

CraX1 - Handboksmetoden

Ovanstående rubrik betecknar resultatet av SBUF-projekt nr 06087 med ursprungstiteln ”Handledning om gjutning av grova konstruktioner – begränsning av temperaturrelaterade sprickor”.

Sammanfattning

Aktuellt forskningsprojekt har pågått några år med stöd från SBUF och ett stort antal företag inom betongbranschen. Det som kännetecknar CraX1 - Handboksmetoden är att det utvecklats en metodik att bedöma temperatursprickrisker både för fallet utan åtgärder och för sprickbegränsande åtgärder i form av kylning av den unga betongen eller värmning av motgjutningen. Sprickrisken bedöms med hjälp av Excel-arket CraX1, som leder till att beräkningarna blir mycket tidseffektiva. Indata till beräkningarna är temperaturer från handboken, som utläses från diagram framtagna för ett stort antal fall vad gäller geometrier, omgivande miljöer och materialval samt för olika sprickbegränsande åtgärder.

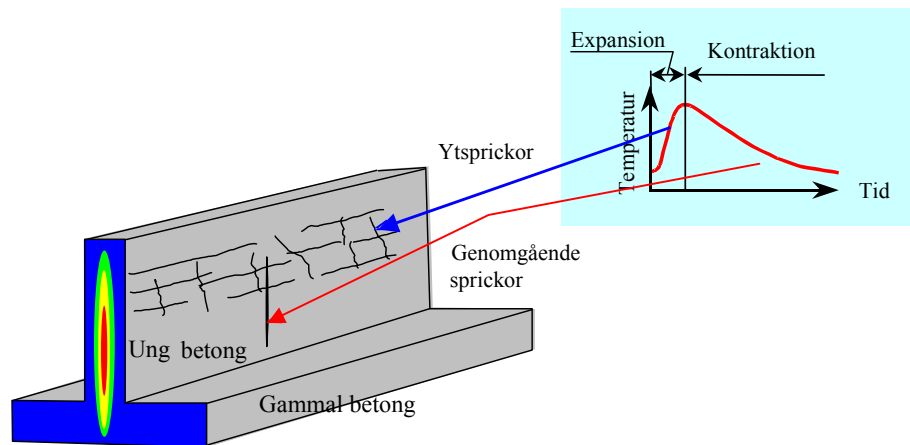
CraX1 - Handboksmetoden har under 2001 och 2002 distribuerats till ett begränsat antal tilltänkta användare i form av Förhandsversion respektive Remissutgåva inom projektets referensgrupp. Förbättringar och justeringar i metodiken har därför kunnat arbetas in successiv under projektets gång. Under 2003 har en uppdatering och anpassning till betongklassificeringen i SS-EN 206-1 och SS 137003 genomförts.

Bakgrund

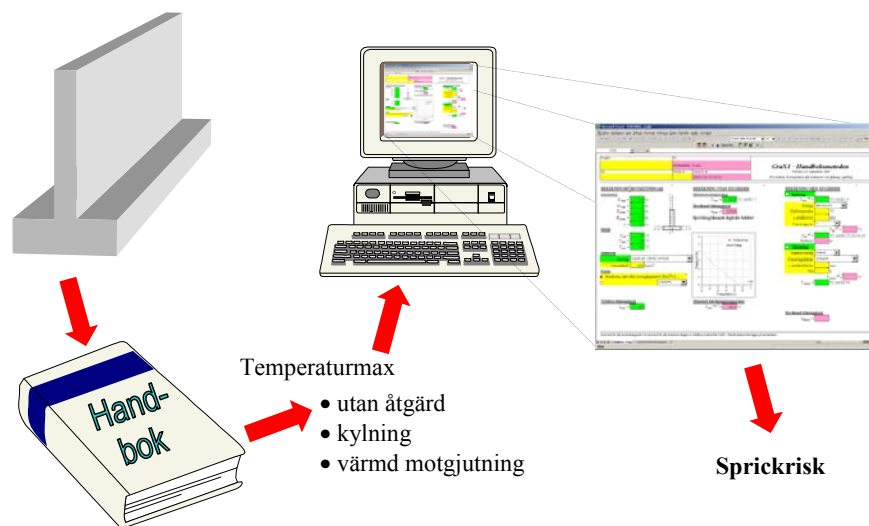
Projektet behandlar ”Sprickrisker för ung betong i anläggningskonstruktioner” och den i Sverige mest använda publikationen med specificerade krav inom detta område är Vägverkets tekniska beskrivning Bro 2002. I Bro 2002 anges tre metoder att genomföra sprickriskbedömningar enligt:

- Metod 1 innebär att de krav som finns angivna i Bro2002 ska vara uppfyllda
- Metod 2 avser tillämpning av genomförda typfallslösningar, vilket innebär att kraven enligt Teknisk Rapport LTU 1997:02, ”Temperatursprickor i betongkonstruktioner, Del A, B och C” tillämpas.
- Metod 3 innebär att beräkningar av belastningsnivåer utförs med kända datorprogram/beräkningsmetoder

Att uppfylla kraven på erforderliga spricksäkerheter för sk ytsprickor klaras av till stor del med hjälp av metod 1 och 2, medan genomgående sprickor med dessa metoder bara klarar situationer för ett klart begränsat antal av vanliga situationer inom anläggningsbyggandet. Det är här som CraX1 – Handboksmetoden kommer in som ett billigare, snabbare och användarvänligare alternativ till de traditionella datorprogram, som är vanliga metod 3 – verktyg idag. Begränsningen är att CraX1 – Handboksmetoden endast behandlar fallet vägg-på-platta samt att det gäller i väggen genomgående sprickor under kontraktionsfasen, se figur 1. Fallet vägg-på-platta kan dock appliceras på många gjutsituationer, till exempel plattrambroar, tunnlar, stödmurar och liknande konstruktioner. En översiktlig bedömning är att CraX1 – Handboksmetoden klarar att analysera ca tre fjärdedelar av fallen som behöver analyseras enligt metod 3 med avseende på risken för genomgående sprickor. Resterande fjärdedel av fallen måste analyseras med traditionella datorprogram avsedda för metod 3.



Figur 1. Spricktyper vid gjutning av vägg på tidigare gjuten platta



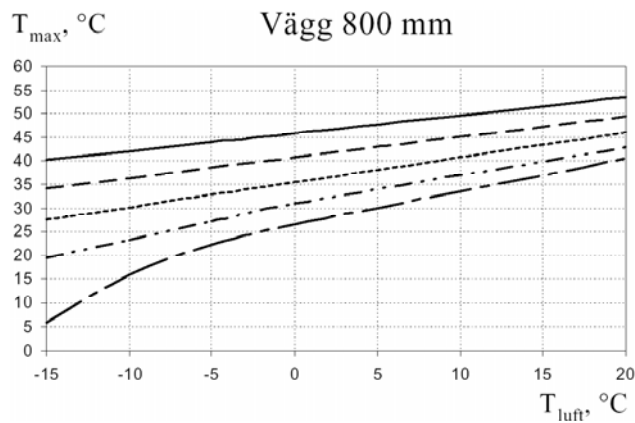
Figur 2. Illustration av CraX1 – Handboksmetoden för bedömning av sprickrisker

Använd beräkningsmetodik

Vald metodik att bestämma aktuell belastningsnivå bygger till sin form på den sk handberäkningsmetoden uttryckt i deformationer, och metoden har utvärderats mot beräkningar utförda med etablerade datorprogram. I handboksmetoden sker denna beräkning inte manuellt utan med hjälp av det framtagna Excel-arket CraX1, vilket gör beräkningarna mycket tidseffektiva. Erforderliga temperaturer hämtas från de diagram som presenteras i handboken, och detta arbetssätt illustreras i figur 2, där bildskärmen visar en del av Excel-arket CraX1.

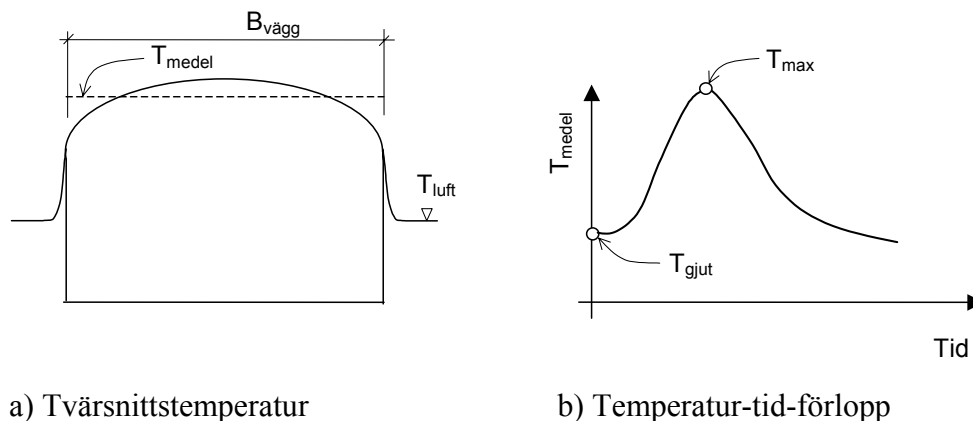
Temperaturer för fallet vägg på platta

I handboken presenteras temperaturer för väggar med tjocklekar mellan 0.3 m och 1.8 m. Ett exempel för en 0.8 m vägg visas i figur 3, där lufttemperaturen på vertikalaxeln avser dygnsmedeltemperaturen. Med kändedom om gjuttemperaturen, T_{gjut} , avläser man den maximala medeltemperaturen för väggen, T_{max} . Genom att sätta in detta värde i Excel-arket får man efter komplettering av uppgifter för geometri, miljö och materialval en beräknad sprickrisk för "tvärsnitt utan åtgärder".



Figur 3. Exempel på diagram med beräknade maximala medeltemperaturer för en 0.8 m vägg. De olika linjerna gäller för gjuttemperaturerna 10, 15, 20 och 25 °C. Cementhalt = 420 kg/m³ och övergångstal = 5 W/m²K (motsvarar 22 mm träform).

Begreppet T_{\max} redovisad i figur 3 avser väggens medeltemperatur, när den har sitt maximum i tid, se figur 4. Det är denna temperatur som genom uppföljning av verkliga gjutningar i ett stort antal fall visat sig vara relevant parameter som underlag för bedömning av genomgående sprickor.



a) Tvärsnittstemperatur

b) Temperatur-tid-förlopp

Figur 4. Definition av maximal temperatur, T_{\max} , som maximivärdet i tid av medeltemperaturen över väggens tjocklek ($B_{\text{vägg}}$).

Ett tilläggskrav är att man vill begränsa maximal härdningstemperatur, i *CraX1 – Handboksметoden* betecknad T_{\max}^{\max} , i en nygjuten betongkonstruktion för att minska risken för eventuella skador av produkter som bildas vid härdning under förhöjd temperatur. Vägverkets krav är för närvarande att:

T_{\max}^{\max} inte får överstiga 60 °C i någon punkt!

I Excel-arket CraX1 visas om detta villkor är uppfyllt eller inte genom att en beräkning av T_{\max}^{\max} sker utifrån regressions samband och resultatet redovisas på beräkningsbladet.

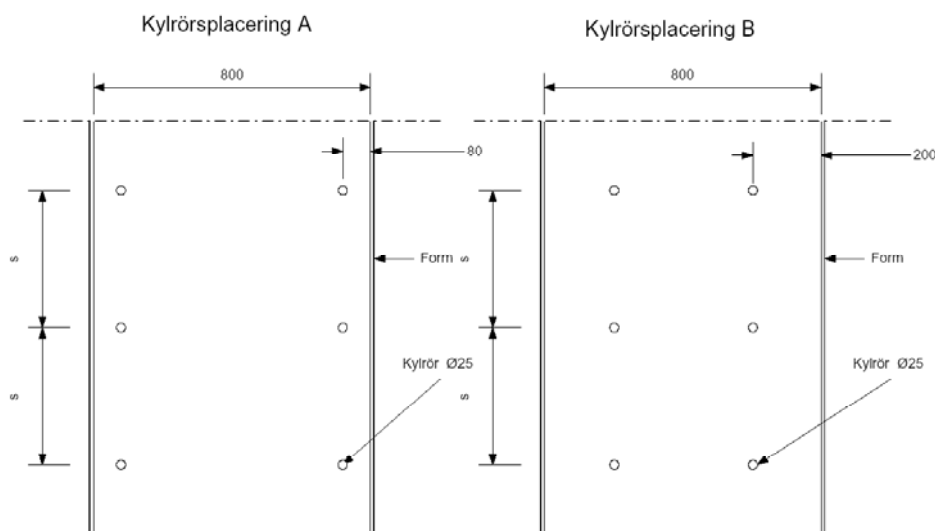
Valet av sprickbegränsande åtgärder

I flertalet fall är den beräknade sprickrisken för tvärsnitt utan åtgärder för höga, och det krävs någon form av sprickbegränsande åtgärd. Excel-arket CraX1 presenterar då storleken på erforderlig kylinsats respektive storleken på erforderlig värmningsinsats för att precis uppfylla det ställda kravet. Användaren gör därefter ett val: antingen som ren kylinsats, ren värmningsinsats eller en kombination av bägge.

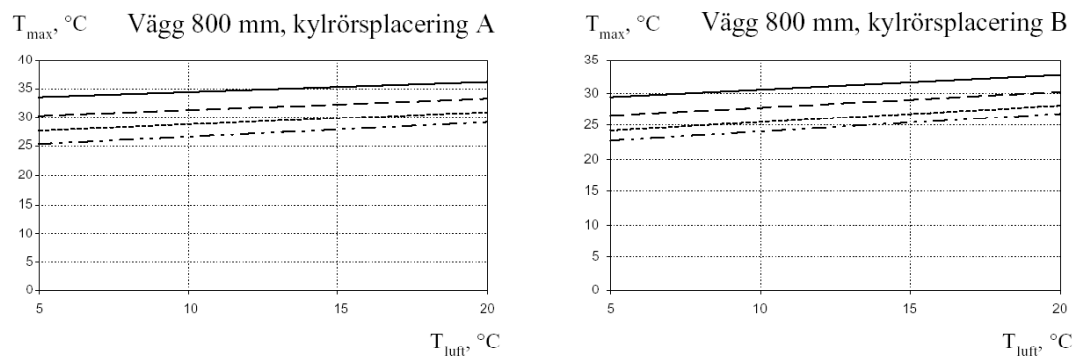
De sprickbegränsande åtgärderna måste väljas i enlighet med ett antal genomräknade fall i handboken med olika kylrörplaceringar och/eller olika värmekabelplaceringar. Dessa fall är valda med hänsyn till att de ska vara praktiskt utförbara på arbetsplatsen. De presenterade lösningarna ger tillfredställande resultat, om man följer de direktiv för utförandet som ges, till exempel hur länge man ska kyla eller värma eller hur man ska isolera och täcka olika delar av konstruktionen. Härigenom fungerar också framtaget material delvis som läromedel.

Kylning av nygjutna väggen

Ett exempel på två alternativa kylrörplaceringar (A med kylrör monterade på befintlig armering, och B med kylrör monterade i väggens 1/4-punkter) för 0.8 m väggen visas i figur 5. Motsvarande beräknade maximala medeltemperaturer i väggen med kylning visas i figur 6.



Figur 5
Alternativa kylrör-
placeringar för en
0.8 m vägg.



Figur 6. Exempel på diagram med beräknade maximala medeltemperaturer för en 0.8 m vägg med kylning. De olika linjerna gäller för gjuttemperaturerna 10, 15, 20 och 25 °C. Kyltemperatur 12 °C, s-avstånd 500 mm, stålrör.

Genom att sätta in avlästa temperaturer i Excel-arket CraX1 får man en beräknad sprickrisk för ”tvärsnitt med kylning”. De sidor i handboken som är aktuella för avläsning av erforderliga uppgifter för beräkningen står i klartext på Excel-arket. Detta är till hjälp både för den som genomför analysen och för den som eventuellt ska granska beräkningen.

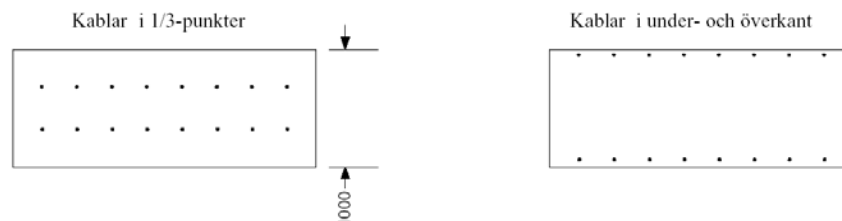
Som sista del i kylningsberäkningen presenterar CraX1 en kylhöjd, dvs man får veta hur stor del av väggen som måste kylas. I traditionella datorprogram måste man ta fram denna uppgift genom anpassningsberäkningar.

I handboken redovisas också hur man kan dimensionera en kylanläggning för ett öppet system vad gäller rörslingor, pumpval och flöden.

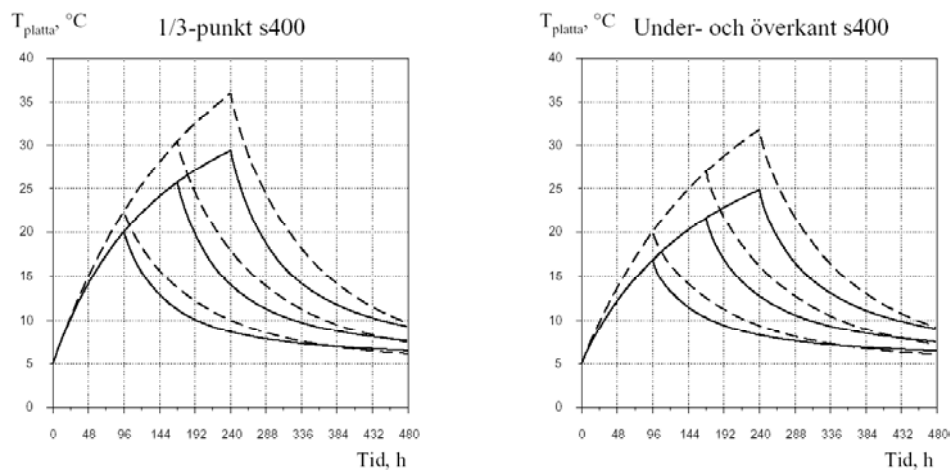
Förvärmning av plattan

Om man i stället väljer värmning av plattan som sprickbegränsande åtgärd, har man först att välja en värmekabelplacering, se figur 7, som gäller för plattjockleken 1 m. Motsvarande beräknade maximala medeltemperaturer i plattan vid värmning och efterföljande avsvalningsförlopp redovisas i figur 8. Temperaturberäkningar för värmekabelvärmning redovisas i handboken för plattjocklekar mellan 0.4 m och 1.4 m.

1000mm:



Figur 7. Alternativa värme-kabelplaceringar i en 1.0 m platta.



Figur 8. Exempel på diagram med beräknade temperatur-förlopp vid värmning respektive avsvalning av en 1.0 m platta. Lufttemperatur 5 °C och s 400 mm.

Heldragen linje i figur 8 gäller utan markisolering och streckad linje när isolering är placerad mellan platta och mark. I samtliga värmningsfall förutsätts att plattans ovansida täcks med högvärdig isolering under hela värmningsfasen, och att isoleringen tas bort när värmekablarna stängs av 24 h efter gjutningen. Utifrån temperaturförlopp motsvarande de i figur 8 får man fram hur lång tid före gjutstart man måste starta förvärmningen samt vilken medeltemperatur som plattan har uppnått vid tidpunkt för gjutning.

Materialval i CraX1 – Handboksmetoden

Ursprungligen har bakomliggande beräkningar genomförts för tillämpning av betonger K40 – K45 med vattencementtal (vct) 0.40 – 0.50. Under 2003 har de nya normerna SS-EN 206-1 och SS 137003 kommit, varför de nya klassificeringarna av betonger arbetats in i *CraX1 - Handboksmetoden*. Följande tre grupper av betonger tillverkade med anläggningscement kan väljas:

- Betong C25/30, C28/35 alt. C30/37, vct = 0.50 – 0.55
- Betong C30/37 alt. C32/40, vct = 0.45
- Betong C32/40 alt. C35/45, vct = 0.40

Vilka använder CraX1 – Handboksmetoden och till vilket syfte

Den beskrivna sekvensen enligt *CraX1 - Handboksmetoden* att läsa av temperaturer och skriva in dessa i Excel-arket och genomföra en sprickriskberäkning (inklusive lämpliga åtgärder) kan betraktas ta en typisk tidsperiod av ca 1 – 3 min, vilket är att jämföra med en beräkning med specialskrivna programsystem, där en typisk tidsperiod för en liknande sprickriskberäkning kan vara i storleksordningen 1 – 2 h. Andra mer generella programsystem kan ta ännu längre tid. En kommentar är att *CraX1 – Handboksmetoden* genom sin låga tröskel för inläring och brukande lämpar sig för att på kort tid göra många beräkningar med möjlighet till variationer av ingående parametrar. Detta kan vara speciellt viktigt för entreprenören till exempel i ett projekteringsskede, när man snabbt, enkelt och till låg kostnad behöver undersöka olika alternativ för att bedöma praktiska och ekonomiska konsekvenser för olika lösningar.

När sedan handlingarna ska lämnas in för granskning och godkännande är det vanligen konstruktören i samråd med entreprenören som upprättar arbetsbeskrivningar och utför sprickriskanalyser. I detta skede kan man då enkelt göra känslighets- och giltighetsanalyser för den valda lösningen.

När man närmar sig själva gjutningen kan det ibland inträffa att det sker förändringar i förutsättningarna. Man kan till exempel tänka sig att det sker en förskjutning av tidsplanen så att temperaturintervallen i arbetsbeskrivningen inte är relevanta eller att betongreceptet ändras. I ett sådant läge kan det vara av stort värde för entreprenören att på mycket kort varsel själv genomföra eller få snabb hjälp med en ”sista-minuten-analys”. Detta läge kan också tänkas inträffa om man av någon anledning tvingas byta åtgärdsmetod.

Projektet har resulterat i följande operativa verktyg

Det rubricerade projektet har resulterat i två rapporter och två Excel-ark. Tillsammans utgör de erforderliga operativa verktyg för att tillämpa metodiken i *CraX1 – Handboksmetoden* enligt följande lista:

1. Teknisk Rapport LTU 2001:14 del D: *Bakgrund och beskrivning av fallet vägg på platta.*
2. Teknisk Rapport LTU 2001:14 del E: *Temperaturdiagram för fallet vägg på platta.*
3. Excel-arket CraX1 (Crack Analyses, EXcel Spreadsheet, version 1): *Beräkningsverktyg för sprickriskanalys enligt deformationsmetoden.*
4. Excel-arket Tryckfall_kylsystem: *Beräkningsverktyg för analys av tryckförluster i strömmande rör enligt Mannings formel.*