata om så önskas.

Den nya funktionaliteten är dokumenterad i två nya kapitel i den redan existerande manualen i PPB.

3.1 Skillnader mot tidigare beräkningsverktyg

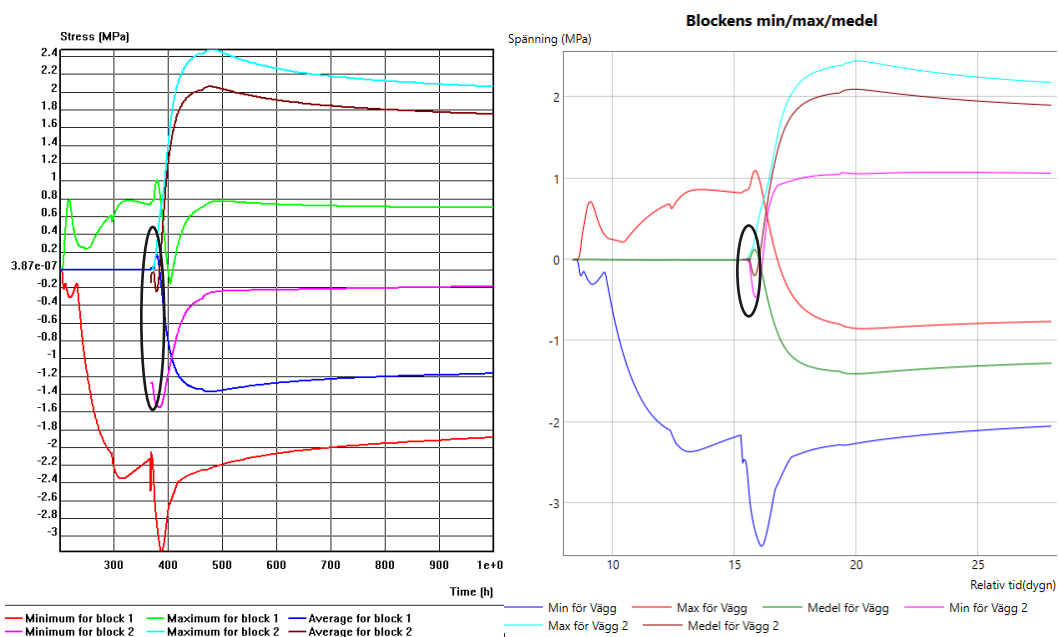
Implementationen av spänningsberäkning i PPB är nyutvecklad från grunden. Inga delar av något annat äldre verktyg för spänningsberäkning, i vare sig exekverbar form eller som källkod, ingår i PPB. Detta medför att PPB räknar något annorlunda på samma problemställning än vad t.ex. ConTeSt Pro gjorde. Till detta bidrar dels numeriska och programmeringstekniska skillnader i implementation av samma beräkningsrutiner, dels olika förbättringar i beräkningens stabilitet och noggrannhet. Även korrigeringar av fel hittade i de gamle beräkningsverktygen är korrigerade

- I PPB delas simuleringstiden i fler och kortare beräkningssteg. Detta höjer beräkningens noggrannhet. Det medför även att då det händer många olika saker i simuleringen, t.ex. då betongen övergår från flytande till fast fas, ser de beräknade kurvorna initialt litet annorlunda ut. PPB:s simulering fångar effekten av fler fenomen.
- Modelleringen av plastisk deformation med gradvis minskad e-modul då spänningskvoten närmar sig sitt gränsvärde 1.0 har förbättrats rent algoritmiskt. Detta medför att simuleringen blir mer stabil. De beräknade värdena fluktuerar mindre och beräkning kraschar inte, vilket ibland förekom i det gamla verktyget.
- Beräkning av spänningskvot och töjningskvot för tryckspänningar utfördes i tidigare verktyg felaktigt och baserade sig på förhållande mellan tryckspänning och draghållfasthet. I PPB är detta korrekterat då kvoterna vid tryck baserar sig på förhållandet mellan tryckspänning och tryckhållfasthet, se figur 6.



Figur 6. Skillnad i beräkning av spänningskvot för en väggsektion mellan ConTeSt Pro (vänster) och PPB (höger). Kurvan för minimivärdet i den negativa delen av skalan (motsvarande tryckspänning) är i ConTeSt Pro baserad på spänning dividerad med draghållfasthet, vilket ger ett större absolutbelopp på värdet än i PPB där divisionen sker med tryckhållfasthet, som det borde vara.

- Den gamla implementationen av hållfasthetssänkning vid höga temperaturer var heller inte konsekvent implementerad, avseende hur tryck- och draghållfasthet beräknades. Detta är numera korrekterat.
- Vid gjutning av flera materialblock (konstruktionsdelar) i konstruktionen med tidfördröjning mellan, startar vissa fördröjda materialblock inte från noll i spänning i det gamla verktyget. Detta är en bugg som aldrig rättats. I PPB är detta korrekterat och alla materialblock med ung betong startar med spänning lika med noll vid gjutning, se figur 7.



Figur 7. Skillnad i startnivå för spänning i en fördröjd pågjutning av vägg på vägg mellan ConTeSt Pro (vänster) och PPB (höger). En del av pågjutningen startar i ConTeSt Pro med en tryckspänning ca. 1,3 MPa (se svart markering i diagrammet till vänster) när den borde starta i spänningsfritt läge. Detta då denna betong precis är nygjuten vilket hanteras korrekt i PPB (se svart markering i diagrammet till höger).

- Hanteringen av två olika värmeutvidgningskoefficienter, en vid uppvärmning och en annan vid kylning har setts över. Dels var den gamla implementationen direkt felaktig. Modelleringstekniskt sett var tanken att dessa skulle motsvara olika deformationsbeteende under hydratationens stora uppvärmnings- resp. avkylningsfaser. Den gamla implementationen gjorde dock inte någon sådan analys av temperaturprofilen utan styrde valen med temperaturförändringen på varje enskilt tidssteg. Detta medförde att fluktuationer i temperatur fick genomslag i denna del av deformationsberäkning på ett sätt som inte var tänkt från början. Då användning av två olika värmeutvidgningskoefficienter modelleringsmässigt ersatts av en värmeutvidgningskoefficient i kombination med en helt separat modell för krympning, har den gamla buggen eliminerats i PPB.

Ovanstående enskilda skillnader bidrar till att simulering av samma konstruktion i ConTeSt Pro och PPB kan uppvisa signifikanta skillnader i vissa fall. Då projektet inte räknade med att hitta så många saker att korrigera, har projektplanen och budgeten inte omfattat någon pedagogisk dokumentation till dessa skillnader. Det är av värde för användarna att detta åtgärdas omedelbart, då skillnader i beräkningsresultat utan adekvat förklaring kan komma att skapa förvirring.

4 Slutsatser & rekommendationer

Först och främst vill projektet rekommendera att slutobservationen från föregående kapitel avseende pedagogisk dokumentation av skillnader mellan PPB och det gamla beräkningsverktyget ConTeSt Pro åtgärdas. Det är av vikt att såväl mycket erfarna som mindre erfarna användarna får det förklarat och exemplifierat hur simuleringsresultaten kan skilja mellan PPB och ConTeSt Pro och varför de gör det. Detta bör åtgärdas omedelbart.

ConTeSt som verktyg har inte utvecklats nämnvärt de senaste 20 åren och heller inte fungerat fullt stabilt i sin beräkning. Denna första implementation av spänningsberäkning i PPB har därför fokuserat på att få till en tillförlitlig och stabil simulering. Det har även varit målet att tillfredsställa de mest omedelbara behoven avseende funktionalitet. Projektdeltagarna rekommenderar att projektet i närtid följs upp med ett nytt projekt. Detta för att hantera följande önskemål rörande förstärkning och utökning av funktioner i PPB avseende delvis spänning men även andra simuleringar:

- **Friare inmatning av geometri** – dagens redigering av geometri var utvecklad för fria läget för värme- och hållfasthetsberäkning. Dessa konstruktioner inom hus och industri utgår som oftast från de fasta typfallen och innebär endast en smärre modifiering av geometrin. Spänningsberäkningar utförs som oftast för anläggningskonstruktioner och dessa har en väsentligt större variation. Redigeringsverktyg för geometri i fria läget behöver en översyn och utbyggnad för att möjliggöra en effektiv inmatning för de mer avancerade spänningsfallen.
- **Fler typfall för spänning** – dagens 17 typfall är i princip det minsta som man rimligen kan starta med. Fler typfall underlättar och snabbar upp inmatningsarbetet.
- **Hjälp med tvång och inre last** – specifikation av yttre tvång och inre lastfördelning är det enskilt svåraste momentet för användaren av PPB i en spänningsberäkning. Det finns idag två rapporter (*Emborg m.fl. 1997* och *Nilsson m.fl. 2015*) som innehåller en mängd information som underlättar detta moment. Informationen i fråga behöver byggas in i PPB i någon form.
- **Effektivare filformat för beräkningsdokument** – det gamla filformatet var optimerat för läsbarhet och felsökning. Nu har både fukt och spänning medfört klart större mängder data. Detta medför väldigt långa tider vid sparande och öppnande av dokument och onödigt stora projektdokument. Nytt filformat optimerat för prestanda behöver implementeras.
- **Separation av geometrin som visas och den som gäller för beräkning** – idag är det samma geometri som gäller, vilket medför onödigt många beräkningselement för typfall med typiskt 1-dimensionella resultatberoenden. En sådan ändring möjliggör mer effektiv och snabb beräkning i dessa fall.
- **Styrbar standardkatalog för beräkningsdokument** – önskemål har framkommit om möjligheten att själv kunna välja var PPB börjar söka efter dokument.
- **Synkroniserad animering för färgkartor i samma vy** – då flera resultatvariabler studeras samtidigt är det önskvärt att synkronisera animering av färgkartor i samma vy.
- **Standardvyer med diagram för resultat** – önskemål om att man skall underlätta presentation av resultat för användaren, genom att erbjuda en standardvy med diagram i stället för en tom arbetsyta i resultaten.

När det gäller en mer långsiktig utveckling av spänningssimulering, där det inte föreligger konsensus kring önskemålen behövs initialt en utredning avseende två identifierade områden i form av en förstudie med:

- **Syn på spricksäkerhetskrav** - dess koppling till exponeringsklasser, exponeringsklassers koppling till vad konstruktionsränder utsätts för miljö och resulterande potentiell variation av spricksäkerhetskrav över konstruktionen
- **Mer avancerad beräkning av tvång** – det finns metoder för mer avancerad beräkning av tvång genom en linjärelastisk simulering av interaktion mellan den gjutna konstruktionen och omgivningen i 2 eller 3 dimensioner (t.ex. *Nilsson m.fl. 2015* och *Al-Gburi 2014*).

Referenser

Al-Gburi 2014 – Al-Gburi M., *Restraint in Structures with Young Concrete – Tools and Estimations for Practical Use*, Licentiate Thesis LTU 2014

Emborg m.fl. 1997 – Emborg M., Bernander S., Ekerfors K., Groth P., Hedlund H., *Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C*, LTU 1997:02

Hedlund m.fl. 2023a – Hedlund H., Wiberg H., Rasmark N., Vogt C., Hösthagen A., *STAR - Temperatursprickdata för klimatförbättrad betong, Slutrapport*, SBUF 14096, 2023-02-28

Hedlund m.fl. 2023b – Hedlund H., Wiberg H., Nilsson M., Persson M., *Grönare anläggningsbetong – data för temperatur- och härdningsstyrning, Slutrapport*, SBUF 13872, 2023-10-06

Nilsson m.fl. 2015 – Nilsson M., Hedlund H., Emborg M., Jonasson J.-E., Bernander S., *Tvång inför sprickanalyser*, SBUF 11618, LTU 2015-11-16

Stelmarczyk m.fl. 2022 – Stelmarczyk M., Rapp T., Hedlund H., *Analys av spänningsberäkning i ConTeSt och framtagning av prototyp för Produktionsplanering Betong, Slutrapport*, SBUF 14016, 2022-03-21

Bilagor

PPB Manual del S1 Spänning- och sprickriskberäkning – introduktion, Byggföretagen 2025

PPB Manual del S2 Vaggsektion - ytsprickor, Byggföretagen 2025

PPB Manual del S3 Tunnelsektion - genomgående sprickor, Byggföretagen 2025

S1 Spänning och sprickrisker - introduktion

BYGGFÖRETAGEN

› Produktionsplanering betong

Vad skall vi lära oss?

- Vilken typ av spänning- och sprickriskberäkning som PPB kan utföra
- I vilka syften kan denna typ av beräkning användas
- Hur denna beräkning approximerar verkligheten
- Vad som krävs av användaren för att kunna utföra en sådan beräkning

Spänningsberäkning i PPB

- En spänningsberäkning tar typiskt hänsyn till olika laster och materialegenskaper och beräknar resulterande spänningar och deformationer i material och konstruktion
- I PPB tas endast hänsyn till materialets inre last:
 - Värmeutvidgning och kontraktion
 - Krympning p.g.a. hydratation i ung hårdnande betong
 - Inga externa laster tas i beaktande
- Interaktion med omgivande konstruktion simuleras som mothåll till den rörelse den unga betongen själv vill utföra
- Den hårdnande betongens dynamiska egenskaper tas i beaktande:
 - viskoelastisk respons till last inkl. krypning/relaxation
 - varierande drag- resp. tryckhållfasthet samt en rad icke-linjära materialbeteenden, typiska för ung betong

Temperatursprickor

- Typiskt syfte för den spänningsberäkning som PPB erbjuder är att simulera vad som händer med den unga betongen de första veckorna efter gjutning för att uppskatta risken för s.k. temperatursprickor
- PPB erbjuder
 - övervakning av spricksäkerhetskrav i varje simulering och visualiserar var och när man riskerar temperatursprickor i konstruktionen
 - möjligheter att simulera både omfördelning av värme resp. kylning av konstruktion som åtgärder för reduktion av sprickrisker
- PPB:s spänningsberäkning kan inte användas för att kontrollera en konstruktions respons till yttre laster

Approximation av verklig konstruktion

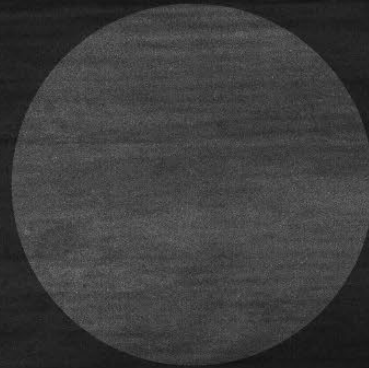
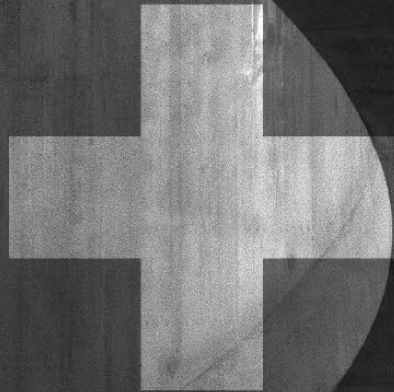
- PPB:s spänningsanalys utförs i enlighet med den s.k. kompensationsplansmetoden (Plane Surface Analysis)
- Konstruktionen ses förenklat som en balk med tre frihetsgrader av rörelse:
 - Translation i z-led
 - Rotation runt x-axel
 - Rotation runt y-axel
- Konstruktionstvärsnitt i x/y-plan delas in i element, vars rörelse balanseras i en kraft- och två momentekvationer, motsvarande frihetsgraderna ovan
- För att simulera en mer varierande fördelning av frihet i rörelse används en variation av hur mycket av den inre lasten tas med i beräkning

Vad som krävs av användaren?

- Kompensationsplansmetoden i PPB kräver kunskap och erfarenhet för att kunna tillämpas på ett säkert sätt
- Denna manual erbjuder endast utbildning i handhavande av själva mjukvaruverktyget och inte i beräkningsmetodiken i sig
- Det förutsätts att användaren har erforderliga kunskaper avseende kompensationsplansmetoden och dess tillämpning och/eller erfarenhet av användning av motsvarande beräkningsverktyg, t.ex. ConTeSt Pro
- Spänningsberäkningen i PPB bygger på resultat från beräkning av värme och hållfasthet
- Ur användarsynvinkel är spänningsberäkningen endast en liten utvidgning av beräkning av värme och hållfasthet, genom återanvändning av samma verktyg för konstruktionsbeskrivning, kravövervakning, resultatpresentation och dokumentation
- Följande manualdelar (S2 och S3) fokuserar på de spänningsspecifika detaljerna och förutsätter att användaren är väl bekant med PPB:s beräkning av värme och hållfasthet, motsvarande manualdelar H1-H9

Vad har vi lärt oss?

- Vilken typ av spänning- och sprickriskberäkning som kan utföras i PPB
- I vilka syften kan denna typ av beräkning användas
- Hur denna beräkning approximerar verkligheten
- Vad som krävs av användaren för att kunna utföra en sådan beräkning
- Att det förutsätts att användaren är kunnig avseende beräkningsmetodik som PPB använder för spänning och/eller har tidigare erfarenhet från spänningsberäkningar i liknande verktyg, som t.ex. ConTeSt Pro



BYGGFÖRETAGEN

> Produktionsplanering betong

S2 Väggsektion - ytspäckor

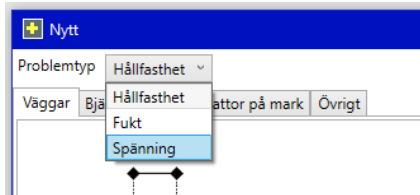
BYGGFÖRETAGEN

› Produktionsplanering betong

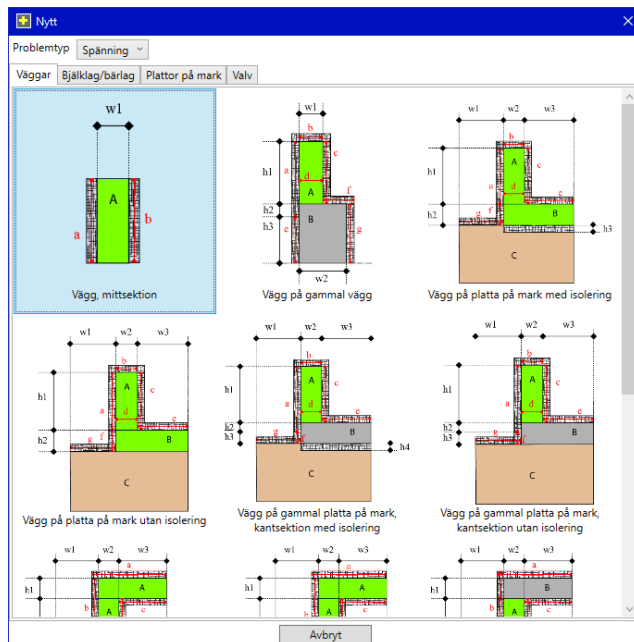
Vad skall vi lära oss?

- Att beräkna spänning och sprickrisker i en väggsektion
- Att använda övervakning av spricksäkerhetskrav
- Att upptäcka spräckt spricksäkerhetskrav och se både var och när det inträffar
- Att studera utveckling av temperatur och spänningskvot för att förstå hur ytsprickorna är kopplade till en tidig formrivning som beräknats automatiskt
- Att vidta åtgärd genom manuell senareläggning av formrivningen
- Att verifiera att spricksäkerhetskravet uppfylls under hela simuleringen i hela konstruktionen

Vägg, mittsektion med ytsprickor



- Växla problemtyp till **spänning** i samband med skapande av nytt projekt
- Skapa ett nytt projekt med:
 - **Vägg mittsektion**



Konstruktionsgeometri & tid

The screenshot displays the PPB software interface with three main panels:

- Navigation:** A tree view on the left with 'Konstruktionsgeometri & tid' selected. Sub-items include 'Vägg', 'Höger sida - Från 0,00(h)', 'Vänster sida - Från 0,00(h)', 'Tvång och last', 'Värmekablar', 'Rör (värme/kyla)', and 'Mätningar'.
- Detaljspecifikation:** A central panel with input fields for:
 - Tid:** 'Simuleringslängd (y/m/d/h)' set to '28d' and 'Start (åååå-mm-dd hh.mm.ss)' set to '2025-04-02 07:00:00'.
 - Konstruktionsgeometri:** 'w1 (m)' set to '2.000' and a checked checkbox for 'Symmetriska randvillkor (vänster-höger)'.
- Konstruktion:** A right panel showing a cross-section diagram. The horizontal axis is labeled with values -2, 0, 2, and 4. The vertical axis is labeled with 0, 2, and 4. A shaded rectangular region is centered at x=0, extending from x=-1 to x=1, with a width dimension line labeled 'w1'.

- Sätt simuleringstid till 28 dygn
- Sätt väggens tjocklek (w1) till 2,0 m
- Välj symmetriska randvillkor

Vägg

Navigation

- Konstruktionsgeometri & tid
- Vägg**
- Höger sida - Från 0,00(h)
- Vänster sida - Från 0,00(h)
- Tvång och last
- Värmekablar
- Rör (värme/kyla)
- Mätningar

Detaljspecifikation

Block: Vägg

- ☒ Ung betong
- ☒ Deltar i spänningsberäkning
- ☐ Hantera alla randsegment som en rand

Föreskrivna krav enligt handlingar

- ☒ Hållfasthetsklass C 35/45
- Exponeringsklasser
 - Karbonatisering X0
 - Kloridinträngning XS3/XD3
 - Frysning/upptining ☐ XF1 ☐ XF2 ☐ XF3 ☒ XF4
 - Kemiskt angrepp X0
- ☒ T max (°C) 70.0
- ☒ Spricksäkerhet (-) 1.42 Spänningskvot < 0.70 (-)

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

Blocktyp: Ung betong

Konstruktion

-1 0 1 2

4

3

2

1

0

Block: Vägg, Blocktyp: Ung betong

- Två nyheter vid specifikation av block
 - Detta block deltar i spänningsberäkning. I mer avancerade typfall finns det block som endast deltar i värmeberäkningen, som t.ex. mark.
 - Spricksäkerhetskrav, enligt AMA.

Vägg – föreskrivna krav

Block:

☒ Ung betong
☒ Deltar i spänningsberäkning
☐ Hantera alla randsegment som en rand

Föreskrivna krav enligt handlingar

☒ Hållfasthetsklass

Exponeringsklasser

Karbonatisering	X0
Kloridinträngning	XS3/XD3
Frysning/upptining	☐ XF1 ☐ XF2 ☐ XF3 ☒ XF4
Kemiskt angrepp	X0

☒ T max (°C)

☒ Spricksäkerhet (-) Spänningskvot < 0.70 (-)

Nytt:

- Krav:
 - Hållfasthetsklass C35/45
 - Exponeringsklasser
 - Kloridinträngning XS3/XD3
 - Frysning/upptining XF4
 - T max 70 °C
 - Spricksäkerhet 1.42

Vägg – Material och gjutning

The screenshot shows the 'Välj ung betong' (Select young concrete) dialog box. It features a list of materials on the left and a detailed configuration panel on the right. The material 'Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA' is selected. The configuration panel includes fields for 'Blocktyp' (Ung betong), 'Material' (Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C 35/45, vctgkv=0.40), 'Bindemedelshalt (kg/m³)', 'Fcc28d (MPa)', 'Färska betongmassans temperatur i formen' (15 °C), and 'Gjutning' (Momentan, Starttid 0h, Hastighet 0.5 m/h, Klar efter 0.00 h).

Namn	Bindemedel	Härlklass	Vctgkv	CO2-ekv A1-A3	Recepttyp
PPB Cementa AnlCem Slite					
PPB Cementa AnlCem Brevik 50% CEM I 50% Slagg					
PPB Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I 25% Slagg					
Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA (s) (PP)	CEM I + k	C 35/45	0.40	---	Generellt
PPB Cementa AnlCem Brevik 90% CEM I 10% Slagg					
PPB Cementa AnlCem FA					
PPB Husbyggnadsbetong S4					
PPB Husbyggnadsbetong SF2					

Blocktyp: Ung betong

Material: Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C 35/45, vctgkv=0.40, i

Bindemedelshalt (kg/m³)

Fcc28d (MPa)

Sätt till original

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C) 15

Gjutning

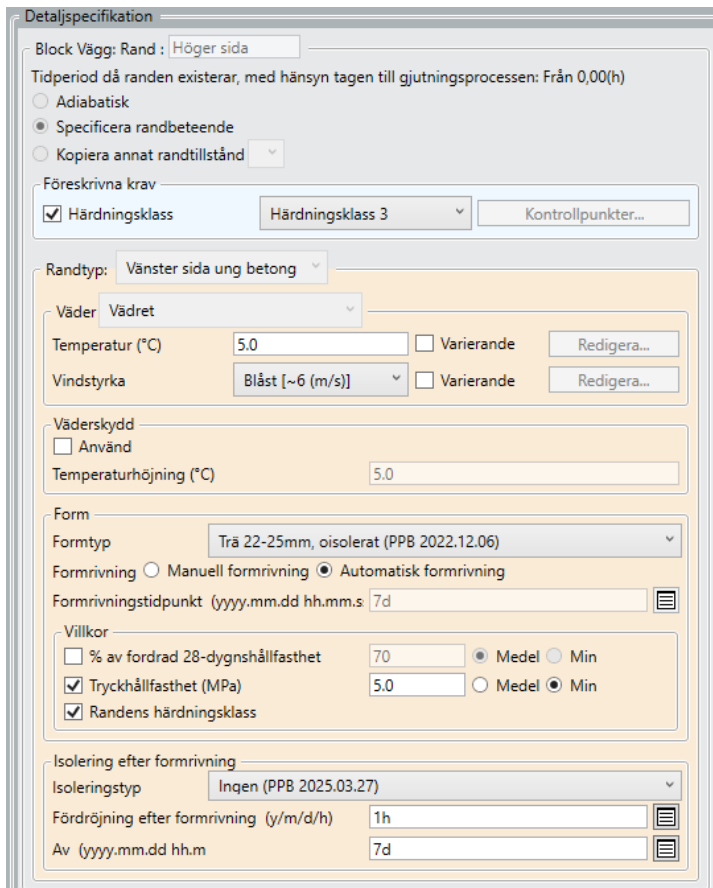
☒ Momentan Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/t) 0h

☐ m/h Hastighet (m/h) 0.5

Klar efter (h) 0.00

- Välj som material
- **Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA**
- **C 35/45**
- Gjuttemperatur **15 °C**
- Momentan gjutning

Vägg – höger (och vänster) sida



Detaljspecifikation

Block Vagg: Rand : Höger sida

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

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härtningsklass Härtningsklass 3 Kontrollpunkter...

Randtyp: Vänster sida ung betong

Väder: Vädret

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

Vindstyrka Blåst [~6 (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.s) 7d

Villkor

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

☒ Tryckhållfasthet (MPa) 5.0 ☐ Medel ☒ Min

☒ Randens härtningsklass

Isolering efter formrivning

Isoleringstyp Ingen (PPB 2025.03.27)

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

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

- Då vi tidigare valde symmetriska randvillkor, är bägge ränderna satta till samma randtyp. Förändringar i väderlek, väder skydd, form, formrivning etc. för den ena gäller automatiskt för den andra.
- Härtningsklass måste dock anges separat för bägge:
 - Välj **Härtningsklass 3**
- Höstväder
 - Temperatur **5 °C**
 - Vindstyrka **Blåst**
- Inget väderskydd

Vägg – höger (och vänster) sida

Detaljspecifikation

Block Vagg: Rand : Höger sida

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

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härdningsklass Härdningsklass 3 [Kontrollpunkter...](#)

Randtyp: Vänster sida ung betong

Väder: Vädret

Temperatur (°C) 5.0 ☐ Varierande [Redigera...](#)

Vindstyrka Blåst [~6 (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.s) 7d [...](#)

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 [...](#)

- Formmaterial **Trä 22-25mm, oisolerat**
- Formrivning **automatisk**, med villkor
 - **Tryckhållfasthet 5 MPa**
 - **Uppfylld härdningsklass**
- Inget isolering efter formrivning

Tvång och inre last – yttre tvång

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 ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)

- Yttre tvång, dvs. interaktion med omgivande konstruktion, specificeras som grad av mothåll i tre rörelseriktningar. Då konstruktionen betraktas beräkningsmässigt som en balk, anges mothåll avseende:
 - Translation, dvs. töjning i djupled
 - Vertikal rotation, dvs. böjning runt x-axeln
 - Horisontell rotation, dvs. böjning runt y-axeln
- Alternativen är:
 - Faktor mellan 0 och 1. Den anger hur stor andel av kraften/momentet, som konstruktionen utövar på omgivningen, som omgivningen svarar med i form av mothåll
 - 0 – inget tvång, dvs. fri rörelse i gällande dimension
 - 1 – fullt tvång, dvs. ingen rörelse i gällande dimension

Tvång och inre last – 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 ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)

- Då det yttre tvånget är begränsat till endast 3 parametrar används även fördelning av inre last, dvs. materialets egendeformation, för att få spänningsfördelningen i konstruktionen att återspegla verkligheten.
- På de ställen som i verkligheten har större rörelsefrihet än vad specifikationen av yttre tvång medger, minskas mängden inre last.
- Grad av inre last, dvs. hur mycket av materialets egendeformation som tas med i beräkningen, specificeras med en faktor mellan 0 (ingen last) och 1 (full last)
- För råd kring specifikation av inre last och yttre tvång i olika situationer se t.ex.:
 - **Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C**, Emborg M., Bernander S., Ekerfors K., Groth P., Hedlund H., LTU 1997:02
 - **Tvång för sprickanalyser, SBUF 11618**, Nilsson M., Hedlund H., Emborg M., Jonasson J.-E., Bernander S., LTU 2015-11-16

Tvång och inre last – ytsprickor

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

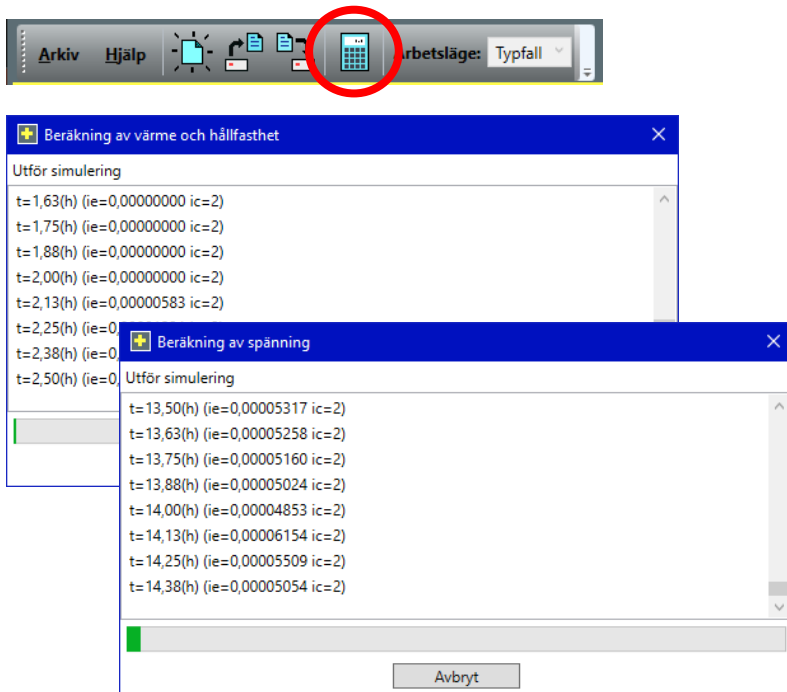
Vägg

☒ Konstant ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)

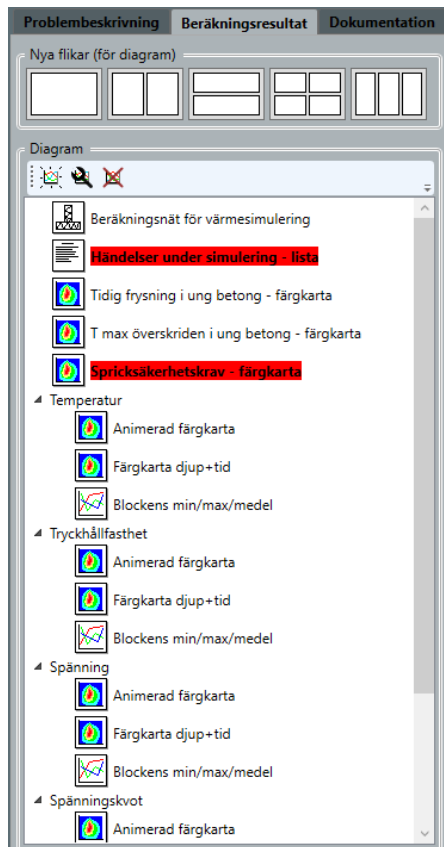
- I detta fall då vi tittar på ytsprickor för en väggsektion är det lämpligt med följande inställningar:
 - Inget translationstvång
 - Fullt rotationstvång både horisontellt och vertikalt
 - Full inre last (konstant faktor = 1)
- Dessa inställningar är redan låsta i detta typfall så ingen ändringar behövs.

Kör beräkning



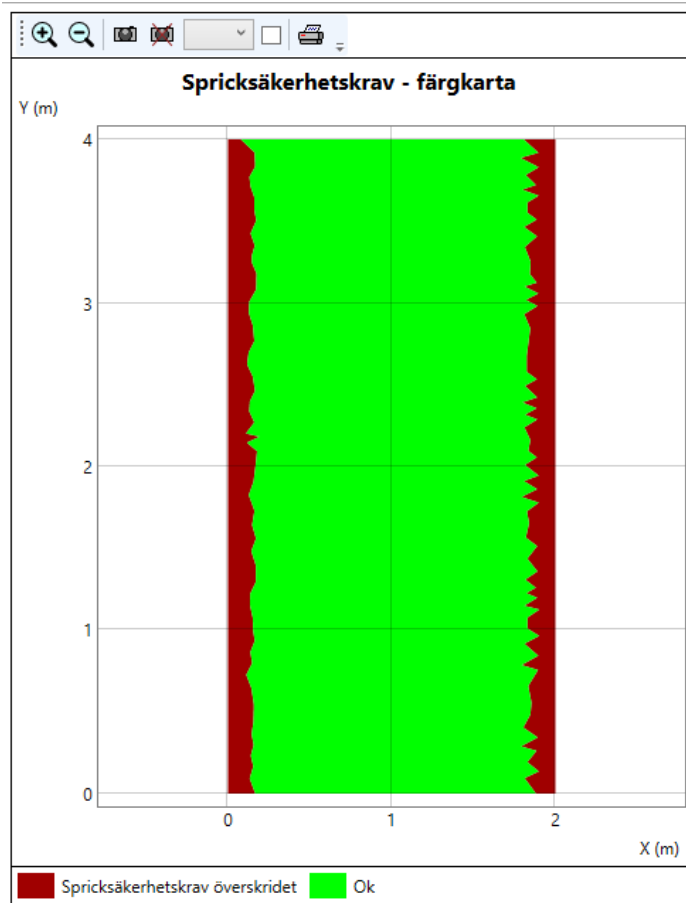
- Observera att beräkningen egentligen består av två simuleringar:
 - först körs ordinarie värme- och hållfasthetsberäkning
 - därefter körs spännings- och sprickriskberäkning

Resultat - varningar



- I diagramlistan under fliken **Beräkningsresultat** finns två röda markeringar:
 - Händelser under simulering – lista
 - Spricksäkerhetskrav - färgkarta

Resultat – färgkarta med spricksäkerhetskrav



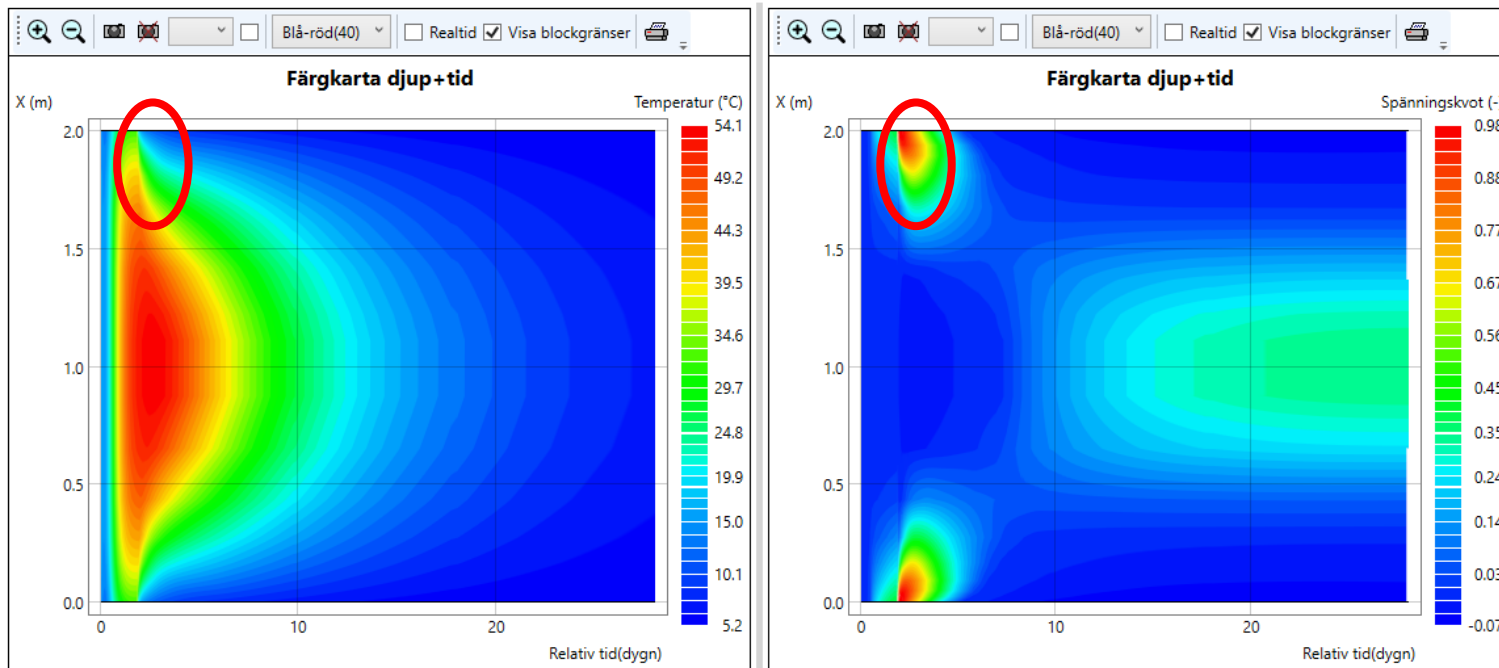
- För att se var spricksäkerhetskravet inte uppfylls tittar vi på färgkartan.
- Här framgår det tydligt att vi fått ytsprickor!

Resultat – lista med händelser under simulering

 ☐ Realtid	
Händelser under simulering - lista	
0h Vagg Gjutning	
17,50h Vagg: Tryckhållfasthet(min) ≥ 5.0 (MPa)	
1d 20,50h Vagg:Höger sida: Härdningsklass 3	
1d 20,50h Vagg:Höger sida: Formrivning	
1d 20,50h Vagg:Vänster sida: Härdningsklass 3	
1d 20,50h Vagg:Vänster sida: Formrivning	
1d 20,50h Vagg: Spricksäkerhet < 1.42 (-) (Spänningskvot>0.70 (-))	
11d 13h Vagg: Hållfasthetsklass C 35/45 [45.0 (MPa)] (medel)	
22d 1h Vagg: Hållfasthetsklass C 35/45 [45.0 (MPa)] (min)	

- I listan ser vi när olika händelser inträffar i tid.
- Här framgår tydligt att ytsprickorna är kopplade till formrivningen
- Kommentar till tidsuppgifter från bägge simuleringar
 - I detta fall ser det ut som spricksäkerhet bryts samtidigt med formrivningen. Detta är inte riktigt sant – spricksäkerheten bryts p.g.a. avkylning av ränder förorsakad av formrivningen, dvs. något efter formrivning.
 - Brist på exakt synkronisering i tid mellan händelser från spännings- resp. värmeberäkning förorsakas av att värmeresultat sparas med begränsad upplösning i tid av minnesskäl. Spänningsberäkningen utgår från de undansparade temperaturuppgifterna och kan ibland ge en händelse som inträffar något osynkroniserat jämfört med händelseresultat från värmeberäkningen.

Resultat – färgkarta temperatur och spänningskvot



- För att förstå vad som händer studerar vi lämpligen färgkarta djup + tid för både temperatur och spänningskvot bredvid varandra
- Här syns tydligt att tillväxten i spänningskvot vid ränderna är ett resultat av den snabba nedkylningen efter formrivning, så låt oss senare lägga formrivning!

Vägg – höger (och vänster) sida

Randtyp: Vänster sida ung betong

Väder Vädret

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

Vindstyrka Blåst [~6 (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 | y: 7d

Villkor

☐ % av fordrad 28-dygnshållfasthet 70 ☒ Medel ☐ Min

☒ Tryckhållfasthet (MPa) 5.0 ☐ Medel ☒ Min

☒ Randens hårdningsklass

Isolering efter formrivning

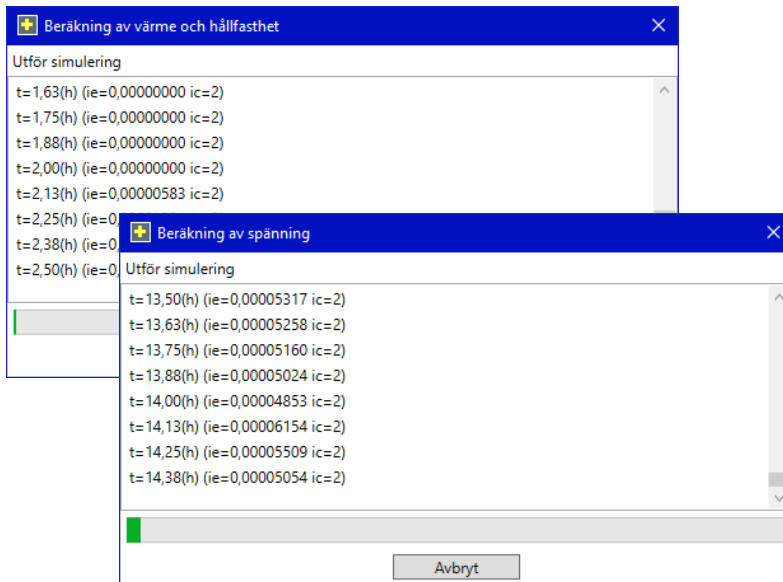
Isoleringstyp Ingen (PPB 2025.03.27)

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

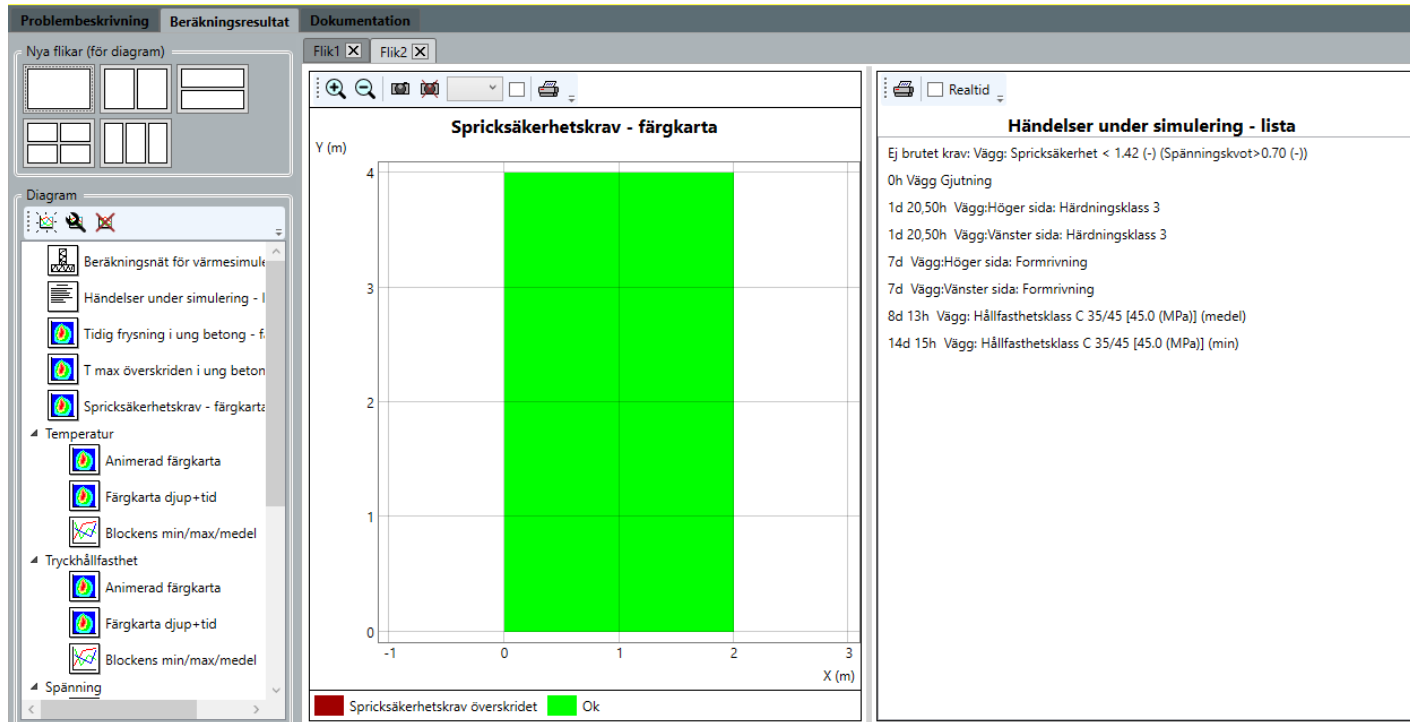
Av (yyyy.mm.dd hh.mm) 7d

- Låt oss växla till **manuell** formrivning
- Sätt tidpunkten till **7 dygn** efter gjutning

Kör beräkning



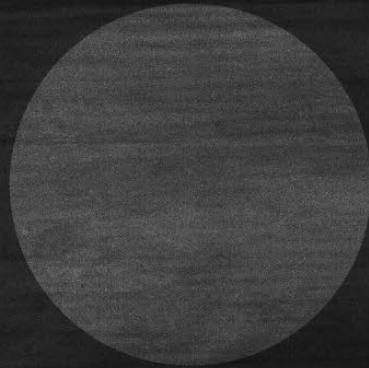
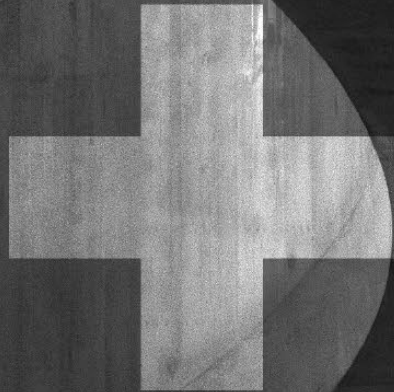
Hur gick det nu då?



- I resultaten ser vi att samtliga varningar är borta och att spricksäkerhetskravet uppfylls i hela konstruktionen 😊

Vad har vi lärt oss?

- Att beräkna spänning och sprickrisker i en väggsektion
- Att använda övervakning av spricksäkerhetskrav
- Att upptäcka spräckt spricksäkerhetskrav och se både var och när det inträffar
- Att studera utveckling av temperatur och spänningskvot för att förstå hur ytsprickorna är kopplade till en tidig formrivning som beräknats automatiskt
- Att det ibland kan förekomma en mindre oprecision i synkronisering mellan händelser från beräkningar av värme- resp. spänning och att det inte spelar någon roll
- Att vidta åtgärd mot ytsprickor genom manuell senareläggning av formrivningen
- Att verifiera att spricksäkerhetskravet uppfylls under hela simuleringen i hela konstruktionen



BYGGFÖRETAGEN

> Produktionsplanering betong

S3 Tunnelsektion – genomgående sprickor

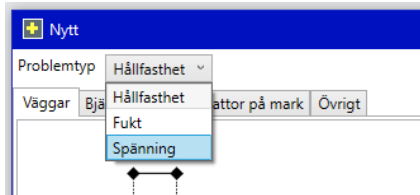
BYGGFÖRETAGEN

› Produktionsplanering betong

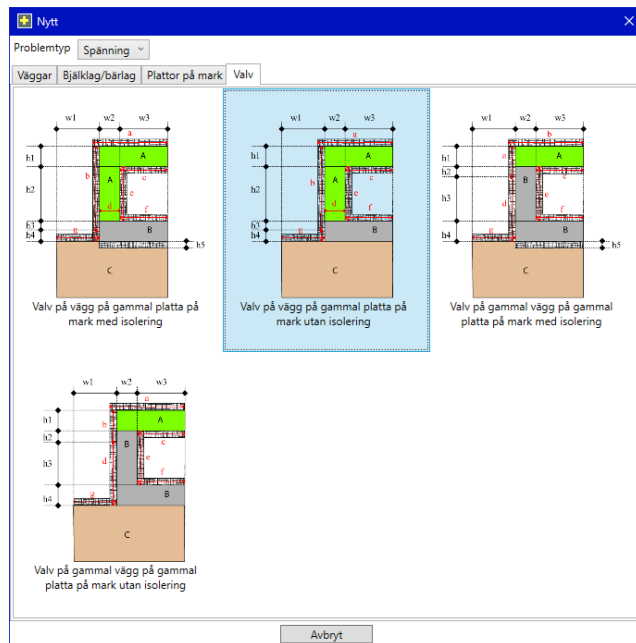
Vad skall vi lära oss?

- Att beräkna spänning och sprickrisker i en kombinationsgjutning av först vägg på platta på mark och sedan valv på väggen
- Att använda varierande inre last för att modellera variation av frihetsgrad i rörelse mellan fri konstruktionsdel resp. del som sitter mer fast i en fog
- Att upptäcka risk för genomgående sprickor och se både var och när det inträffar
- Att studera utveckling av temperatur och spänningskvot för att förstå hur sprickrisker är kopplade till hög maxtemperatur och låsning av rörelse i delar av väggen
- Att vidta åtgärd för begränsning av sprickrisk genom kylning av konstruktionsdel
- Att det finns två olika sätt att simulera låsning av konstruktionens rörelse när det är berg under

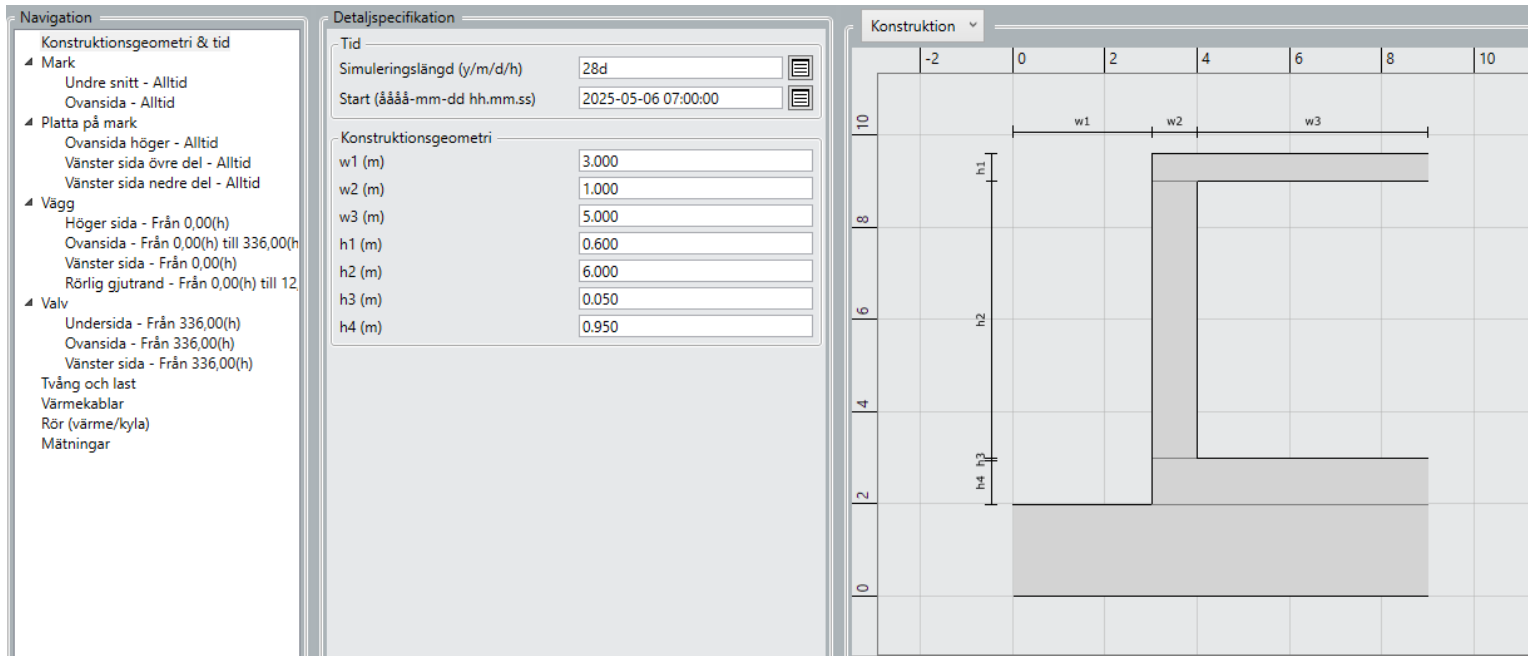
Valv på vägg på gammal platta på mark



- Växla problemtyp till **spänning** i samband med skapande av nytt projekt
- Skapa ett nytt projekt med:
 - **Valv på vägg på gammal platta på mark utan isolering**



Konstruktionsgeometri & tid



- Låt oss räkna på en 6 m hög och 10 m bred tunnelsektion (symmetrisk så vi räknar bara på halva konstruktionen) med 1 m tjock vägg och 0,6 m tjockt valv som gjuts på gammal platta.
- Sätt simuleringstid till 28 dygn
- Sätt konstruktionsmåten i enlighet med bilden ovan

Mark

Block : Mark

☒ Ung betong

☐ Deltar i spänningsberäkning

☐ Hantera alla randsegment som en rand

Blocktyp: Mark

Material

Morän/grus (PPB 2025.05.06)

Startvillkor

Yttemp. (°C) 15

- Som material för marken välj **Morän/grus**
- Sätt yttemperaturen till **15 °C**
- Här ser vi även att markblocket inte deltar i spänningsberäkningen utan endast i värmesimuleringen

Mark – undre snitt

Block Mark: Rand : Undre snitt

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Alltid

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd ▾

Randtyp: Mark undre snitt ▾

Temperatur (°C) 6.0

Värmeövergångstal (W/(m²·K)) 1000.000 Redigera...

- Markens temperatur på ca 2 m djup håller sig ganska konstant
- Här utnyttjas detta faktum och markens undre snitt är satt till ett randvillkor som håller markens temperatur på nivån 6 °C

Mark - ovansida

Block Mark: Rand : Ovansida

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Alltid

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd

Randtyp: Ovansida mark

Väder: Vädret

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

Vindstyrka Blåst [~6 (m/s)] ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

Temperaturhöjning (°C) 5.0

Täckning

Typ Ingen (PPB 2025.03.27)

På (yyyy.mm.dd hh.m) 1h

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

☐ Varierande Redigera...

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...

- Justera väderleken till:
 - Temperatur **15 °C**
 - Vindstyrka: **Blåst**
- Använd inte:
 - väderskydd
 - täckning
 - eller infravärme

Platta på mark

Block : Platta på mark

☐ Ung betong

☒ Deltar i spänningsberäkning

☐ Hantera alla randsegment som en rand

Blocktyp: Gammal betong

Material

Anl.betong 75% CEM I + 25% Slagg med AEA

Startvillkor

Temp. (°C) 15

- Som material för plattan välj **Anl.betong 75% CEM I + 25% Slagg med AEA**
- Sätt starttemperaturen till **15 °C**

Platta på mark – ovansida höger

Block Platta på mark: Rand : Ovansida höger

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Alltid

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd ▾

Randtyp: Ovansida höger platta på mark ▾

Väder: Vädret ▾

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

Vindstyrka Blåst [~6 (m/s)] ▾ ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

Temperaturhöjning (°C) 5.0

Täckning

Typ Ingen (PPB 2025.03.27) ▾

På (yyyy.mm.dd hh.m) 1h 

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

☐ Varierande Redigera...

Infravärme

Strålningseffekt (W/m²) 0.0

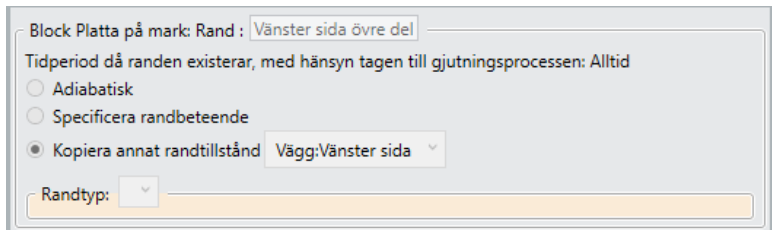
På (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 0h 

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

☐ Varierande Redigera...

- Här gör vi inte något speciellt
- Eftersom väderleken redan är justerad duger standardvalen

Platta på mark – vänster sida övre del



Block Platta på mark: Rand : Vänster sida övre del

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Alltid

☐ Adiabatisk

☐ Specificera randbeteende

☒ Kopiera annat randtillstånd Vägg: Vänster sida

Randtyp: Vägg

- Denna rand kopierar beteende från randen ovan
- Detta motsvarar faktum att formen från blocket ovan överlappar något med detta block
- Inga ändringar

Platta på mark – vänster sida nedre del

Block Platta på mark: Rand : Vänster sida nedre del

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Alltid

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd ▾

Randtyp: Vänster sida platta på mark ▾

Väder: Vädret ▾

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

Vindstyrka Blåst [~6 (m/s)] ▾ ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

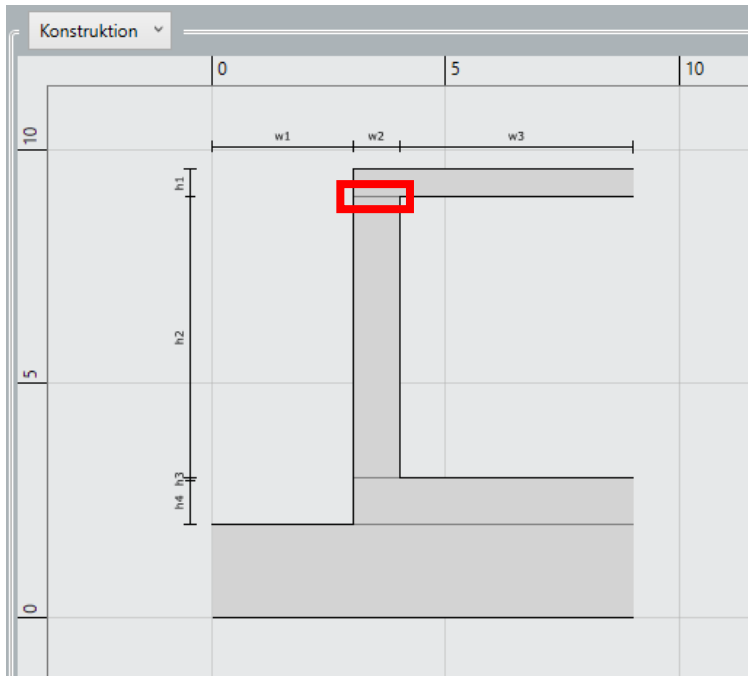
Temperaturhöjning (°C) 5.0

Isolering

Isoleringstyp Ingen (PPB 2025.03.27) ▾

- Här gör vi inte något speciellt
- Eftersom väderleken redan är justerad duger standardvalen

Dynamisk konstruktion



- En konstruktion som ändrar sig över tid, dvs. där åtminstone två block gjuts vid olika tidpunkter medför en gnutta komplexitet i specifikation.
- Gjutförfarandet påverkar nämligen vilka av blockens gränser som bilda fysiska ränder och när
- Vi vill gjuta väggen omedelbart, med viss påfyllningshastighet och valvet två veckor senare
- Detta kommer att innebära att väggens ovansida kommer att vara en konstruktionsrand i två veckor, innan den täcks med betong
- För att kunna mata in korrekt beteende för alla ränder är det en god idé att först ange gjutförfarande för alla block med ung betong!

Gjutförfarande Vägg och Valv

Detaljspecifikation

☒ T max (°C) 70.0

☒ Spricksäkerhet (-) 1.42 Spänningskvot < 0.70 (-)

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

Blocktyp: Ung betong vägg

Material: Cements An/Cem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C 35/45, vctgkv=

Bindemedelshalt (kg/m³)

Fcc28d (MPa)

Sätt till original

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C) 15

Gjutning

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

☒ m/h Hastighet (m/h) 0.5

Klar efter (h) 12.00

Konstruktion

0 5 10

10

5

0

Block: Vagg, Blocktyp: Ung betong vägg

- Sätt för vägg:
 - Gjuthastighet 0,5 m/h
 - Start **direkt** vid simuleringsstart

Detaljspecifikation

☒ T max (°C) 70.0

☒ Spricksäkerhet (-) 1.42 Spänningskvot < 0.70 (-)

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

Blocktyp: Ung betong valv

Material: Cements An/Cem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C 35/45, vctgkv=

Bindemedelshalt (kg/m³)

Fcc28d (MPa)

Sätt till original

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C) 15

Gjutning

☒ Momentan Starttid (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/ | 14d

☐ m/h Hastighet (m/h) 0.5

Klar efter (h) 0.00

Konstruktion

0 5 10

10

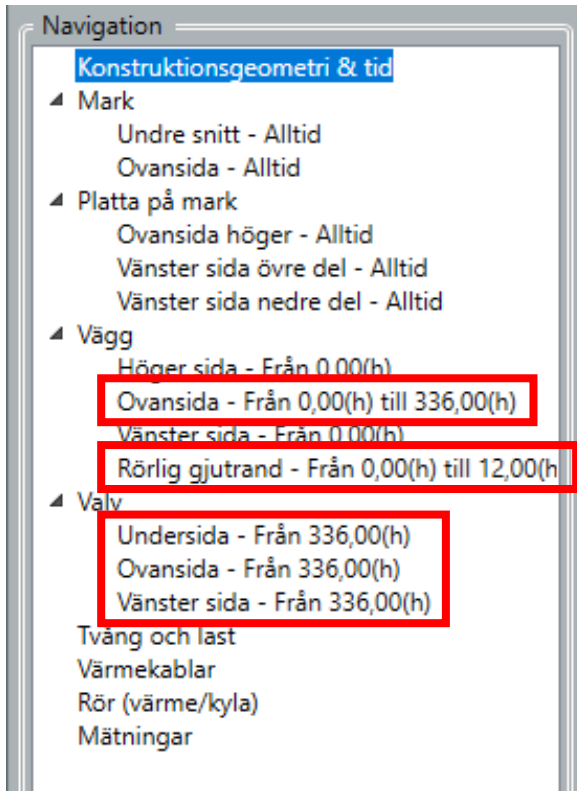
5

0

Block: Valv, Blocktyp: Ung betong valv

- Sätt för valv
 - **Momentan** gjutning
 - Start **14 dygn** efter simuleringsstart

Dynamisk konstruktion



- Nu ser vi två nya ränder för väggen:
 - Ovansida, som gäller från gjutning tills valvet gjuts
 - Rörlig gjutrand, som gäller under påfyllningen av betongen
- Vi har även fått en förändring på samtliga ränder för valvet. De börjar gälla i samband med den 2 veckor fördröjda gjutningen av valvet.
- Nu kan vi återgå till att specificera färdigt de två blocken och deras samtliga ränder

Vägg – föreskrivna krav och material

Block :

☒ Ung betong
☒ Deltar i spänningsberäkning
☐ Hantera alla randsegment som en rand

Föreskrivna krav enligt handlingar

☒ Hållfasthetsklass

Exponeringsklasser

Karbonatisering

Kloridinträngning

Frysning/upptining ☐ XF1 ☐ XF2 ☐ XF3 ☒ XF4

Kemiskt angrepp

☒ T max (°C)

☒ Spricksäkerhet (-) Spänningskvot < 0.70 (-)

Nytt:

Blocktyp:

Material:
 Bindemedelshalt (kg/m³)
 Fcc28d (MPa)

Färska betongmassans temperatur i formen
 Temperatur (°C)

- Krav:
 - Hållfasthetsklass **C35/45**
 - Exponeringsklasser
 - Kloridinträngning **XS3/XD3**
 - Frysning/upptining **XF4**
 - T max **70 °C**
 - Spricksäkerhet **1.42**
- Välj som material
 - **Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA**
 - **C 35/45**
- Gjuttemperatur **15 °C**
- (Gjutförfarande är redan angivet)

Vägg – höger sida

Block Vagg: Rand : Höger sida

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

☐ Adiabatisk
☒ Specificera randbeteende
☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härdningsklass Härdningsklass 3 Kontrollpunkter...

Randtyp: Höger sida vägg

Väder Vädret

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

Vindstyrka Blåst [~6 (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.: 4d

Villkor

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

☒ Tryckhållfasthet (MPa) 5.0 ☐ Medel ☒ Min

☒ Randens härdningsklass

Isolering efter formrivning

Isoleringstyp Inqen (PPB 2025.03.27)

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

Av (yyyy.mm.dd hh.rr 7d

- Välj **Härdningsklass 3**
- Väderleken är redan angiven
- Inget väderskydd
- Formmaterial **Trä 22-25mm, oisolerat**
- Formrivning **manuell 4 dygn** efter gjutning
- Inget isolering efter formrivning

Vägg – ovansida

Block Vägg: Rand : Ovansida

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Från 0,00(h) till 336,00(h)

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☐ Härdningsklass

Härdningsklass 1

Kontrollpunkter...

Randtyp: Ovansida vägg

Väder Vädret

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

Vindstyrka Blåst [~6 (m/s)] ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd

Temperaturhöjning (°C) 5.0

Täckning

Typ Ingen (PPB 2025.03.27)

På (yyyy.mm.dd hh.m) 1h

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

☐ Varierande Redigera...

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...

- Koppla bort övervakning av härdningsklass
- Väderleken är redan angiven
- Inget väderskydd
- Ingen täckning
- Ingen infravärme

Vägg – vänster sida

Detaljspecifikation

Block Vagg: Rand : Höger sida

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

☐ Adiabatisk

☒ Specificera randbeteende

☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härdningsklass Härdningsklass 3 [Kontrollpunkter...](#)

Randtyp: Vänster sida ung betong

Väder: Vädret

Temperatur (°C) 5.0 ☐ Varierande [Redigera...](#)

Vindstyrka Blåst [~6 (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.s) 7d

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

- Välj **Härdningsklass 3**
- Väderleken är redan angiven
- Inget väderskydd
- Formmaterial **Trä 22-25mm, oisolerat**
- Formrivning **manuell 4 dygn** efter gjutning
- Ingen isolering efter formrivning

Vägg – rörlig gjutrand

Block Vägg : Rand Rörlig gjutrand

Randtyp: Rörlig gjutrand

☐ Lufttemp. = gjuttemp. + (°C) 5.0

☒ Lufttemperatur (°C) 15.0

- Sätt lufttemperatur till **15 °C**

Valv – föreskrivna krav och material

Block: Valv

☒ Ung betong
☒ Deltar i spänningsberäkning
☐ Hantera alla randsegment som en rand

Föreskrivna krav enligt handlingar

☒ Hållfasthetsklass C 35/45

Exponeringsklasser

Karbonatisering X0

Kloridinträngning XS3/XD3

Frysning/upptining ☐ XF1 ☐ XF2 ☐ XF3 ☒ XF4

Kemiskt angrepp X0

☒ T max (°C) 70.0

☒ Spricksäkerhet (-) 1.42 Spänningskvot <0.70 (-)

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

Blocktyp: Ung betong valv

Material: Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA, C 35/45, vctgkv=

Bindemedelshalt (kg/m³)

Fcc28d (MPa)

Sätt till original

Färska betongmassans temperatur i formen

Temperatur (°C) 15

- Krav:
 - Hållfasthetsklass C35/45
 - Exponeringsklasser
 - Kloridinträngning XS3/XD3
 - Frysning/upptining XF4
 - T max 70 °C
 - Spricksäkerhet 1.42
- Välj som material
 - Cementa AnlCem Brevik 75% CEM I + 25% Slagg med AEA
 - C 35/45
- Gjuttemperatur 15 °C
- (Gjutförfarande är redan angivet)

Valv – undersida

Block Valv: Rand : Undersida

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Från 336,00(h)

☐ Adiabatisk
☒ Specificera randbeteende
☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härdningsklass
 Härdningsklass 3
Kontrollpunkter...

Randtyp: Undersida valv

Väder Vädret

Temperatur (°C) 15.0 ☐ Varierande Redigera...
 Vindstyrka Blåst [~6 (m/s)] ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd
 Temperaturhöjning (°C) 5.0

Form

☐ Automatisk formrivning ☒ Manuell formrivning ☐ Kvarsittande form
 Formtyp Trä 22-25mm, oisolerat (PPB 2022.12.06)
 Formrivningstidpunkt (yyyy.mm.dd hh.mm) 18d

Villkor

☒ % av fordrad 28-dygns hållfasthet 70 ☒ Medel ☐ Min
☐ Tryckhållfasthet (MPa) 6.0 ☐ Medel ☒ Min
☒ Randens härdningsklass

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...

- Välj **Härdningsklass 3**
- Väderleken är redan angiven
- Inget väderskydd
- Formmaterial **Trä 22-25mm, oisolerat**
- Formrivning **manuell** 4 dygn efter gjutning dvs. **18 dygn** efter simuleringsstart
- Ingen infravärme

Valv – ovansida

Block Valv: Rand : Ovansida

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Från 336,00(h)

☐ Adiabatisk
☒ Specificera randbeteende
☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härdningsklass
 Härdningsklass 3
Kontrollpunkter...

Randtyp: Ovansida valv

Väder Vädret

Temperatur (°C) 15.0 ☐ Varierande Redigera...
 Vindstyrka Blåst [~6 (m/s)] ☐ Varierande Redigera...

Väderskydd

☐ Använd
 Temperaturhöjning (°C) 5.0

Täckning

Typ Ingen (PPB 2025.03.27)
 På (yyyy.mm.dd hh.m) 1h ☰
 Av (yyyy.mm.dd hh.m) 7d ☰
☐ Varierande Redigera...

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...

- Välj **Härdningsklass 3**
- Väderleken är redan angiven
- Inget väderskydd
- Ingen täckning
- Ingen infravärme

Valv – vänster sida

Block Valv: Rand : Vänster sida

Tidperiod då randen existerar, med hänsyn tagen till gjutningsprocessen: Från 336,00(h)

☐ Adiabatisk
☒ Specificera randbeteende
☐ Kopiera annat randtillstånd

Föreskrivna krav

☒ Härdningsklass Härdningsklass 3 Kontrollpunkter...

Randtyp: Vänster sida valv

Väder Vädret

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

Vindstyrka Blåst [~6 (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.): 18d

Villkor

☐ % av fordrad 28-dygnshållfasthet 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.rr) 7d

- Välj **Härdningsklass 3**
- Väderleken är redan angiven
- Inget väderskydd
- Formmaterial **Trä 22-25mm, oisolerat**
- Formrivning **manuell** 4 dygn efter gjutning dvs. **18 dygn** efter simuleringsstart
- Ingen isolering efter formrivning

Tvång och inre last – yttre tvång

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

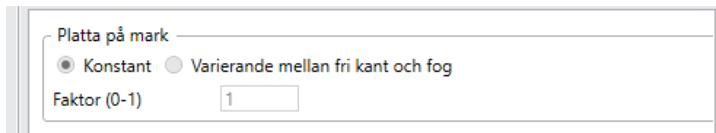
 ☐ Inget tvång - fri rörelse (0) Deformation sker som böjning i horisontalplanet (runt y-axeln), dvs. konstruktionen böjs i sidled (svarta prickar i bilden). Interaktion med omgivning sker som böjmoment (röda pilar i bilden).

☐ Faktor (0-1)

☒ Fullt tvång - ingen rörelse (1)

- För generella råd kring specifikation av inre last och yttre tvång i olika situationer se t.ex.:
- ***Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C***, Emborg M., Bernander S., Ekerfors K., Groth P., Hedlund H., LTU 1997:02
- ***Tvång för sprickanalyser, SBUF 11618***, Nilsson M., Hedlund H., Emborg M., Jonasson J.-E., Bernander S., LTU 2015-11-16
- I detta fall använder vi för yttre tvång:
 - Translation: **faktor = 0.55**
 - Vertikal rotation: **faktor = 0.10**
 - Horisontell rotation: **fullt tvång**

Tvång och inre last – inre last gamla plattan



Platta på mark

☒ Konstant ☐ Varierande mellan fri kant och fog

Faktor (0-1)

- För gammal betong sätter vi konstant inre last:
- **Faktor = 1.0**

Tvång och inre last – inre last vägg

Vägg

☐ 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)

- Väggen är en typisk konstruktionsdel som sitter fast i konstruktionen i ena änden (undre kant) och är relativt fri att röra sig i den andra (övre kant). I sådana sammanhang används förkalkylerad varierande inre last för att simulera detta:
- **Varierande mellan fri kant och fog**
- Konstruktionslängd **12 m**
- Riktning: **nerifrån upp**
- Vi vill även ta hänsyn till glidning i fogen där:
 - Fogbredd är samma som **blockets bredd i underkant**
 - Utsträckning från fog **beräknas automatiskt**
- När valvet gjuts ovanpå väggen är inte denna lastmodell giltig längre då väggen har styvnat och övre kanten är inte fri. Då växlar vi till konstant inre last:
 - Efter **14 dygn** konstant inre last med **faktor = 1.0**

Tvång och inre last – inre last valv

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)

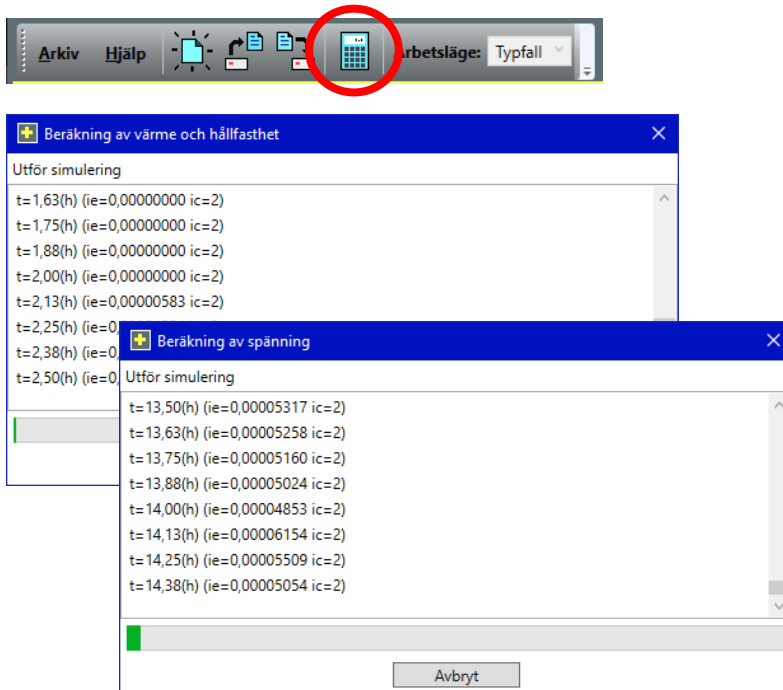
☒ Automatiskt beräknad ☐ Egen

☐ Växla till konstant vid tidpunkt

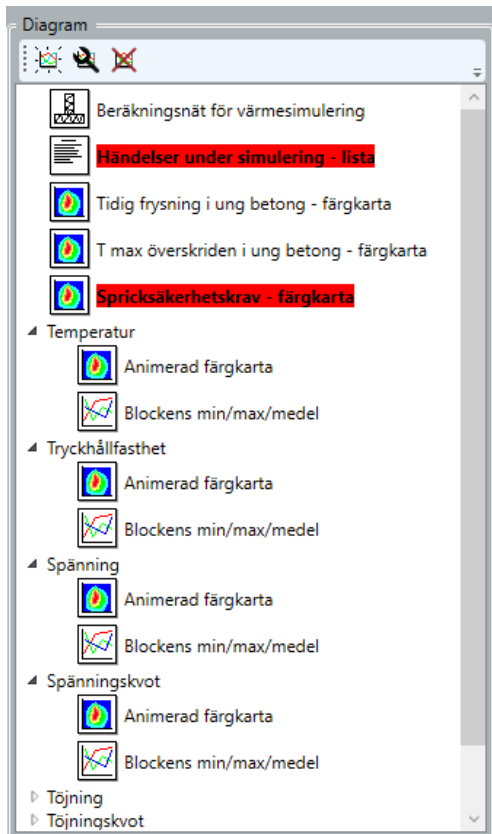
Faktor (0-1)

- Liknande resonemang för varierande frihetsgrad och inre last gäller även för valvet. Här sitter den låsande fogen mot väggen på vänster sida och variationsriktningen är horisontell:
- **Varierande mellan fri kant och fog**
- Konstruktionslängd **12 m**
- Riktning: **vänster till höger**
- Vi vill även ta hänsyn till glidning i fogen där:
 - Fogbredd inte är samma som blockets bredd i underkant så vi sätter den till ett **eget värde 1 m** som motsvarar bredden för kontaktytan mellan valv och vägg
 - Utsträckning från fog **beräknas automatiskt**

Kör beräkning

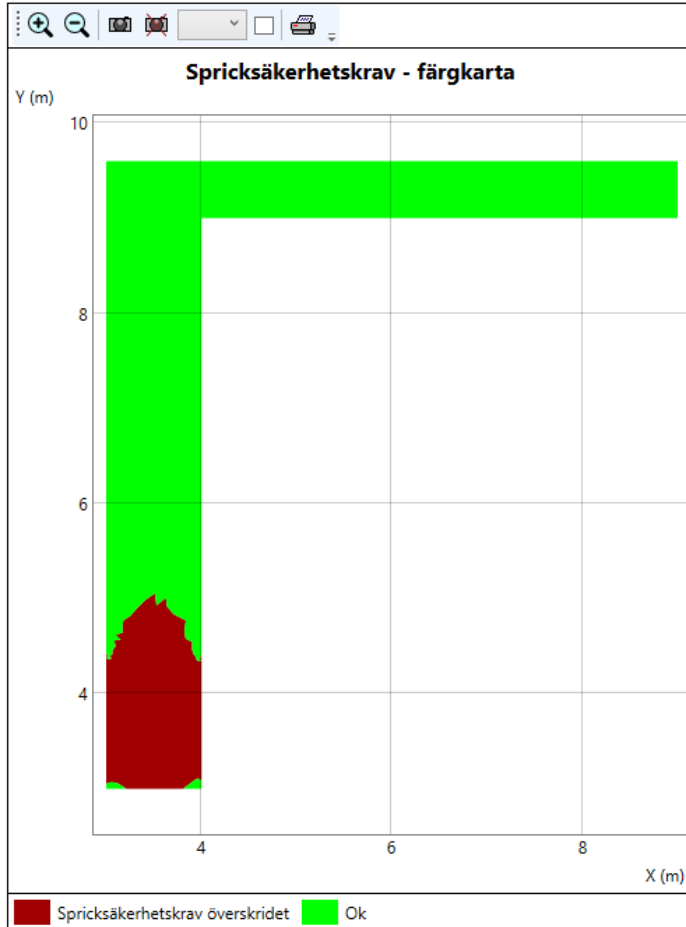


Resultat - varningar



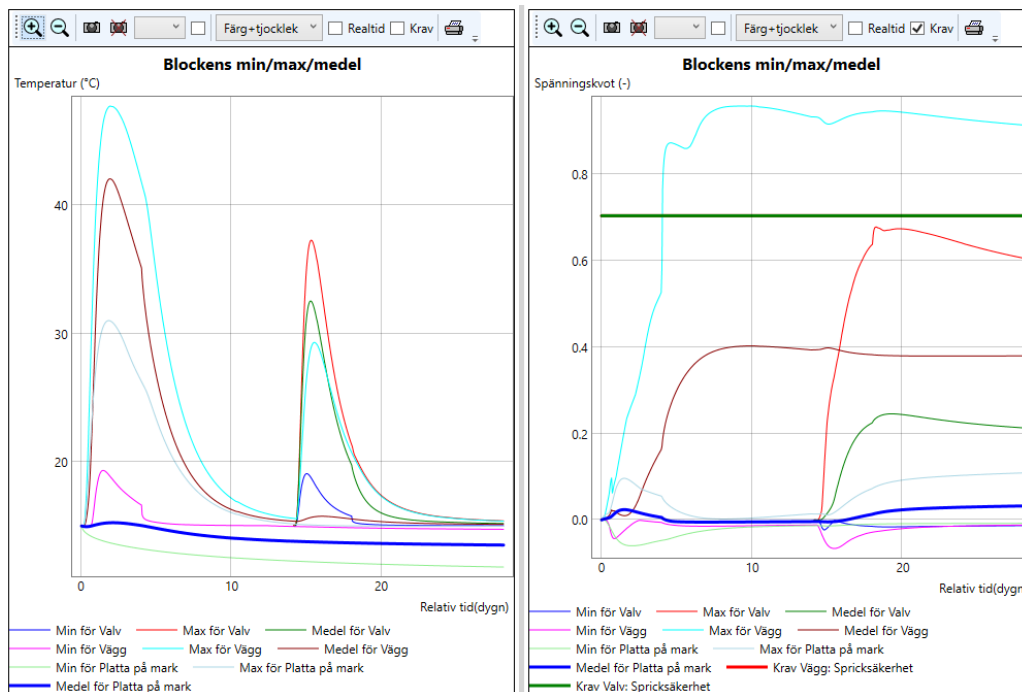
- I diagramlistan under beräkningsresultat finns två röda markeringar:
 - Händelser under simulering – lista
 - Spricksäkerhetskrav - färgkarta

Resultat – färgkarta med spricksäkerhetskrav



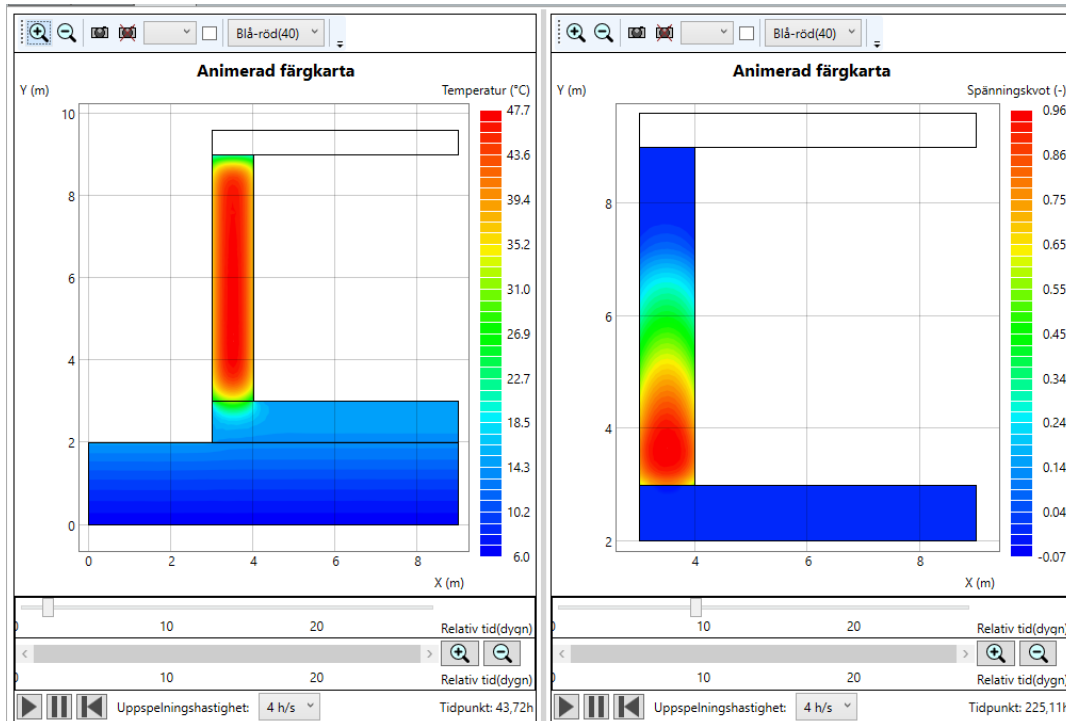
- För att se var spricksäkerhetskravet inte uppfylls tittar vi på färgkartan.
- Här framgår det tydligt att
 - valvet ser ut att ha klarat sig
 - i bottendelen av väggen har spricksäkerhetskravet överskridits och det är stor risk för att genomgående sprickor kan uppkomma!

Resultat - kurvdiagram för temperatur och spänningskvot



- Låt oss titta på kurvdiagram med min/max/medelvärden för temperatur och spänningskvot bredvid varandra
- Markera även kravnivåer i diagrammet för spänningskvot (bägge ligger på samma så det är bara en linje som syns)
- Vi får initialt en hög max- och medeltemperatur i väggen
- När toppen passerar och konstruktionen kyles av, förstärkt av formrivning (syns som hack i temp.kurvan) efter 4 dygn blir summan av krympning p.g.a. hydrataion samt nedkylning för mycket och spänningskvoten sticker iväg och bryter mot kravet

Resultat – färgkarta temperatur och spänningskvot



- Vi tar fram färgkartor för temperatur och spänningskvot och vi tittar på en stillbild vid tidpunkt för resp. maxvärde
- Här syns tydligt att hela väggen värms upp till en hög temperatur
- Samtidigt blir effekten av detta synlig i den höge spänningskvoten endast i väggens nedre del – detta på grund av variationen av inre last!
- Väggen får röra sig i den övre delen så där är rörelsen inget problem
- Nedre delen är mer fastlåst genom fogen mot den gamla plattan och där är den höga maxtemperaturen ett problem
- Vi tester med att kyla den nedre delen av väggen!

Rör (värme/kyla)

Rör (värme/kyla)

Vänster

Höger

Ny serie... Ta bort

Rörserie: Vänster

Antal rör i serie: 4

Startpunkt X (m) 3.350 Y (m) 3.200

Förflyttning i X (m) 0.000 i Y (m) 0.400

Rörtyp Stålrör (PPB 2025.04.23)

Radie (m) 0.012

Antal sidor vid approximation av cirkulärt rör 4

Rörhantering Rörhantering1

Mediets temperatur (°C) 8.0

På (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 0h

Av (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 2d

☐ Varierande Redigera...

Rör (värme/kyla)

Vänster

Höger

Ny serie... Ta bort

Rörserie: Höger

Antal rör i serie: 4

Startpunkt X (m) 3.650 Y (m) 3.200

Förflyttning i X (m) 0.000 i Y (m) 0.400

Rörtyp Stålrör (PPB 2025.04.23)

Radie (m) 0.012

Antal sidor vid approximation av cirkulärt rör 4

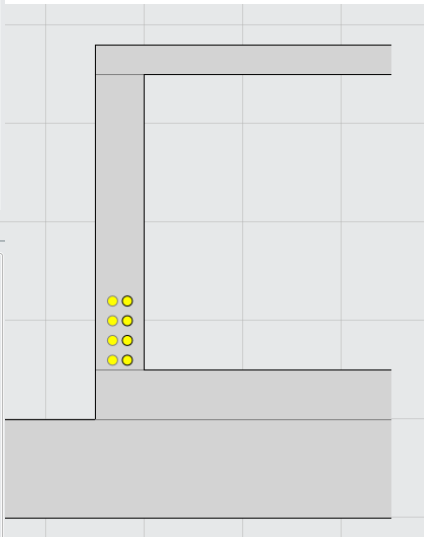
Rörhantering Rörhantering1

Mediets temperatur (°C) 8.0

På (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 0h

Av (yyyy.mm.dd hh.mm.ss | y/m/d/h) 2d

☐ Varierande Redigera...



- Sätt upp två serier av kylrör i den nedre delen av väggen:

- **Vänster**

- **Start i (3.350; 3.200)**
- Med **förflyttning (0.000; 0.400)**

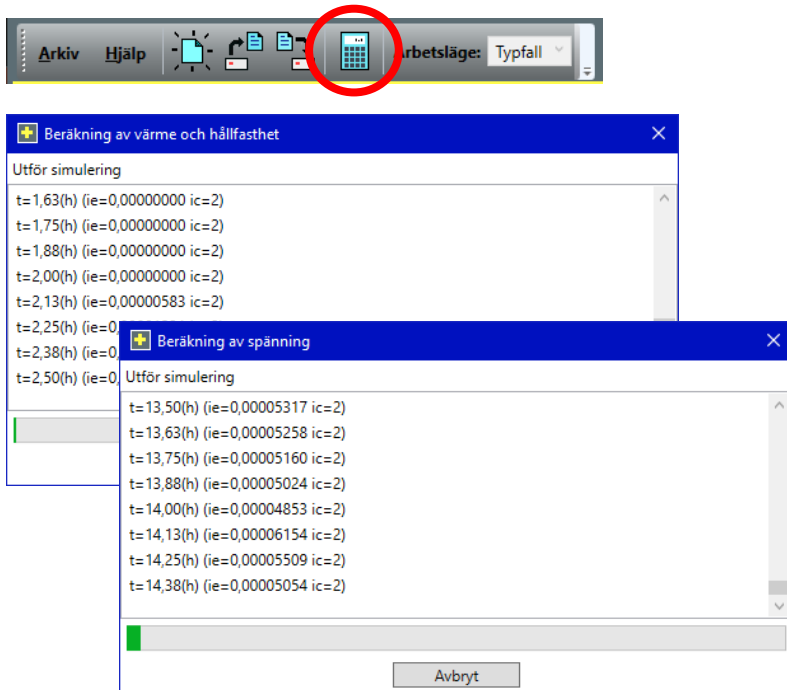
- **Höger**

- **Start i (3.650; 3.200)**
- Med **förflyttning (0.000; 0.400)**

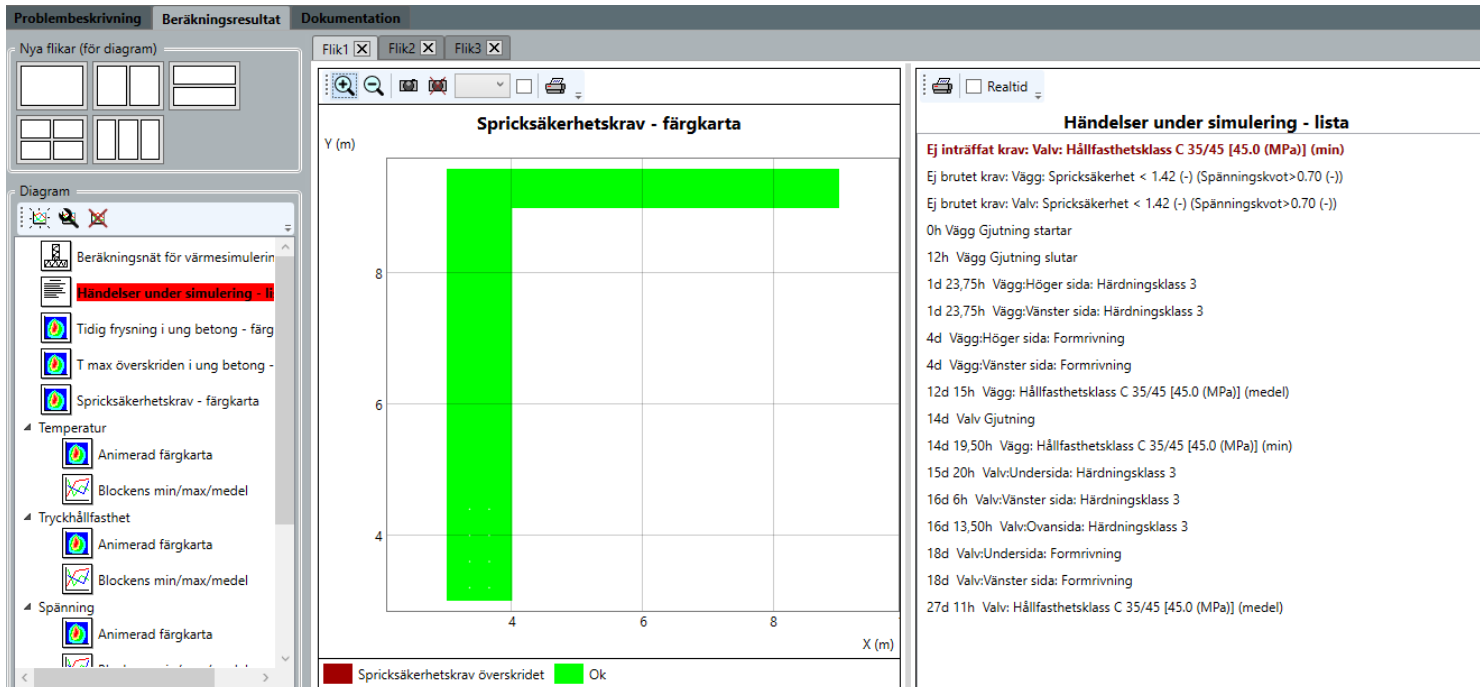
- **Bägge med**

- **4 stålrör** approximerade med **4 sidor**
- Mediets temperatur **8 °C**
- **På direkt och av vid 2 dygn**

Kör beräkning

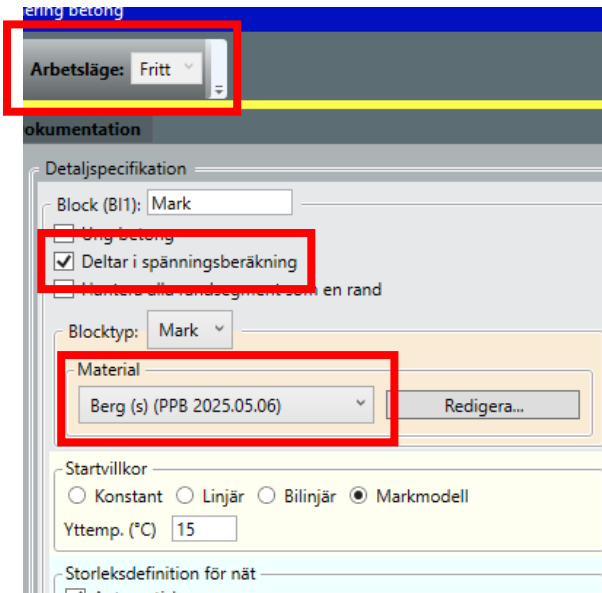


Hur gick det nu då?



- Spricksäkerhetskravet uppfylls i hela konstruktionen 😊
- Vi har kvar ett ouppfyllt krav - hållfasthetsklass för valvet som miniminhållfasthet – med vi har endast simulerat 28 dygn dvs. 14 dygn efter valvets gjutning. Förläng gärna simuleringstiden med en vecka eller två för att se att även detta krav kommer att uppfyllas.

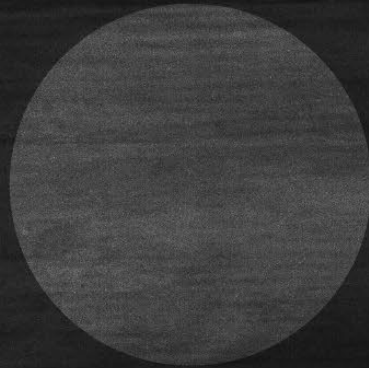
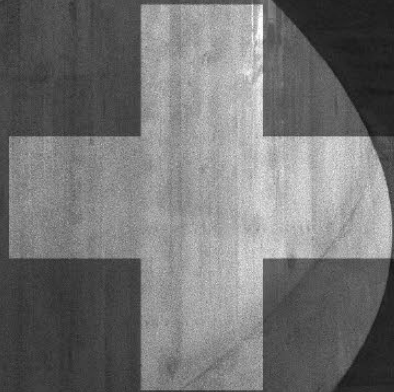
Berg som underlag – två sätt att simulera



- Vill man räkna på berg under den gamla plattan så finns det två sätt
- Ett av dem går ut på att göra samma typ av simulering som vi nyligen har gjort fast med berg som val av material för mark
 - Berget deltar då i värmeberäkningen men inte i spänningsberäkningen
- För att simulera bergets låsande effekt på rörelsen i konstruktionen får man sätta ett högre translationstvång
- Ett annat sätt är att ta med berget i spänningsberäkningen
 - Man måste då:
 - Växla arbetsläge till fritt (se manual kap. H9)
 - Markera markblocket för deltagande i spänningsberäkningen
 - Välja berg som material
 - Justera ner translationstvånget då berget i spänningsberäkningen kommer att stå för den låsande effekten för rörelse av konstruktionen

Vad har vi lärt oss?

- Att beräkna spänning och sprickrisker i en kombinationsgjutning av först vägg på platta på mark och sedan valv på väggen
- Att använda varierande inre last för att modellera variation av frihetsgrad i rörelse mellan fri konstruktionsdel resp. del som sitter mer fast i en fog
- Att upptäcka risk för genomgående sprickor och se både var och när det inträffar
- Att studera utveckling av temperatur och spänningskvot för att förstå hur sprickorna är kopplade till hög maxtemperatur och låsning av rörelse i delar av väggen
- Att vidta åtgärd genom kylning av konstruktionsdel
- Att det finns två olika sätt att simulera låsning av konstruktionens rörelse när man har berg under



BYGGFÖRETAGEN

> Produktionsplanering betong