



Oskar Esping & Ingemar Löfgren  
Industri doktorander  
Chalmers / Färdig Betong

## Plastiska krympsprickor - materialsammansättning och arbetsplatsåtgärder

Plastisk krympning antas ofta enbart bero på avdunstningen och dess hastighet och de normala åtgärderna är tidig vattenbegjutning, täckning eller membranhärdning. Men för högpresterande betong är tidigt skydd mot avdunstning många gånger inte tillräckligt då det ofta är den autogena (förseglade) krympningen som då orsakar den plastiska sprickbildningen. I dessa fall måste åtgärder även inriktas på materialsammansättningen. Oscar Esping och Ingemar Löfgren presenterar i denna artikel resultatet från ett SBUF-projekt där effekten av tidig autogen och plastisk krympning hos självkompakterande betong har studerats och kvantifierats.

Att tidig uttorkning, då betongens mekaniska egenskaper fortfarande är relativt lite utvecklade, kan orsaka omfattande sprickbildning är väl känt. Många upplever krympning och sprickbildning som ett allt större problem. Minskad stenandel, ökad andel finmaterial, tillsatsmedel med retarderande effekt, ökad andel bindemedel samt brisfällig täckning och härdning är alla orsaker som bidrar till problematiken med tidig krympning och sprickbildning. Den plastiska krympningen antas oftast enbart bero på avdunstningen och dess hastighet.

De åtgärderna som normalt rekommenderas är tidig vattenbegjutning, täckning eller membranhärdning. Ett praktiskt problem är att det kan vara svårt att tillräckligt tidigt utföra arbetsplatsåtgärder för att förhindra avdunstningen, eftersom dessa helst skall utföras inom en timme efter gjutning. För högpresterande betonger, som exempelvis snabbtorkande, höghållfast, självkompakterande och smalslagsbetong, är tidigt skydd mot avdunstning många gånger inte tillräckligt för att förhindra uppkomsten av plastiska sprickor. I dessa fall är det ofta den s.k. auto-

gena (förseglade) krympningen som främst orsakar den plastiska sprickbildningen, varför åtgärder även måste inriktas på materialsammansättningen.

### Mekanismer för plastisk krympning

När avdunstningen sker och betongytan torkar ut bildas menisker (krökta vattenytor) mellan partiklarna vid ytan. Vattenmeniskerna skapar ett sammandragande undertryck i kapillärerna som gör att avståndet mellan partiklarna närmast ytan minskar och betongen krymper. Om denna sammandragning förhindras, exempelvis av ett yttre mothåll av armering eller gjutform, kan sprickor uppstå.

Men även i de fall där avdunstningen är förhindrad kommer dessa sammandragande krafter att utvecklas på till följd av cementets kemiska reaktion med vattnet (hydratation), fast då uniformt genom hela tvärsnittet. Fram till betongens tillstyvnad kan antas att den kemiska krympningen är identisk med den yttre observerade

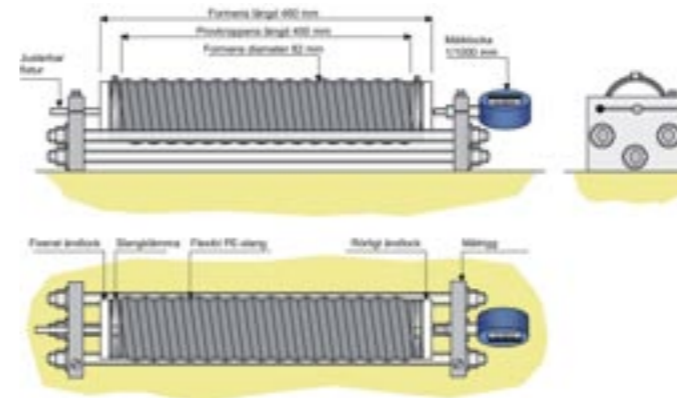
deformationen (se figur). Metoden bygger på att betong, som gjuts mellan två koncentriska

börjar bilda ett fast skelett kan inte den kemiska krympningen direkt omsättas till en extern volymminskning (se figur). Om tillgången på vatten är begränsad så kommer tomma porer med vattenmenisker och ett kapillärt sammandragande undertryck att bildas. Över 10 meter vattenpelare i undertryck har uppmätts. I det fall då inget fuktbyte sker till omgivningen (förseglat), och om temperaturen är konstant, definieras den yttre observerade krympningen som en autogen krympning.

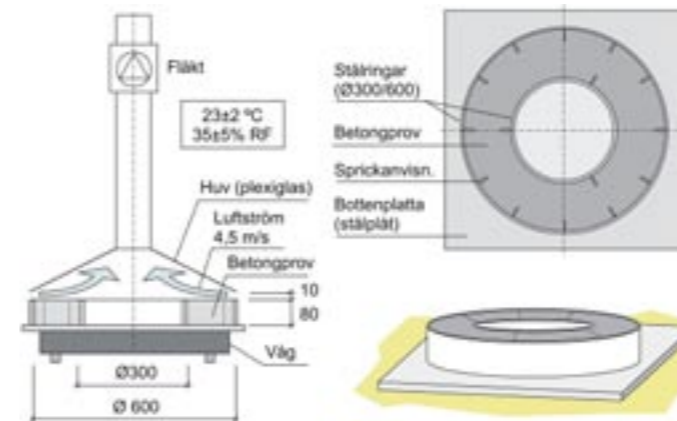
### Mätmetoder

En speciellt utvecklad mätmetod, en betongdilatometer, har använts för mätning av den autogena deformationen (se figur). Med betongdilatometer kunde längdförändringen, hos de täta flexibla provkropparna med betong, mätas med stor noggrannhet redan från 30 minuter efter blandning.

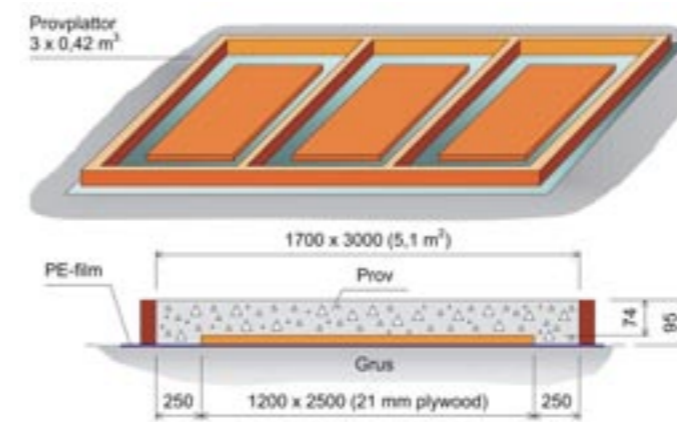
För att utvärdera den plastiska spricktendensen användes en modifierad Nordtest ringtest-metod (se figur). Metoden bygger på att betong, som gjuts mellan två koncentriska



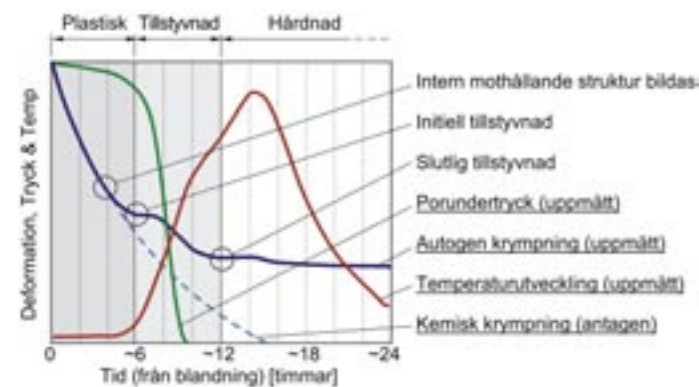
Skiss över betongdilatometer för mätning av autogen deformation hos betong.



Skiss på ringtest metoden för att utvärdera sprickbenägenheten hos betong.



Skiss över provuppställningen (plattor) för fältförsök.



Exempel illustrerande den observerade autogena (förseglade) deformation, temperatur och porundertryck, kopplat till betongens strukturutveckling. Fram till dess att betongens tillstyvnad inte genererat en internt mothållande struktur antas den kemiska krympningen vara identisk med den autogena. Mätningarna är utförda på en SKB med vct 0,45.

krympreducerare, luftporbildare, flytmedelsdos och fibrer. Ringförsöken utfördes även med olika membranhärdare, och som jämförelse testades även standardbetong. Försöken kompletterades med fältförsök på ett representativt urval av betonger för att verifiera utrustning och mätresultat. Provpaltor (se figur) med parallella ringförsök utfördes vid tre gjuttillfällen utomhus under maj månad 2005.

### Resultat

Resultaten visar tydligt på vikten av att skydda betongen från avdunstning men även på hur stor inverkan betongsammansättning har på sprickbenägenheten. De olika undersökta delmaterialen och sammansättningarna hade en tydlig påverkan på den autogena deformation och plastiska sprickbildningen. Resultaten från studien indikerar att:

- En hög spricktendens genererades när betongen hade:
  - stor autogen krympning (silika tillsats, lågt vct, hög andel finmaterial, låg stenhalt)
  - hög avdunstning av vatten (høgt vct, extra vatten, låg andel finmaterial)
  - Både den autogena krympningen och avdunstningen ökade vid retardation (t ex genom retarder, långsamt härdnande cement, hög flytmedelsdos, eller efterdosering av flytmedel), varför spricktendensen också blev hög.
  - Vid vct 0,55 var sprickbildningen som minst.
  - Sprickbildning startade i samband med betongens initiala tillstyvnande (vid ungefär 4-6 timmar från blandning)
  - Spricktendens kunde effektivt minskas med:
    - krympreducerare (positiv effekt på både autogena krympningen och avdunstningen, utan att påverka tidpunkten för betongens tillstyvnande)
    - accelerator
    - luftporbildare
    - fibertillsats

- membran, främst vaxbaserat (effektiv hos betong med stor avdunstning)

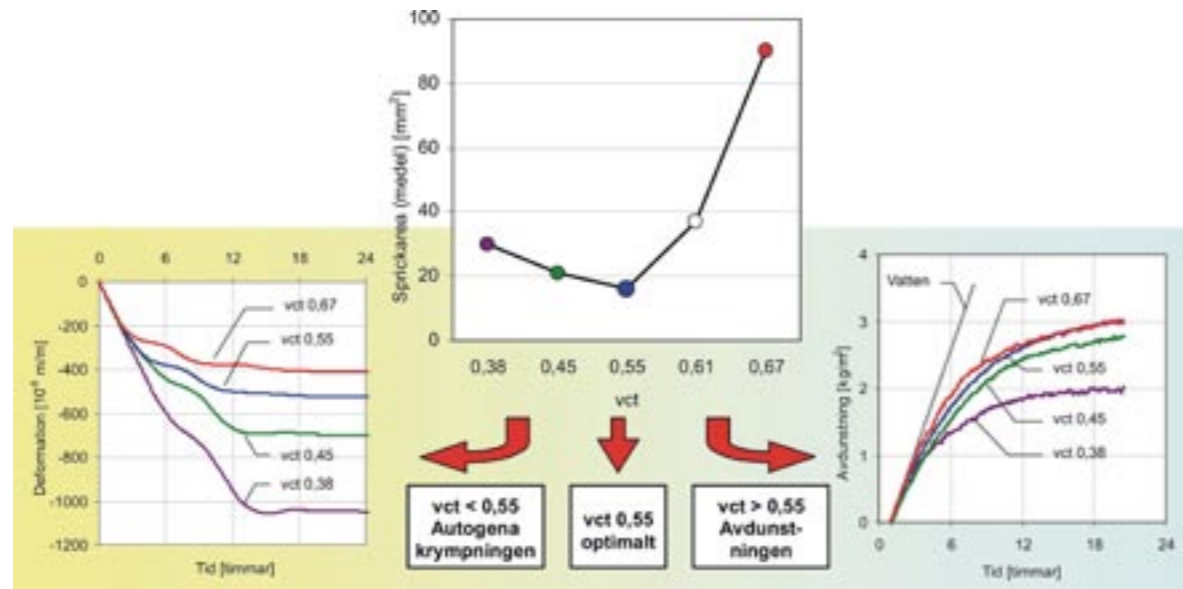
• Standardbetongen var mer sprickbenägen än den självkompakterande (SKB) då dess avdunstning var större (framförlallt vid höga vct).

Resultaten pekar på att det är två olika mekanismer som främst avgör den plastiska sprickbildningen. För betong med höga vct (vct >0,55) visade sig betongens avdunstning vara avgörande mekanism, medan för låga vct (vct <0,55) var det autogena deformationen (se figur).

Genom fältförsök kunde ringtest-metoden och de experimentella resultaten tydligt verifieras (se figur). Dessutom bekräftade försöken att omgivande väderförhållanden, såsom vindhastighet, temperatur och RF, har en stor inverkan på avdunstningen och därigenom sprickbildningen.

### Slutsatser och rekommendationer

Sprickrisken kan som regel minskas genom att tidigt förhindra avdunstningen, men med fördel även genom att optimera betongsammansättningen. Ett optimerat recept vad gäller bland annat bra packning och låg cementmängd, tillsammans med en hög stenandel, ger förutsättningar för att minska den autogena krympningen och därigenom den plastiska sprickbildningen. Mängden flytmedel och retarder bör i största mån hållas nere och ej efterdoseras. Anläggningscement, flygaska och silika bör användas med försiktighet. Grusfukten och mängden tillsatt vatten bör vara väl kontrollerade. Finmaterialets inverkan är både positiv och negativ, eftersom den minskar avdunstningen men även ökar den autogena krympningen. I de fall då avdunstningen kan förhindras bör därför mängden finmaterial hållas låg. Vid



Mätresultaten av sprickbenägenheten (sprickarea) från ringtest försök med olika vct, och kopplingen till avdunstningen respektive den autogena (förseglade) krympningen mätt med betongdilatometern.

klimat och betongsammansättningar där avdunstningen bedöms vara stor är det viktigt att betongen tidigt täcks eller att effektiv membranhärdning (om möjligt vax) appliceras, gärna direkt efter utläggning. Eventuell retardation bör i möjligaste mån undvikas. Det bör dessutom påpekas att varmt klimat nödvändigtvis inte är mer kritiskt, då hög temperatur har en accelererande effekt på betongen. Kallt och torrt klimat kan vara nog så illa eftersom betongen retarderas och avdunstningen kan vara relativt stor. För att minska de plastiska krympsprickorna, vid tillfällen där den autogena krympningen och/eller avdunstningen är stor, kan krympreducerare och fibrer med fördel används. Även luftporbildare

och accelerator kan ha en positiv effekt.

Det bör påpekas att försöken utfördes med SKB. Men med stor sannolikhet är tendenserna likvärdiga med vad som kan förväntas för de flesta betongsammansättningar.

Som sammanfattning och med utgångspunkt från resultaten i projektet kan följande övergripande rekommendationer, och "tummregel", ges för att minska risken för plastiska krympsprickor:

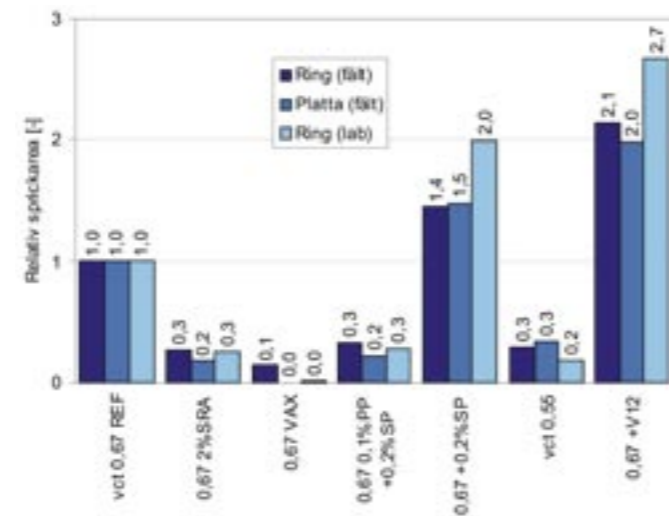
1. Välj en betong med vct nära 0,55.
2. Vidtag mycket tidiga åtgärder för att undvika avdunstningen och/eller avdunstningen, framför allt vid höga vct (> 0,55).
3. Proportionera väl med avseende på den autogena krymp-

ningen, framför allt vid låga vct (< 0,55).

4. Proportionera för minsta möjliga retardation.
5. Välj hög stenhalt.

6. Håll grusfukt och vattentillsats under kontroll.

7. Efterdosera inte flytmedel.
8. Vid behov använd fibrer och/eller krympreducerare. ■



Jämförelse av den relativa sprickarean för fältförsöken (ring och platta) samt för ringförsöken genomförda i laboratoriemiljö. Alla sprickareor har normerats mot en referensbetong med vct 0,67 ("vct 0,67 REF").



Exempel på plastisk krympspricka. Fotografi från fältförsök med betong som efterdoserades med 0,2% flytmedel.

### Information

För ytterligare information, se rapporten "Sprickbildning orsakad av plastisk krympning hos självkompakterande betong" FoU-Väst RAPPORT 0506 (kan beställas hos Sveriges Byggindustrier, [www.bygg.org](http://www.bygg.org)). Kompletterande labbrapport finns att ladda hem i fulltext (engelska) hos institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola, [www.bm.chalmers.se/research/Adobe/p0511.pdf](http://www.bm.chalmers.se/research/Adobe/p0511.pdf) (+bilagor ../p0511-appA.pdf och ../p0511-appB.pdf).

För frågor eller synpunkter, kontakta Oskar Esping på [oskar.esping@bt.chalmers.se](mailto:oskar.esping@bt.chalmers.se)