

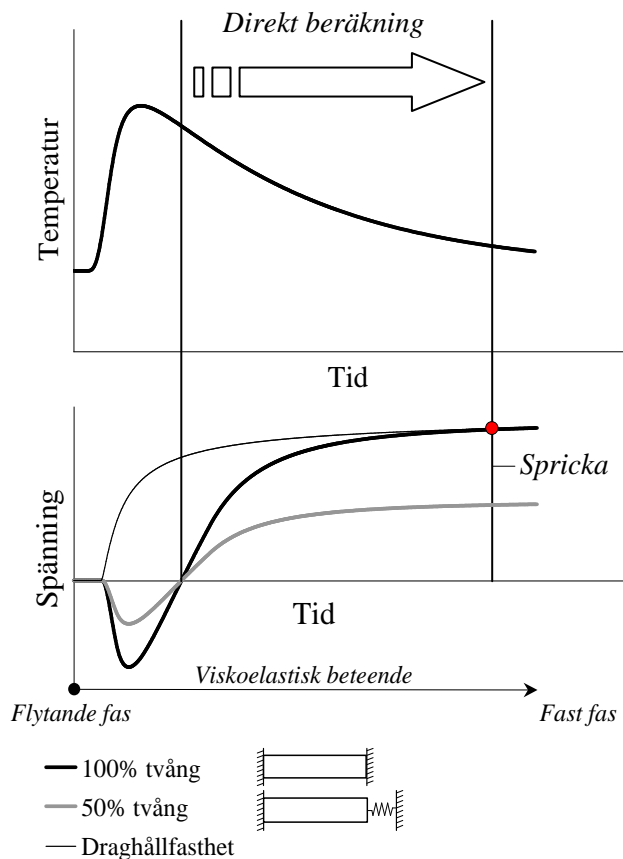
TERMISK SPRICKBEDÖMNING I UNG BETONG *Modeller och metoder för praktisk tillämpning*

Bakgrund

En konstruktions framtida livslängd och funktion bestäms tidigt när den unga betongen hårdnar och formas till ett fast och förhoppningsvis beständigt material. Sprickbildning orsakad av förhindrade temperatur- och krympningsdeformationer i den unga betongen leder ofta till att önskade positiva egenskaper hos betongen ödeläggs redan under produktionsfasen. Sprickor av den här typen riskerar att påskynda betongens nedbrytning vilket på sikt kan äventyra konstruktionens bärförmåga. Andra byggnadsverk kan ha funktionskrav där en sprickfri konstruktion är önskvärd för att förhindra till exempel läckage (dammar, bassänger, sänktunnlar etc.) eller nötning (väggar, golv etc.). Det är följaktligen av stor vikt att man i ett tidigt skede tillförlitligt kan bedöma om en hårdnande betongkonstruktion kommer att spricka eller ej och i förekommande fall vidta lämpliga åtgärder för att undvika denna typ av oönskade skador.

Deformationen som orsakar temperatursprickor uppstår till följd av värme som genereras i samband med den kemiska process som sker när betongen härdar, se Figur 1. Värmeutvecklingen medför att en nygjuten betongkonstruktion under härdningsförloppet kommer att expandera för att sedan dra ihop sig när konstruktionen svalnar av. Om denna volymförändring förhindras av till exempel en tidigare gjuten konstruktionsdel uppstår tryckspänningar under expansionsfasen och som sedan övergår till dragspänningar när den nygjutna konstruktionen drar sig samman. Överskrider dragspänningarna betongens draghållfasthet uppstår sprickor. Under hela härdningsförloppet förändras också betongens materialegenskaper från att vara en i stort sett flytande vätska till att bli ett nästan fullt ut elastiskt material. För att på ett korrekt sätt kunna förutbestämma risken för att temperatursprickor skall uppstå i en tvångsutsatt konstruktion måste man följaktligen behärska:

- I. Modellering av materialegenskaper
- II. Modellering av strukturellt tvång
- III. Metoder för termisk sprickestimering



Figur 1. Temperatur- och spänningsutveckling i en härdande betongkonstruktion utsatt för ett yttre tvång. Det tvång konstruktionen utsätts för får en direkt inverkan på hur stora spänningarna blir. Förenklade metoder för sprickestimering kan formuleras som en direkt beräkning mellan nollspänningstillståndet och den tidpunkt maximal spänning uppnås i en härdande betongkonstruktion.

Syfte

Huvudsyftet med arbetet har varit att förenkla material- och strukturmodeller/metoder för termisk spännings- och sprickestimering så att de blir praktiskt tillämpbara för en större användarkrets inom framförallt bygg- och anläggningsbranschen.

Arbetet har varit fokuserat på att ytterligare utveckla:

- I. *Modellering av materialegenskaper (Artikel A och B)*; Formulera en ny krypmodell för huvudsaklig tillämpning vid beräkning av temperaturspänningar i ung betong samt baserat på denna modell ta fram en metod för att förutsäga krypbeteendet hos ung betong med hjälp av endast begränsade mängder försöksdata.
- II. *Modellering av strukturellt tvång (Artikel C)*; Visa att det är möjligt att beskriva det strukturella tvånget med hjälp av enkla tvångskoefficienter och att tillämpning av dessa i termiska spänningsanalyser ger tillförlitliga resultat.
- III. *Metoder för termisk sprickestimering (Artikel D och E)*; Etablera och utvärdera förenklade metoder för termisk sprickestimering samt utforma en av dessa för praktisk tillämpning.

Genomförande och resultat

Artikel A – Formulering och evaluering av en ny krypmodell

Under betongens härdning förändras materialet från att vara näst intill en vätska till att bli ett i det närmaste elastiskt material vilket kan beskrivas med hjälp av materialmodeller för krypning och relaxation. Få studier har gjorts för att studera hur modellering av krypning påverkar en beräknad termisk spänningsutveckling i hårdnande betong. Många existerande krypmodeller är dessutom ursprungligen inte anpassade för att användas i denna typ av beräkningar och är ofta rent matematiskt uppställda uttryck som är svåra att förstå och använda i samband med mer praktisk tillämpning.

I detta arbete har en ny krypmodell för huvudsaklig tillämpning vid termiska spänningsberäkningar i ung betong tagits fram. Det verkliga materialbeteendet kan kännas igen i modellen (och dess parametrar) som baseras på stegvis räta linjer i logaritmisk tidsskala. Den nya modellen kan beskriva beteendet för såväl ung som mogen betong och är dessutom mycket stabil vilket möjliggör tillförlitlig krypmodellering baserat på mycket begränsade försöksdatamängder. En annan fördel med modellen är att negativa relaxationsvärden i linjär viskoelastisk modellering är mycket små och effekten av dessa blir nästan helt försumbar vid tillämpning i spänningsberäkningar. Krypmodellen visar också samma eller bättre korrelation vid anpassning mot försöksdata som andra jämförbara modeller för krypning.

Artikel B – Metod för förutbestämning av krypbeteendet hos ung betong

Att genomföra fullständiga krypförsök som underlag för anpassning av krypmodeller till termiska spänningsberäkningar är mycket tidkrävande och därmed också mycket kostsamma. Detta innebär att det i praktiken används standarduppsättningar av krypdata vid beräkning av temperaturspänningar i hårdnande betongkonstruktioner vilket ökar osäkerheten i beräkningsresultaten samt tvingar fram högre säkerhetsmarginaler i samband med dimensionering.

I detta arbete har generella modellparametrar för den tidigare framtagna krypmodellen (artikel A) etablerats genom anpassningar mot en stor mängd försöksdata från olika universitet och forskningsinstitut i Europa. Anpassningarna visar att det genomsnittliga felet vid användning av standardvärden för krypdata i termiska spänningsberäkningar är cirka 15 %. Genom att använda de generella modellparametrarna kan man baserat på enbart en känd elasticitetsmodul vid 28 dygns ålder minska felet med nästan två tredjedelar. Med en mycket begränsad provningsinsats kan således noggrannheten på beräkning av temperaturspänningar markant förbättras vilket möjliggör minskade säkerhetsmarginaler vid dimensionering och därmed minskade kostnader för eventuella sprickriskreducerande åtgärder.

Artikel C – Tvångskoefficienter i termisk spänningsanalys

En korrekt modellering av det strukturella tvånget är helt avgörande för att kunna utföra en rättvisande termisk spänningsanalys. Tvånget kan beaktas direkt i en finita element beräkning innefattande modeller för den hårdnande betongens beteende vilket dock tar mycket tid i anspråk både vad gäller ren beräkningstid som att handa in- och utdata. Ett mycket enklare men ännu ej fullt ut verifierat sätt att ta hänsyn till tredimensionella tvångseffekter är att använda så kallade tvångskoefficienter. Dessa beskriver tvånget i olika punkter av en konstruktion som en grad av tvång där 0 motsvarar att konstruktionen kan röra sig helt fritt och 1 att den är fullständigt inspänd.

I detta arbete har det visats att strukturellt tvång i en termisk spänningsanalys kan beskrivas med tvångskoefficienter genom att jämföra resultaten med mer exakta finita element beräkningar och resultaten från ett fullskaligt fältförsök. Tvångskoefficienterna används som en direkt reduktion av fixeringsspänningen (spänningsutveckling vid fullständig inspänning) under såväl expansions- som kontraktionsfas. Etablering av tvångskoefficienter kan göras med enkla elastiska ansatser vilket visats genom jämförelser med viskoelastiska beräkningar samt observerat beteende i fullskaleförsök. Användandet av tvångskoefficienter möjliggör att mer avancerade tvångssituationer kan analyseras och göras mer omfattande än vad tidigare varit vanligt.

Artikel D – Förenklade direkta metoder för termisk sprickesterimering

Man kan idag med relativt god noggrannhet bedöma risken för temperatursprickor i nygjutna betongkonstruktioner vilket dock erfordrar speciella och ganska avancerade beräkningsprogram. Vid många tillfällen är det fördelaktigt att ha en enkel handberäkningsmetod som på ett lättfattligt sätt åskådliggör händelseförloppet och trots sin enkelhet ger tillförlitliga resultat.

I detta arbete har förenklade metoder för termisk sprickesterimering etablerats och utvärderats genom jämförelser med mer avancerade lösningsmetoder. När rörelserna under betongens hårdnande förhindras uppstår under expansionsfasen tryckspänningar vilka sedan övergår till dragspänningar när konstruktionen drar sig samman, se Figur 1. Under detta förlopp passerar en tidpunkt då konstruktionen är helt spänningsfri. Förenklade lösningsmetoder uttryckta i spänning, töjning eller temperatur har i detta arbete formuleras som en direkt beräkning från nollspänningstillståndet fram till dess maximal belastning uppstår i konstruktionen. Ett förhållande som beskriver belastningstillståndet eller sprickrisken har erhållits genom att relatera den maximala belastningen till en kritisk spänning, töjning eller temperatur. Om sprickrisken överskrider 1.0 skall sprickor teoretiskt sett uppstå i den studerade betongkonstruktionen. Arbetet har visat att det är möjligt att beakta betongens hårdnande med hjälp av koefficienter beroende av mognadstiden vid pålastning (nollspänningstillståndet). Med hjälp av dessa koefficienter är det möjligt att återberäkna resultaten från mer avancerade lösningsmetoder med stor noggrannhet vilket visar att de förenklade metoder för termisk sprickesterimering fungerar i praktiken.

Artikel E – Förenklad direkt metod för termisk sprickesterimering vid praktisk tillämpning

Detta arbete är en direkt fortsättning på resultaten presenterade i artikel D och syftar till att utifrån en töjningsbaserad metod formulera en förenklad direkt metod för sprickesterimering så att den kan användas vid praktisk tillämpning.

I det tidigare arbetet (artikel D) studerades hur de förenklade metoderna fungerade på ett enskilt betongelement utsatt för fullständigt tvång. I praktiken kommer dock den nygjutna betongen alltid att interagera med någonting som till exempel mark eller en anslutande konstruktionsdel. I den praktiskt tillämpbara metoden betraktas den nygjutna och den anslutande konstruktionen som ett system där enbart den differentiella elastiska deformationen mellan de båda delarna bidrar till spänningsutvecklingen. Utgående från temperaturförloppet, betongens vattenbindemedelstal och kännedom om aktuellt mothåll för dimensionerande punkt i konstruktionen kan en sprickriskbedömning sedan göras med god noggrannhet. Förutom att detta ger ett enkelt beräkningsverktyg tillgängligt för en stor användarkrets får man en metodik att på ett överskådligt sätt snabbt studera effekterna på sprickrisken av olika variationer i ingående parametrar.

Ytterligare information lämnas av

Mårten Larson, NCC AB, tel 040-31 72 38

Doktorsavhandlingen "*Thermal Crack Estimation in Early Age Concrete – Models and Methods for Practical Application*" kan beställas från avdelningen för konstruktionsteknik, LTU, tel 0920-49 13 63, fax 0920-49 19 13, e-post carina.hannu@ce.luth.se.