

## **Dansk Betondag 2004**

Hotel Svendborg, Fyn

23. september 2004

### **Alternativer til sort stål - nye armeringsformer**

Civ.ing. lic.techn.

Steen Rostam

# **COWI**

**COWI A/S**

**Parallevej 2**

**2800 Kgs. Lyngby**

**Tlf.: 45 97 27 82**

**Tlf.: 20 30 77 82 (mobil)**

**sro@cowi.dk**

**www.cowi.dk**

## Armeret beton - baggrund

Ved et lykketraf for ca. 140 år siden valgte gartneren Monier at forstærke sine blomsterkasser i kalkmørtel med ståltråd. Uden at vide det skabte han dermed et ideelt kompositmateriale fordi:

1. De to materialer supplerer hinanden optimalt mht. styrke og deformationsegenskaber, og sammen kan de føre til duktile konstruktionselementer
2. De to materialer har tilnærmelsesvis samme temperaturudvidelsesegenskaber
3. Den basiske beton sikrer en aktiv rustbeskyttelse af det ellers korrosionsfølsomme stål.

*Dermed opstod vore dages vigtigste byggemateriale, armeret beton - eller jernbeton.*

## Armeringskorrosion som sværvægter i dagens holdbarhedsproblem

Armeringskorrosion udgør en helt dominerende del af det holdbarhedsproblem for betonkonstruktioner, som truer med at undergrave den armerede betons dominans som vort vigtigste byggemateriale til større konstruktioner og ødelægger konkurrenceforholdet over for konstruktionsstål. *I de tidligere 15 EU-lande udgjorde reparation og vedligehold af betonkonstruktioner en samlet årlig udgift på 5 milliarder EURO, og den dominerende skadesårsag er netop armeringskorrosion.*



## Løsning af korrosionsproblemet

De sidste mange års forskning og praktisk udvikling inden for branchen til imødegåelse af korrosionsproblemerne har koncentreret sig om følgende seks hovedområder:

1. Udvikling af særligt tætte og stærke betontyper, højkvalitets-betoner.
2. Indføring af en overfladebehandling af betonen.
3. Indføring af en overfladebehandling af armeringen i form af epoxy eller zink coating (galvanisering)
4. Indføring af en aktiv elektrokemisk korrosionsbeskyttelse i form af katodisk beskyttelse eller en passiv beskyttelse i form af tilsætning af korrosionsinhibitorer til betonen.
5. Udvikling af ikke-metalliske armeringsformer som polypropylen fibre, glasfibre, aramid fibre eller kulfibre.
6. Indføring af korrosionsresistent stålarmering.



Betydningen i praksis af ovennævnte løsningsmuligheder vurderes kort i det efterfølgende.

## Højkvalitets-betoner

De seneste 20-30 år har holdbarhedsforskningen primært fokuseret på at udvikle højkvalitets-betoner. Kernen i udviklingen har været at sikre en meget tæt partikelpakning, hvor tilsætning af puzzolaner i form af slagge, flyveaske eller mikrosilika udgør væsentlige elementer.

Meget tætte og stærke betoner kan produceres med meget stor



Photo: Thaulow

styrke og holdbarhed, hvis man ved hvordan og kan håndtere denne viden på pladsen. Det sidste har vist sig vanskeligt i praksis.

I korthed har disse betoner følgende væsentlige afvigende egenskaber i forhold til klassiske Portland cement baserede betoner:

1. Er vanskelige at udstøbe og komprimere på grund af deres tixotropiske egenskaber.
2. Kræver meget lavt v/c-forhold for at sikre tætheden, hvorved risikoen for plastisk svind og autogent svind øges, og betonen bliver sprød.
3. Den klassiske robusthed er forsvundet, og et meget følsomt materiale er opnået.



I korthed er der opnået mulighed for at producere meget holdbare betoner, men man har åbenbart overset, at det ikke er interessant for andre end forskere, materialeproducenter og leverandører af tilsætningsstoffer. Der er behov for meget holdbare betonkonstruktioner - og det er en helt anden historie. Det stiller helt andre og multidisciplinære krav til skabelsen af holdbare og pålidelige betonkonstruktioner, hvilket netop er forudsætningen for bæredygtige konstruktioner.

*Kun synd, at de sidste 30 års monopolisering af holdbarhedsforskningen har fokuseret på armeringens omgivelser (miljø og beton) og ikke på korrosionsproblemetets kerne, nemlig armeringen og dens samspil med omgivelserne og den konstruktive udformning. Her må de monodisciplinære forskere og undervisere - og dermed ingeniøruddannelserne - påtage sig et væsentligt ansvar.*

## Overfladebehandling af beton

Som beskyttelse af armeringen mod korrosion skal overfladebehandling i det væsentligste ses som en kompensation for et forventet for lille og for porøst dæklag.

En særlig overfladebehandling er silan imprægneringen. Dette emne kan virkelig splitte vandene. Flere landes vejdirektorater kræver systematisk imprægnering af deres betonbroer. Dette gælder bl.a. England, Holland og Stockholms Gatukontor. Ved mange lejligheder har vi i COWI anvendt imprægnering, og derefter søgt den vandafvisende evne dokumenteret. Det er ikke lykkedes.

*Én ting kan man i hvert fald slå fast ved satsning på overfladebehandling: Man har påtvunget bygherren en løbende vedligeholdelsesopgave for at bevare virkning og udseende af konstruktionen.*

## Epoxy og zink coating

Epoxy coating giver en inaktiv fysisk barriere mellem betonen og de indtrængende korrosive stoffer. Desværre er sådanne tynde belægninger meget stærkt udsatte for skader under forarbejdning og placering af armeringen i formen. Desuden medfører denne løsning, at man for tid og evighed har frataget sig selv muligheden for senere at indføre katodisk beskyttelse, hvis der alligevel optræder korrosion. Det skyldes, at alle jern er elektrisk isoleret fra hinanden. Derfor er denne teknologi fra starten en meget risikabel



løsning på korrosionsproblemet.

Anderledes forholder det sig med den teknologi der blev anvendt på tunnelelementerne på Storebælt. Der blev færdigsvejste tredimensionale armeringsbure coatet i én samlet operation i en fabrik og ilagt formen, der udstøbtes uden yderligere håndtering af armeringen undervejs. Desuden har man bevaret muligheden for at etablere katodisk beskyttelse engang i fremtiden.



Med hensyn til galvanisering af armeringen så foreligger der kun sporadiske erfaringer fra konstruktioner udsatte for chloridholdige miljøer. Varmgalvanisering kan beskytte imod korrosion forårsaget af karbonatisering af betonen vil det være en udmærket løsning, skønt andre banale løsninger vil have tilsvarende korrosionsbeskyttende evne.

*Som beskyttelse mod chloridbetinget korrosion vil tærskelværdien for galvaniseret armering være øget, men hvor meget og i hvor lang tid vides ikke i dag.*

### **Katodisk beskyttelse og korrosionsinhibitorer**

Katodisk beskyttelse er en velkendt og pålidelig korrosionsstandsende foranstaltning, der foreligger meget erfaring med.

*Anvendelsen af offeranoder for konstruktionsdele under vand og i fugtig jord er en simpel og udmærket selvkontrollerende teknologi, der kun kræver minimalt eftersyn og vedligehold - mest et spørgsmål om udskiftning af anoder når de er fortæret som del af beskyttelsesvirkningen.*

Anvendelsen af inerte anoder med påtrykt strøm er nødvendig, hvis teknikken skal anvendes på konstruktionselementer i atmosfæren. Her er situationen en helt anden. En transformator med ensretter skal gennem en styringsenhed og indstøbte sensorer sikre en kontrolleret strømtilførsel til hver af en række udvalgte anode zoner. *Det er nødvendigt med en livslang regelmæssig kontrol og opfølgning af systemet. Dertil kommer, at strømkilde, styringsenhed, ledninger og div. forbindelser også skal vedligeholdes i hele funktionsperioden.*

Korrosionsinhibitorer er det nyeste element i denne udvikling, både som indblandede og som migrerende. Teknologien er både velkendt og pålidelig i den kemiske industri, men indfører en lang række uafklarede spørgsmål ved overførsel til betonkonstruktionerne. *Høje chlorid koncentrationer kan tolereres hvis der er tilstrækkelig inhibitor ved armeringen. Men netop denne usikkerhed - sammen med andre usikkerheder - kan bekymre.*

### **Polypropylen fibre, glasfibre, aramid fibre og kulfibre**

Disse fibertyper anvendes i større eller mindre omfang til specielle opgaver. Polypropylen småfibre er velegnede til at undgå plastisk svind i den friske beton, foruden til sikring af beton mod brandskader forårsaget af eksplosionslignende afskalninger af dæklaget.

Glasfibre er i visse områder meget anvendt til armering af præfabrikerede ikke-bærende facadeelementer og lignende elementer.

Aramid og især kulfibre er stadig ret så kostbare, at de kun anvendes i meget begrænset omfang til helt specielle forstærkningsopgaver, ofte i form af plader, bændler eller væv.

Disse kunststoffibre kan også produceres som armeringsstænger og bøjler, og kan inkorporeres som armering i betonkonstruktioner næsten lige som almindelig stålarmring, men med andre mekaniske egenskaber. Alle dimensioner skal færdigproduceres fra fabrik, og der er ikke justeringsmuligheder af længde og form på pladsen. De skal tøjres i formen da de på grund af deres meget lave vægt ville

flyde ovenpå ved udstøbningen. De er sprøde, og kulfiberstænger kan sprænge hvis de får slag på tværs, men de er stærke i træk. Man må heller ikke gå på armeringen ilagt formen.

*Anvendelsen af disse ikke-metalliske, ikke-korroderende armeringstyper vil derfor indføre meget radikale ændringer i arbejdsprocedurerne på en arbejdsplads.*

## **Korrosionsresistent stålarmring**

Rustfri armering har været kendt i mange år, men meget lidt brugt fordi det var ekstremt dyrt, havde styrker der ofte kun var halvdelen af vore normale armeringer, og kun forelå i meget små dimensioner.

De sidste ca. 5 år har dette ændret sig dramatisk. Rustfri armering kunne sagtens leveres med styrker lig med eller højere end vor sorte armering, at dimensionerne og alle de andre mekaniske egenskaber sagtens kunne produceres, så det svarede helt til sort armering, og så har rustfri armering endda en meget større deformationskapacitet end sort stål, så duktiliteten blev klart forbedret.

Tilbage var så kun prisen som problem. Der viste en analyse, at det egentlig ikke var producenterne der satte den ekstremt høje pris. Entreprenørerne prissatte en god løsning ud af markedet!

*Den væsentligste videreudvikling i dag er derfor, at rustfri armering kan fås med mekaniske egenskaber så den er direkte udskiftelig med den sædvanlige sorte armering i forholdet 1:1.*

Dertil kommer den meget vigtige egenskab, at rustfri armering indstøbt i beton får tilnærmelsesvis samme elektrokemiske potentiale som sort armering. Dermed vil der ikke optræde galvanisk korrosion, hvis man kobler sort armering med rustfri armering, så længe det blot er indstøbt i betonen. Det har den betydelige økonomiske fordel, at man kun behøver at placere den dyre rustfrie armering præcis hvor der er risiko for kraftigt korrosivt angreb som fx fra tøsaltning eller i tidevands- og splashzonen i marine konstruktioner.

Netop i disse år går udviklingen meget hurtigt - nu hvor der er "gået hul på bylden" mht. alternative korrosionsresistent stålarmring. Der foreligger derfor allerede nu en række alternative - og påstået billigere - produkter til den rustfrie armering uden at opfylde de standarder der kræves, for at et stål kan kaldes rustfrit.

Der er tale om stål med varierende legeringstyper, som skulle give en noget højere eller meget højere chlorid tærskelværdi sammenlignet med sorte stål. Desværre er det umiddelbart vanskeligt at trænge til bunds i disse ståls sammensætning og at få pålidelige og neutrale oplysninger om disse ståltypers mekaniske, udmattelsesmæssige, sprødhedsmæssige og korrosionsmæssige egenskaber.



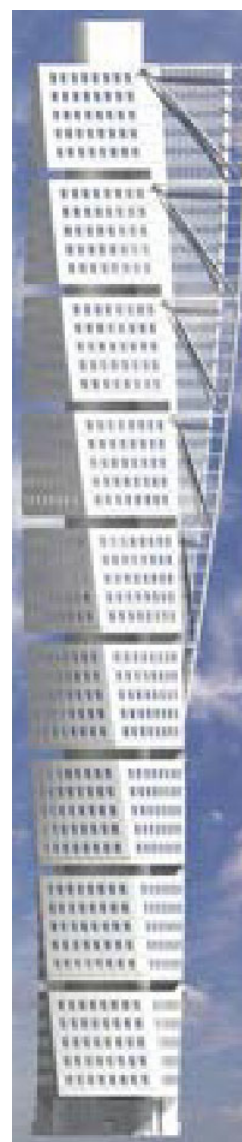
Et sådant stål, der for tiden markedsføres stærkt i USA, og nu også i Europa, Mellemøsten og Fjernøsten, er MMFX-stålet, en såkaldt mikrokomposit stålarmring. Den påstås at have en chlorid tærskelværdi på 8-9 gange niveauet for sort stål. Da der samtidig oplyses, at den kan modstå 5,3 kg/m<sup>3</sup> chlorid ioner i forhold til beton, bliver man lidt skeptisk, idet efter gængs dansk erfaring ville dette kun svare til en faktor på 4,4 - 2,2 gange den sorte ståls tærskelværdi (0,05 - 0,10 %).

En anden mere eksotisk - eller hybrid - løsning er de sorte armeringer med en tynd rustfri stålkappe, Nuovinox , som fx produceres af Stelax Industries Ltd. i USA og England. Denne form for "coating" virker ret robust og holdbar, så hvis de mekaniske egenskaber kunne tilfredsstille de almindelige standarder for armering, kunne dette være en interessant løsning. *Men små rustfri stålkappe skal klemmes fast i enden af hver eneste stang, og sådanne armeringer kan kun produceres i ret korte længder på grund af produktionsteknikken, levering coils er ikke mulig.*



### **NonCor - Projektet: Ikke-korroderende stålarmring til betonkonstruktioner**

I lyset af ovennævnte udvikling, og på basis af det potentiale der ligger i direkte at løse armeringskorrosionsproblemet fuldt ud gennem valg af armering, har en detaljeret undersøgelse heraf vakt de store skandinaviske anlægsbygherrers interesse. En lang række fordyrende korrosionsbeskyttende tiltag, som ikke har vist sig fuldt pålidelige i praksis, ville kunne relakseres med besparelser til følge. Dette ville kunne kompensere for valget af dyrere løsninger fra starten, samtidig med at det fremtidige omkostningskrævende vedligehold og reparation ville kunne reduceres væsentligt.



Derfor har man netop besluttet at medvirke i et skandinavisk projekt støttet også af Nordisk Innovations Center, NICE, (tidligere NordForsk). *Målet er at afdække den relevante del af markedet for ikke-korroderende stålarmring, fastlægge et prioriteret lille antal godkendte produkters egenskaber, udarbejde en fælles engelsksproget projekteringsvejledning for anvendelsen af disse armeringstyper, og opstille nødvendige specifikationer for sådanne armeringer.*

Fokuseringen på stålarmring skyldes ønsket om at foretage så små og få ændringer som overhovedet muligt i de velkendte krav til selve udførelsesprocessen på pladsen.

### **Konklusion**

***Vi står altså i branchen over for endnu en værdifuld teknisk revolution på holdbarhedsområdet til sikring af en mere konkurrencedygtig og mere bæredygtig bygge- og anlægsbranche på betonområdet.***

***Forbedringerne kunne meget vel føre til behov for tilsyneladende tekniske "tilbageskridt" i forhold til de seneste års teknologiske "udvikling", især inden for cement og beton produktionen.***