

## CRC JointCast

CRC JointCast er en stålfiberarmeret højstyrkebeton, der anvendes til in-situ støbte samlinger mellem elementer i almindelig beton eller CRC. CRC JointCast indeholder altid 6 vol.% stålfibre svarende til ca. 460 kg stålfibre pr. m<sup>3</sup> JointCast, og den leveres som en tørmørtel, hvor kun vand skal tilsættes på stedet.

CRC har en meget høj trykstyrke (typisk 140 MPa), og dette kombineret med et højt indhold af mikrosilica og stålfibre betyder, at der kan opnås meget gode forankringsegenskaber med CRC. Typiske stødlængder af armeringsjern i en samling er på 6-10 gange armeringens diameter.

CRC JointCast er en speciel version af CRC beton. CRC er betegnelsen for Compact Reinforced Composite, en type beton der blev udviklet af Aalborg Portland i 1986. I årene siden har CRC været genstand for en lang række udviklingsprojekter og CRC anvendes nu til elementer såsom trapper, altaner, søjler og dæksler. I flere af udviklingsprojekterne indgik forsøg med udtræk af armeringsjern eller belastning af samlinger, og resultaterne fra disse forsøg førte til udviklingen af CRC JointCast. CRC JointCast blev først anvendt kommercielt i 1995 til udvidelsen af Aalborg Universitet, hvor et søjle/plade system blev benyttet. Her blev samlinger mellem pladerne udstøbt med CRC JointCast. Ved en senere etape på universitetet blev konceptet udvidet, således at CRC JointCast også blev anvendt til indspænding af søjler i den overliggende plade /1/.

### Design

Samlinger med CRC JointCast udføres typisk med lige armeringsjern der stødes, samt med anvendelse af tværarmering. Til et estimat på stødlængder anvendes en formel, der er fastlagt af Carl Bro as ud fra resultater, der blev opnået i Brite/EuRam projektet MINISTRUCT.

$$\frac{\tau_u}{\sqrt{f_c}} = 0.5 + 17\phi_t + 0.7 \frac{c}{d} \sqrt{\frac{d}{L}}$$

hvor  $\tau_u$  = maksimal forskydningsspænding (MPa)  
 $f_c$  = trykstyrken af CRC (MPa)  
 $c$  = dæklag til armering (mm)  
 $d$  = armeringsdiameter (mm)  
 $L$  = indstøbningslængde af armeringsjern (mm)

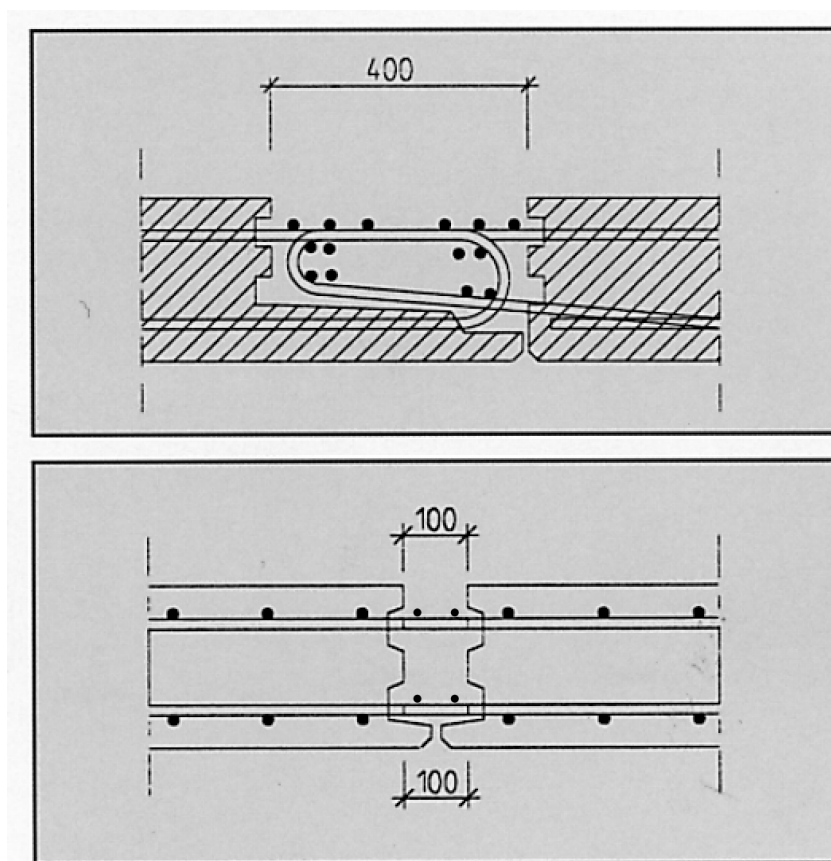
$$\phi_t = \frac{nA_{st}}{dL}, < 0.1$$

$A_{st}$  = tværsnitsareal af tværarmeringsjern (mm<sup>2</sup>)  
 $n$  = antal tværarmeringsjern

En nærmere beskrivelse af baggrunden for formlen, der er fastlagt som et kurvefit, foreligger i /2/ og /3/, men det kan kort nævnes, at fittet er baseret på en række forsøg med kamstål (ø8, ø12 og ø16) hvor indstøbningslængden i forhold til armeringens diameter varierede mellem 1,25 og 5,7, dæklaget varierede mellem 10 mm og 70 mm og tværarmeringsgraden  $\phi_t$  varierede fra 0 til 0,17. Et eksempel på anvendelse af forankringsformlen er præsenteret i /4/.

Formlen må forventes at give de mest præcise resultater ved anvendelse indenfor et interval svarende til det, der er benyttet ved fastlæggelsen af kurvefittet. Er der tale om samlinger, der adskiller sig væsentligt fra dette – eksempelvis armeringsjern med en diameter på over 30 mm, dæklag under 10 mm eller ekstremt korte indstøbningslængder – kan det være nødvendigt at foretage supplerende forsøg. Der er imidlertid foretaget så mange undersøgelser med CRC JointCast, at det ofte vil være muligt at finde forsøgsresultater, der har relevans for en specifik samlingsdetalje. Eksempelvis har Shimizu i Japan foretaget udtræksforsøg med armeringsjern med en diameter på 51 mm. De bedst dokumenterede armeringsdimensioner er ø8, ø12, ø16 og ø25.

Et eksempel på en CRC JointCast samling i forhold til en traditionel samling er vist i fig. 1.



**Figur 1** Samling i brobaneplade. Øverst traditionel samling, nederst CRC JointCast samling. Samlingen er udviklet i samarbejde med Strängbetong og afprøvet på Chalmers Universitet, Sverige. Der er anvendt ø16 armeringsjern.

Øverst på figuren er vist en traditionel samling, der er anvendt til sammenstøbning af broplader på svenske broer. Denne type samling har nogle ulemper, bl.a. at der skal anvendes bøjler og temmelig meget tværarmring. Desuden kræver samlingen udstøbning af temmelig meget beton på stedet, og alligevel vil styrken af samlingen ikke svare til hvad der kunne opnås med en monolitisk konstruktion. CRC JointCast samlingen er væsentligt mindre, der anvendes kun lige jern samt en begrænset mængde tværarmring og styrken af samlingen er større end styrken af det tilstødende element, således at et evt. brud fastlægges af elementets styrke – ikke af samlingens styrke. En nærmere beskrivelse af design og afprøvning findes i /5/.

En anden typisk samling er vist på fig. 2. Der er her tale om en samling mellem bjælke dele med udragende  $\varnothing 12$  armeringsjern. Samlingen har en bredde på 100 mm, og der er 80 mm overlap på armeringsjernene. Som det kan ses på billedet er overfladen på bjælkeenderne rugjort – i dette tilfælde med anvendelse af en retarder.



**Figur 2** Bjælke dele med udragende  $\varnothing 12$  armeringsjern før sammenstøbning med CRC JointCast.

På fig. 3 er vist en afprøvning af den sammenstøbte bjælke, og som det fremgår sker bruddet ikke i samlingen, men som bøjningsbrud i den almindelige beton. Prøvningen foregik ca. 7 døgn efter udstøbning af samlingen, og som sammenligning kan nævnes, at ved udtræksforsøg med  $\varnothing 12$  armeringen, blev armeringsjernene trukket ud ved en spænding på 715 MPa – altså efter at jernene var begyndt at flyde, men før de brød.



**Figur 3** Sammenstøbt bjælke under afprøvning.

Typisk designes en samling med CRC JointCast således, at armeringen kan belastes til brud før samlingen vil svigte. Det betyder, at bæreevnen af samlingen ikke vil være bestemmende for bæreevnen af den samlede konstruktion, og der skal derfor blot foretages dimensionering af de elementer, der skal samles.

### **Holdbarhed**

Den meget tætte beton der opnås med CRC JointCast sikrer en holdbarhed, der er væsentligt bedre end for mere traditionelle betoner. Indtrængen af klorider – med risiko for armeringskorrosion – foregår meget langsommere end i almindelig beton, og selv i tilfælde hvor der er klorider ved armeringen – fx i forsøg hvor der er anvendt saltvand som blandevand – foregår der ikke korrosion /6/. Der er således anvendt CRC-elementer med et dæklag på 10 mm i jernbanetunnelen under Storebælt, hvor der er krav om 100 års levetid. Der er heller ikke frostproblemer med CRC JointCast.

Det store indhold af stålfibre betyder, at der er en risiko for korrosion af fibre. Det er imidlertid kun et overfladefænomen, idet fibrene korroderer svarende til karbonatiseringsdybden, der selv efter flere år kun vil være nogle få tiendedele millimeter i CRC.

I grænsen mellem CRC JointCast samlingen og den almindelige beton kan der – i de tilfælde hvor der støbes mod glatte elementsider – forekomme et svagt punkt, hvor vand og klorider har lettere adgang til armeringsjern. Dette skyldes svindet i CRC samlingen og den reducerede vedhæftning til den glatte elementside. I en række tilfælde – for konstruktioner i passivt miljø – har dette ingen betydning, men for samlinger i aggressivt miljø bør elementsider rugøres, eksempelvis ved behandling med retarder og efterfølgende spuling, hvorved der kan sikres fuld vedhæftning.

## Brand

CRC-emner der har fået en vis udtørring – enten gennem varmpåvirkning eller pga. selvdutørring efter nogle måneders forløb – har en bedre opførsel i brand og en bedre reststyrke end almindelig beton /7/. De tilfælde med meget kraftig afskalning af højstyrkebeton der er observeret i flere tilfælde, bl.a. ved brandene i Storebæltstunnelen og i Kanaltunnelen vil således ikke være et problem for en velhærdet CRC-beton, bl.a. som følge af den kraftige armering med stålfibre.

I forbindelse med anvendelse af CRC JointCast til pladesamlinger på Aalborg Universitet er der udført brandforsøg, der viste at elementet – og samlingen – opfyldte kravet om BS60. Ved et længerevarende forsøg – i dette tilfælde 97 minutter – var det elementet og ikke samlingen der brød under brugslast. Derimod kan der optræde forankringsbrud, hvis en samling, der har været udsat for en standardbrand i 60 minutter, derefter belastes til brud i bøjning /1/. Derfor bør CRC JointCast samlinger – som det også er tilfældet med traditionelle betonkonstruktioner - vurderes nøje, inden en konstruktion tages i brug igen efter en brand.

## Referencer

1. **Jensen, B.C. & Aarup, B. & Hansen, L.P.**, "Et søjle-plade betonelements-system med Compresit samlinger". Bygningsstatiske Meddelelser årgang LXXI nr. 1-3 Marts-Juni-September 2000, Dansk Selskab for Bygningsstatik, København.
2. **Nielsen, C.V. & Olesen, J.F. & Aarup, B.**, "Effect of fibres on the bond strength of high strength concrete". BHP96 Fourth International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31 May, 1996, Paris, France.
3. **Aarup, Bendt & Jensen, Bjarne Chr.**, "Bond Properties of High Strength Fiber Reinforced Concrete". Bond and Development of Reinforcement, ACI Publication SP-180, 1998, pp. 459-472.
4. **Aarup, Bendt**, "Anvendelse af forankringsformel", notat fra CRC Technology, januar 2002.
5. **Aarup, Bendt & Lindström, Gösta**, "High strength joints for precast bridge slabs", notat fra CRC Technology, juni 2001.
6. **Andrade, C. & Frias, M. & Aarup, B.**, "Durability of Ultra High Strength Concrete: Compact Reinforced Composite (CRC)". BHP96 4<sup>th</sup> International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31 May, 1996, Paris, France.
7. **Jensen, B.C. & Aarup, B.**, "Fire Resistance of Fibre Reinforced Silica Fume Based Concrete". BHP96 4<sup>th</sup> International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31 May, 1996, Paris, France.