

I dette nummer

Overvågning af korrosion – nu i Kina! . . . 1

Aftaler med udlandet baner vejen for førende position inden for korrosionsovervågning 2

Hvordan påvirker brand beton? 3

Leder

Velkommen til den nyeste udgave af Concrete News, hvor vi vil behandle tre emner, nemlig brand i betonkonstruktioner, vort arbejde i Xiang'an-tunnelen i Kina og vores samarbejdsaftaler med udenlandske partnere om distribution af systemer til korrosionsovervågning i betonkonstruktioner.

Når armerede betonkonstruktioner udsættes for brand, kan der ske meget alvorlige ødelæggende skader, som især for forspændt armering kan have vitale konsekvenser for konstruktionens holdbarhed. I denne udgave af Concrete News kan du læse mere om skadesudvikling, undersøgelsesmetoder og skadesopklaring ved brand.

Desuden har vi valgt at omtale vor første større opgave i Kina. I forbindelse med bygningen af Kinas første undersøiske Xiang'an-tunnel, der forbinder hovedlandet med øen Xiamen, præsenterede FORCE Technology deres system til overvågning af armeringskorrosion. Senere er vores CorroWatch-sonder og ERE 20-referenceelektroder blevet monteret i tunnelsektionens øverste del.

Efterfølgende var FORCE Technology inviteret til en international konference in Hangzhou i november 2008 for at præsentere vore erfaringer med korrosionsovervågning. Præsentationen fra konferencen kan downloades på vores hjemmeside: www.forcetechnology.dk

God fornøjelse med læsningen.

Næste udgave af Concrete News forventes udgivet i slutningen af 2009.

Brián Kofoed
Redaktør

Overvågning af korrosion – nu i Kina!

FORCE Technology præsenterede deres unikke system til overvågning af armeringskorrosion i betonkonstruktioner i forbindelse med bygningen af Kinas første undersøiske tunnel.



Indgangen til den nye Xiang'an-tunnel.

Som en del af udviklingen af Kinas infrastruktur er der ved at blive bygget en ny tunnel, Xiang'an-tunnelen, der forbinder hovedlandet med øen Xiamen. Tunnelen, der er 7 km lang og har to tunnelrør, er den første undersøiske tunnel i Kina, se Figur 1.



Figur 1: Overblik over hvordan tunnelen vil forbinde øen Xiamen med hovedlandet.

For at optimere vedligeholdelsesstrategien og sikre lang holdbarhed har bygherren besluttet at få installeret et korrosionsovervågningssystem i tunnelen.

Korrosionsovervågningssystemer er mindre udbredte i Kina

I Kina er korrosionsovervågningssystemer generelt ikke blevet overvejet eller anvendt i betonkonstruktioner. Derfor har man ingen betydelig erfaring med de forskellige teknikker og systemer.

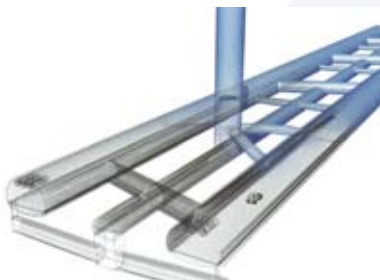
For at vælge det mest optimale korrosionsovervågningssystem blev Xiamen University, Department of Materials Science and Engineering valgt som ekspertrådgivere. De bestilte det nyudviklede og fuldautomatiske korrosionsovervågningssystem hos FORCE Technology og et antal CorroWatch-sensorer og ERE 20-referenceelektroder til indstøbning i beton. Sensorerne skal bruges til at teste og vurdere systemet både i laboratoriet og i tunnelen før et komplet korrosionsovervågningssystem installeres. Foruden sensorerne fra FORCE Technology blev der som et forsøg også monteret en sensor udviklet på Shanghai Jiao Tong University i Xiang'an-tunnelen.

CorroWatch-sensorerne og ERE 20-referenceelektroderne fra FORCE Technology

- fortsættes på side 2 -

- fortsat fra side 1 -

blev monteret i tunnelsektionens øverste del, dvs. 'under loftet', i et område, hvor støbningen til en sektion var klargjort og skulle udføres få timer efter installationen, se Figur 2. Sensorerne blev installeret af Professor Xuan Cheng, Xiamen University, Department of Materials Science and Engineering og Peter Nygaard, FORCE Technology. Som følge af offentlighedens store interesse for tunnelprojektet blev installationen af sensorerne fulgt på tæt hold af et lokalt tv-hold.



Figur 2: Designskitse af Xiang'an-tunnelen.

Demonstration af indbyggede korrosionssensorer

Med rollen som ekspertrådgiver arrangerede og afholdt Xiamen University også en workshop med titlen 'Corrosion of oceanic structures'. Her gav FORCE Technology en præsentation af deres dataloggersystem og sensorer til indstøbning i beton. På workshoppen deltog, foruden en lang række medarbejdere og studerende fra Xiamen University, også folk fra Shanghai Jiao Tong University samt større rådgivere og entreprenørfirmaer.

I forbindelse med workshoppen blev der aflagt besøg til hængebroen, der i dag udgør den primære forbindelse mellem øen Xiamen og fastlandet. Efter dette blev Xiang'an-tunnelen besøgt, hvor de forskellige typer af korrosionssensorer fra FORCE Technology var blevet installeret.

Korrosionsovervågningsystemet fra FORCE Technology

Med det fuldautomatiske korrosionsovervågningsystem fra FORCE Technology overvåges korrosionsaktiviteten – aktiv/passiv – af hver af de fire anoder på CorroWatch-sonderne indstøbt i betonen. Da CorroWatch-sonderne er placeret i betonens dæklag, og de fire anoder i forskellige dybder under betonoverfladen, kan 'korrosionsfronten' følges ind gennem betonen. Når aktiv korrosion detekteres på CorroWatch-sondernes dybestliggende anode, tæt på hovedarmeringen, kan reparationsstrategier i form af traditionelle reparationer eller katodisk beskyttelse forberedes og iværksættes. Korrosionsovervågning giver på denne måde en tidlig varsling af armeringskorrosion.

Bestemmelse af de enkelte anoders korrosionsaktivitet er baseret på måling af deres elektrokemiske potentialer og en 5-sekunders makro-celle strøm. For hver CorroWatch-sonde måles det elektrokemiske potentialer af hver af de fire anoder før makro-celle strømmene bestemmes. Dette gøres ved at koble de enkelte anoder på hver CorroWatch-sonde, én ad gangen. De

kobles til Ti-mmo-katodebåndet monteret på sondens krop gennem et præcisions 0-ohms-ampereometer. Præcis 5 sekunder efter at en anode er koblet til Ti-mmo-katoden måles strømmen, der løber mellem de to og gemmes i korrosionsovervågningssystemets computer. Herefter frakobles anoden, den næste anode kobles ind, og målingen gentages efter 5 sekunder. Dette gentages indtil makro-celle strømmen til alle fire anoder på den pågældende CorroWatch-sonde er bestemt.

Korrosionsaktiviteten af anoderne vurderes primært på baggrund af de målte 5-sekunders makro-celle-strømme. Baseret på undersøgelser i laboratoriet viser det sig, at 5 sekunders makro-celle strømme over 12-15 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ er ensbetydende med aktiv korrosion. Afhængig af betonens vandmætningsgrad og hermed iltindhold/tilgang, kan de målte elektrokemiske potentialer eventuelt også anvendes til tolkning af anodernes korrosionstilstand. Det lader sig gøre i de tilfælde, hvor betonen ikke er vandmættet og det elektrokemiske potentialer af anoderne ikke er under katodisk kontrol som følge af et lavt iltindhold i betonen. Omvendt, hvis betonen er eksponeret i atmosfæren, og iltindholdet ikke er begrænset af et højt vandindhold, kan anodernes potentialer også anvendes til bestemmelse af anodernes korrosionsaktivitet.

Yderligere information:
Oskar Klinghoffer
+45 43 26 72 55 • concrete@force.dk

Aftaler med udlandet baner vejen for førende position inden for korrosionsovervågning

Betonafdelingen har i løbet af 2008 indgået samarbejdsaftaler repræsenterende firmaer i Kina, Australien, New Zealand, Portugal og Spanien om distribution af systemer til korrosionsovervågning i betonkonstruktioner.



CorroWatch-sonde og ERE 20 referenceelektrode

Disse aftaler omfatter alle vores produkter såsom ERE 20-referenceelektroder, CorroWatch- og CorroRisk-sonder samt GalvaPulse-udstyr. Desuden indgår også vores nye håndholdte instrumenter til måling med ERE 20 referenceelektroder og CorroWatch/CorroRisk-sonder samt dataloggersystemer for automatisk dataopsamling. I aftalerne indgår endvidere bistand til evaluering af målinger og pålidelighedsvurdering med hensyn til reparationsbehov og restlevetid.

Førende position på verdensplan

Med disse aftaler er der sørget for udbre-

delse af vores produkter til områder, hvor der opleves stigende vækst med hensyn til nybyggeri (Kina), og også til områder hvor der er temmelig stort behov for vedligehold af den eksisterende konstruktionsmasse (Australien/New Zealand og Portugal/Spalien). Lignende aftaler med andre lande i og uden for Europa er på vej. På denne måde forventer vi i løbet af de næste få år at blive den førende leverandør i verden af korrosionsovervågning til betonkonstruktioner.

Yderligere information:
Oskar Klinghoffer
+45 43 26 72 55 • concrete@force.dk

Hvordan påvirker brand beton?

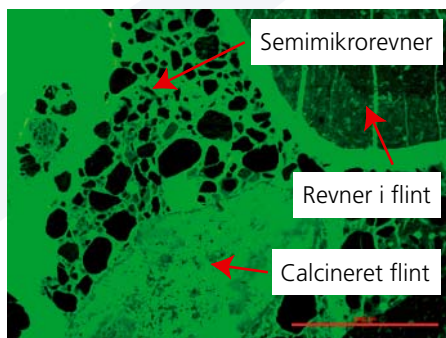
Brandpåvirkning af bygninger og andre konstruktionsdele kan have alvorlig indvirkning på konstruktionens strukturelle integritet og modstand mod andre sekundære nedbrydningsmekanismer. Det er derfor vigtigt at få fastslået skadesomfanget som følge af branden, dels for at sikre at der ikke opstår kollaps, efter at slukningsarbejdet er afsluttet og dels for at kunne planlægge en økonomisk realistisk renovering.

Primær påvirkning

Når skadesomfanget efter en brand skal kortlægges, er det vigtigt at forstå konstruktionens anatomi i så mange detaljer som muligt. I mange tilfælde er det også vigtigt at forstå konstruktionens initialtilstand for at kunne differentiere mellem skader, som er opstået som følge af branden og skader, som skal henføres til den oprindelige tilstand. Det er yderligere meget vigtigt at have et relativt klart overblik over, hvor, hvordan og specielt hvor længe branden har påvirket konstruktionen. Informationer omkring hvilke materialer, der er brændt og slukningsarbejdet, kan ligeledes have stor betydning for, hvordan eventuelle sekundære, langsigtede effekter af branden kan opstå.

Brande

Hver enkelt brand har sin egen anatomi. En brand kontrolleres af tilgængeligheden af brændbart materiale, typen af brændbart materiale samt tilgængeligheden af ilt til forbrændingen. Det betyder, at den kraftigste brandpåvirkning ikke nødvendigvis hænger sammen med, hvor den største koncentration af brændbart materiale har været placeret. Det er ikke ualmindeligt, at det brændbare materiale ligger og 'forgaser' et sted, mens at høj-temperaturzonen findes omkring åbninger i konstruktionen, hvor der er iltoverskud til forbrændingen af gasserne. Udover de laterale variationer i brandpåvirkningen ses der ligeledes store vertikale variationer, i det varmen søger opad. Det betyder, at lavtliggende dele af en konstruktion kan være stort set upåvirkede, selv i epicentret for branden.



Mikrobillede af overfladen af kraftigt brandpåvirket beton. Ydersiden ses til venstre.

Hvad sker der?

Når cementbaserede produkter udsættes for brand sker der en række processer i pasta og tilslag, som styrer nedbrydningen. Det første, der sker, er, at frit vand i pasta fordampes fra



Eftervirkningerne af kraftig brandpåvirkning af beton omkring vinduesudsparring.

overfladen inden for et temperaturområde på 100-200°C. Når det frie vand er fordampet, begynder krystalvandet og hydratiseringsprodukterne at fordampe. Når temperaturen når op på omkring 200°C, begynder der at ske forandringer i flintpartiklerne. Det skyldes, at flint indeholder noget vand, som kan fordampe, hvilket medfører, at der i nogle flintvarianter opstår farveændringer og successivt højere grad af opsprækning ved stigende temperaturer.

I temperaturintervallet fra 500 til 600°C begynder hydratiseringsprodukterne for alvor at omdannes, idet frit calciumhydroxyd omdannes til calciumoxyd og vand, og gelen begynder for alvor at tabe sit krystalvand. Inden for samme interval vil der ske strukturelle omdannelser i visse typer kvarts, hvilket giver en volumenforøgelse, som medfører, at der kan opstå revner i tilslag og tilstødende pasta. Ved temperaturer over 600°C begynder kalkpartikler, og dermed også karbonatiseret pasta at spaltes til calciumoxyd og kuldioxid.

Afhængig af brandpåvirkningen vil disse processer i højere eller mindre grad medføre et styrketab af betonen. Det overordnede styrketab af konstruktionen er selvfølgelig afhængig af, hvor dybt brandpåvirkningen trænger ind i betonen.

Idet brandpåvirkningen af betonen medfører en række faseændringer, sker der ligeledes en vis volumenændring som følge af branden. Inden for de første 100 til ca. 200°C opstår der en volumenforøgelse af betonen, som hænger sammen med fraspaltningen af frit vand. Ved temperaturer over 200°C sker der en sammentrækning af betonen, fordi de nye faser har mistet deres vand. Disse processer er dog afhængige af vand-cementforholdet i betonen. Det positive ved

fraspaltningen af vand er, at varmeledningsevnen for betonen falder, hvorved effekten af branden i de indre dele sinkes noget.

Fraspaltningen af vand kan medføre eksplosiv afskalning i tætte betoner, idet dampen ikke kan trænge ud af betonen i samme takt som, den genereres. For at kompensere for det kan man tilsætte polypropylen fibre til betonen, der virker som drækanaler for vanddamp ved brand. Betontyper med høje vandcementtal over 0,45 er mindre påvirkelige over for eksplosiv afskalning, da kapillarporestrukturen er så åben, at vanddampen kan trænge ud. Dette er dog ligeledes afhængig af opvarmningsgradienten.

Temperatur indikator	Temperatur interval
Omdannelse af carbonat	600-880°C
Omdannelse af C-S-H geler (hydratiseringsprodukter)	500-700°C
Kvartsinversion Omdannelse af alfa-kvarts til beta-kvarts	573°C
Calcineret flint	350-450°C
Brunfarvning af nogle flinttyper	ca. 200°C
Revner omkring sten og luftporer	150-250°C
Omdannelse af ettringit	150-200°C

Tabel 1: Relation mellem temperatur i betonen og omdannelser af delprodukter.

Virkeligheden

Når brandskadeomfanget skal vurderes, er det vigtigt at få et overblik over, hvilke dele af konstruktionen der er mest påvirket af branden. Graden af forbrænding af maling, tapet og træværk og eventuelt smeltning af aluminiumslisters og bukning af stålmemner kan være gode indikatorer for kolde og varme

- fortsættes på bagsiden -

- fortsat fra side 3 -

områder. Dernæst kan man i nogle tilfælde på basis af farven af betonen få en indikation af brandpåvirkningen. Man skal dog altid være opmærksom på evt. spartelmasse, pigmenteret beton eller alternative betonsammensætninger. Se tabel 2 nedenfor.

Temperaturinterval	Farve
0-300°C	Normal grå
300-600°C	Rosa
600-1000°C	Hvidgrå
1000-°C	Brungul

Tabel 2: Farven indikerer temperaturpåvirkningen af beton.

Styrkesondering

Som nævnt, har brandpåvirkningen indflydelse på pastastrukturen, hvilket igen indvirker på styrken af betonen samt lyd hastigheden i betonen. Dette kan udnyttes til at identificere de forskellige brandpåvirkningszoner.

Dette kan gøres ved 'akustisk sondering', hvilket grundlæggende går ud på, at man systematisk slår på konstruktionen, hvorved klangændringerne afslører de kraftigst påvirkede dele af konstruktionen. Typisk vil brandpåvirkede dele have en dump lyd, mens upåvirket beton vil være hård og klingende. I det denne metode ikke kan kvantificeres, anvender man i mange tilfælde ultralydsudstyr til at måle lyd hastigheden i overfladen, eller en Schmidt-hammer, som måler rekylværdierne i de enkelte målepunkter.

Ved begge metoder skal man dog være opmærksom på indvirkningen af spartelmasse, ruhed og anden overfladebehandling eller struktur, som kan påvirke resultaterne. Man skal også være opmærksom på, at disse målinger kun er repræsentative for de yderste mm til cm, hvorfor disse metoder ikke siger noget om styrken af de indre dele af betonen.

Materialeundersøgelser

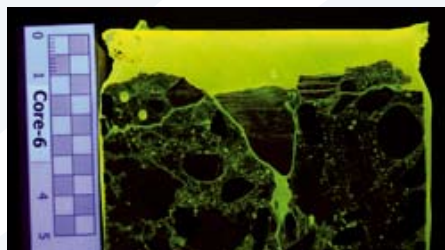
På basis af besigtigelsen og evt. styrkesonderingerne kan man udtage prøver af betonen for at fastslå, hvor dybt betonen er påvirket af branden. Dette gøres med henblik på at kunne vurdere reduktionen i trykstyrken samt for at fastslå, om armeringen har taget varig skade. Som udgangspunkt er det altid en god ide at udtage prøver af både upåvirket og påvirket beton for at have et referencegrundlag.

Temperaturpåvirkningen bestemmes på basis af makro- og mikroskopiske ændringer

af pasta og tilslag, i henhold til Tabel 1, som kan observeres på planslib og tyndslib. Når dybden og graden af brandpåvirkning er bestemt, kan man vurdere om armeringen har taget skade. Det er derfor vigtigt at foretage en opmåling af dæklagstykelser i de forskellige brandzoner, således at man kan korrelere temperaturprofilen fra prøverne med armeringens placering.

Forskellige typer armering og stål er mere eller mindre følsomme over for brandpåvirkning. Typisk vil varmvalset stål begynde at miste styrke ved temperaturer over 300°C, og ved ca. 600°C er der sket en styrkereduktion på ca. 50 %. Ved afkøling opnår varmvalset stål dog sin fulde styrke, men under branden kan kombination af tab af trykstyrke kombineret med en reduktion af stålstyrken have medført strukturelle skader på konstruktionen.

Kolddeformeret stål, som typisk anvendes i forspændte konstruktioner, er mere følsomt over for varmepåvirkning. Denne ståltype begynder at mistet sin styrke allerede ved 200°C og ved 600°C har det mistet 80 % af sin styrke, som ikke genvindes ved afkøling. Dette kan være meget kritisk for en konstruktion under og efter branden, med hensyn til umiddelbar sikkerhed og renoveringsmulighed og strategi.



Gennemsavet fluorescens-impregneret borekerne.

I kritiske tilfælde kan man udtage armeringsprøver til styrkebestemmelse i laboratoriet, eller man kan foretage en replikatest. Ved en in-situ replikatest polerer man et stykke af stålet, hvorefter man tager et aftryk af mikrostrukturen i overfladen, som så undersøges i laboratoriet.

Afledte skader på en konstruktion

Som nævnt tidligere, resulterer brand i flere tilfælde i, at bygningselementer udvider sig. Dette kan betyde, at der opstår store spændinger i konstruktionen, som kan medføre brud andre steder end i det direkte brandpåvirkede område. Dette ses ofte i huldælelementer, som 'klemmer', hvilket

giver sig udslag i langsgående afsprængninger og revner langs kanten af elementerne. Disse kræfter kan i nogle tilfælde overføres til bærende vægge og søjler, som derved svækkes.

Selve slukningsarbejdet kan medføre, at der opstår chokafskalninger og -revner. Det sker, når koldt vand rammer varme konstruktionsdele, hvorved der kan opstå kraftige termiske spændinger. Vandet fra slukningsarbejdet kan også bidrage til en rehydrering af brandpåvirket pasta, hvorved disse faser atter udvider sig voldsomt.

Slukningsarbejdet kan påføre konstruktionen betydelige vandskader, og eventuelle salte kan blive vasket ned til armeringen. Dette kan resultere i forøget risiko for korrosion, såfremt fugtforholdene er gunstige for dette. Når en konstruktion opfugtes, kan det medføre øget risiko for skimmelvækst, hvilket kan have alvorlige konsekvenser for det efterfølgende renoveringsarbejde. Kortlægning og monitorering af fugtforhold i den brandskadede konstruktion er derfor vigtig for at sikre, at fugt ikke lukkes inde, eller at renoveringen påbegyndes, før der er opnået acceptable fugtforhold.

Gennemgang er god investering

Afhængig af brandskaden, kan det ofte være en god investering for både ejer og forsikringsselskab at udføre en omhyggelig gennemgang af konstruktionen efter en brand, med henblik på renoveringsstrategi og erstatningsforhold.

Faktaboks

Force Technology har mange års erfaring i vurdering af brandskade i beton- og stålkonstruktioner samt andet havari, som er opstået som følge af brandpåvirkning og konsekvenserne efter slukningsarbejdet. Vi har desuden stor erfaring i havariundersøgelser af stort set alle typer materialer og konstruktioner og kan derfor bidrage med værdifulde informationer ved skadesudredning og tilstandsvurdering.

Yderligere information:
Jens Henriksen
+45 43 26 72 28 • concrete@force.dk

Concrete News er et nyhedsbrev om inspektion og undersøgelse af beton.

Nyhedsbrevet udkommer to gange årligt.

Materiale fra nyhedsbrevet må gengives med angivelse af kilde.

Yderligere information kan findes på www.forcetechnology.com

Redaktion:
Sacha Andersen (ansvarshavende)
Brian Kofoed

ISSN 1600-6429

©FORCE Technology, 2009

Concrete News udgives af
FORCE Technology,
Park Allé 345
2605 Brøndby
Tel.: +45 43 26 70 00
Fax: +45 43 26 70 11
info@forcetechnology.dk
www.forcetechnology.com