

Dansk Betondag 2004

Hotel Svendborg, Fyn

23. september 2004

Farlige Alkalikiselreaktioner (AKR) og frostskeer belyst ved praktiske eksempler

Civilingeniør
Finn M Jensen

Civilingeniør
Bent Grek

The logo for Ramboll, featuring the word "RAMBOLL" in white capital letters on a dark blue rectangular background. The letter "O" is stylized with a white checkmark-like shape inside it.

RAMBOLL

**Afdeling for Brodrift og Betonteknologi
Bredevej 2
DK-2830 Virum
Danmark**

<http://www.ramboll.dk>

Indledning

I årene fremover vil man kunne risikere at mange udendørs betonkonstruktioner fra 1960erne og 70erne udsat for vand og saltpåvirkning vil kræve betydelige reparationer med mindre der foretages de nødvendige afhjælpende og præventive tiltag. Dette skyldes betonskader, som opstår pga. alkalisk reaktioner (AKR) eller frost – eller som en kombination af disse skadestyper. Skader på grund af AKR og frost kan være ”farlige”. Erfaringer fra de seneste fem år har vist, at denne skadesudvikling kan gå endog meget hurtig og være meget omfattende, hvorfor det er essentielt, at sådanne skader opdages i tide. Tilmed kan udbedring af de opståede skader være bekosteligt og i nogle tilfælde endog medføre, at hele konstruktionen eller dele af konstruktionen må udskiftes. Erfaringer og analyser viser dog også, at man ved gennemførelse af det nødvendige vedligehold og de nødvendige præventive tiltag kan undgå eller minimere risikoen for omfattende og kostbare reparationer.

I begyndelsen af 80erne var der meget fokus på betons holdbarhed – ikke mindst set i lyset af de meget store betonrenoveringer som fandt sted i bl.a. Brøndby Strand og Farum Midtpunkt. På det tidspunkt var AKR kun en af mange årsager til betonens manglende holdbarhed i de pågældende byggerier – og i mange tilfælde kun en helt sekundær årsag i forhold til korrosionsskader pga. karbonatisering (små dæklag) og/eller klorider (saltpåvirkning). Alligevel døbte pressen problemerne mht. betons holdbarhed for ”bomben i betonen” bl.a. med henvisning til de ekspansive kræfter, som alkaliskreaktive bestanddele i tilslaget kunne forårsage.

Et positivt resultat af den megen fokus der var på betonproblemerne i begyndelsen af 80erne var fremkomsten af Basisbetonbeskrivelsen (BBB) i 1986/87. I denne anvisning (som i princippet kun gjaldt statslig eller statslig støttet byggeri men blev en materialestandard, der sidestiller udendørs betonkonstruktioner med brobygning) blev der for første gang fastsat krav til tilslagsmaterialernes indhold af potentielt alkaliskreaktive bestanddele. Imidlertid blev der i 60erne og 70erne opført mange boligblokke, broer og andre anlægskonstruktioner i beton med såkaldte indbyggede ”AKR-bomber”.

Efter ca. 20 år kan det konstateres, at hvad angår betonboligbyggeri og lignende så har der ikke været – ligesom der næppe vil komme – større problemer hvad angår AKR. Det hænger nøje sammen med de anvendte betoners sammensætning. For selvom mange af datidens betoner indeholdt rigeligt med potentielt alkaliskreaktive tilslagskorn, så var betons alkaliindhold typisk så lavt, at der ikke kunne initieres væsentlige revnedannelser pga. AKR. Det vides nemlig fra flere videnskabelige undersøgelser, at betons alkaliindhold typisk skal være over 3 kg per m³ beton før der vil ske ekspansion og egentlige revnedannelser i betonen. Hvis man regner med, at datidens danske cementtyper havde et alkaliindhold på ca. 0,7%, så vil det omregnet betyde, at betons cementindhold skulle være over 400 kg/m³ beton, før man totalt set havde et alkaliindhold på over de førnævnte 3 kg/m³ beton. Der kommer selvfølgelig også et bidrag af alkalier fra evt. tilsætningsstoffer, evt. flyveaske og tilslaget, men størstedelen må forventes at stamme fra cementen.

Imidlertid er situationen anderledes hvad angår vore anlægskonstruktioner i beton, som kan risikere at blive udsat for påvirkning af tørsalte. Det er almindeligt kendt at udefra kommende alkalier (typisk i form af tørsaltet NaCl) kan bidrage til betons samlede alkaliindhold, og dermed igangsætte skadelige AKR i en beton, som måske ikke var disponeret for sådanne reaktioner. Tilsyneladende har antallet af tilfælde, hvor skadelige AKR optræder i et væsentlig omfang og som har givet anledning til større og kostbare reparationer været relativt beskedent. Imidlertid har vi i de seneste år tilsyneladende set et stigende omfang af mere alvorlige AKR-skader på vore udendørs anlægskonstruktioner i beton fra begyndelsen af 60erne.

Er dette en tilfældighed eller er der en forklaring på dette? Mange broer fra perioden er nu 30 til 40 år gamle og en ældet og utæt fugtisolering har medført en fugtbelastning af betonen. Denne

opståede tilførsel af fugt og tørsalte har bevirket at AKR-skaderne har kunnet udvikle sig. I de tilfælde, som vi vil komme med eksempler på i det følgende, har netop en (utilsigtet) tilførsel af ekstra alkaliioner (Na^+ , K^+) i form af tørsalte igangsat en nedbrydning af de pågældende betonkonstruktioner – som både er sket meget hurtigt (få år) men også fået et betydeligt omfang. I tilknytning til og/eller i kombination med AKR ses tilsyneladende også et stigende antal frostska-der på betonbygværkerne fra samme periode. Ofte optræder frostska-derne sammen med AKR i en grad, hvor det kan være svært at skelne, hvilken af nedbrydningsmekanismerne som er eller har været den primære skadevolder. Men det ser generelt ud til, at de to skademekanismer accelererer nedbrydningen af betonen.

Ud fra de seneste års erfaringer med eftersyn af udendørs betonkonstruktioner fra perioden 1950 til i dag kan der gøres følgende overordnede og generelle betragtninger:

1. Betonkonstruktioner opført i perioden efter ca. 1987 : Der kan eller vil ikke forekomme skadelige AKR-skader i betonen

Betonkonstruktioner, hvor betonen er sammensat i henhold til kravene i Basisbetonbeskrivelsen (BBB) fra 1987 vil uanset eksponeringsforhold aldrig give anledning til skadelige alkali-kiselreaktioner af betydning, medmindre særlige forhold eller omstændigheder gør sig gældende (f.eks. i form af projekteringsfejl, anvendelse af forkerte materialer, fejlblending, forkerte leverancer af tilslagsmaterialer mm.)

2. Betonkonstruktioner opført i perioden før 1987 : Disse konstruktioner er ofte disponerede for skadelige AKR-skader

En stor del af betonen i de betonkonstruktioner, som er opført i perioden fra før indførelsen af BBB – dvs. fra før 1987 – må forventes at indeholde skadelige, reaktive bestanddele i det anvendte tilslag. Dette er dog delvist geografisk bestemt, idet der kan være betydelige kvalitetsforskelle i tilslagsmaterialerne fra landsdel til landsdel.

3. Betonkonstruktioner opført i perioden før 1987 kræver oftest både fugt og salt for at udvikle farlige AKR-skader

Skønmæssigt vil hovedparten af de betonbygværker, som indeholder en skadelig mængde reaktive bestanddele kun kunne udvikle AKR-skader af betydning, hvis betonen tilføres alkalier (tørsalte) udefra. Betonernes medfødte alkaliindhold er typisk så lavt, at der ikke vil kunne udvikles AKR-skader af betydning. Dette hænger sammen med det lave alkaliindhold i de danske cementtyper.

Ejerne af udendørs betonkonstruktioner, opført før 1987 (eller nyere betonkonstruktioner hvor betonsammensætningen ikke opfylder BBB) har derfor en række konstruktioner, som indeholder en potentiel "AKR bombe" – og andre er yderligere disponerede for frostska-der. Som beskrevet i det følgende kan disse bygværker med indbyggede "bomber", efter alt at dømme, leve i hele den forventede levetid blot der tages hensyn til, at nogle af betonerne ikke må udsættes for fugt og tørsalte.

Alkalikiselskader

AKR-reaktioner skyldes, at reaktive porøse flintkorn går i kemisk forbindelse med alkaliioner i betonens porevæske. Hovedparten af alkali-ionerne i betonens porevæske stammer fra den anvendte cement og evt. fra omgivelserne (tørsalte) i et fugtigt basisk miljø. De reaktive korn ekspanderer og danner reaktionsprodukter (alkalikisel-gel), som får betonen til at revne. Disse revner åbner betonen yderligere op for fugtindtrængning og kan efterfølgende blive fyldt med vand og medføre frostska-der. De samme revner kan også medføre lettere og hurtigere adgang for klorider (fra tørsalte ofte i form af NaCl) til at trænge ind til armeringen og evt. forårsage armeringskorrosion. Det

samme saltholdige vand medfører også at der tilføres ekstra alkalier til betonen og dermed igangsætter eller forstærker evt. AKR-reaktionerne. Om AKR-skaderne er kritiske for bygværkets funktion og holdbarhed afhænger af graden og hvor de optræder. For at der skal kunne ske skadelige revnedannelser i betonen pga. alkalikiselreaktioner, er der en række grundlæggende forudsætninger, som skal være opfyldt: en vis mængde reaktive korn til stede i de anvendte tilslagsmaterialer og en vis mængde fugt til stede i betonen. Generelt så er betonkonstruktioner opført efter 1987 ikke disponerede for skadelige AKR-reaktioner hvis de er opført/sammensat i henhold til BBB. Dette hænger sammen med kravene i BBB til mængden af alkalikiselreaktive bestanddele i de danske tilslagsmaterialer. Der er f.eks. et krav til sandet til beton i moderat eller aggressiv miljøklasse i form af enten maks. 2 vol-% reaktive korn i sandfraktionen (TI-B 52) eller en maks. mørtelprismeeekspansion på 1 ‰ efter 8 uger (TI-B 51).

Beton fra før 1987 har i de fleste tilfælde ikke haft et ”medfødt” alkaliindhold, som er tilstrækkeligt til at afstedkomme at de reaktive korn får et reaktionsomfang, som giver anledning til væsentlige revnedannelser. Som tidligere nævnt skal alkaliindholdet i betonen typisk ligge over 3 kg/m³ beton, før der kan initieres skadelige revnedannelser i betonen pga. AKR. Med de danske cementtypers relative lave alkaliindhold (skønsmæssigt på ca. 0,7% i 60erne og 70erne), så skal cementindholdet normalt ligge på 400 kg/m³ beton eller derover, før denne grænse overskrides. Ved gennemgang en betonrecepter for en lang række broer opført i 60erne og 70erne mht. betonproportioneringen er det konstateret, at betonen i størsteparten af de danske broer (alle konstruktionsdelene under et) har et cementindhold, som ligger under 400 kg/m³ – den samlede andel af betoner med et større cementindhold end de 400 kg/m³ ligger et sted mellem 5 og 25% afhængigt af konstruktionsdel. Når alligevel en stor del af alle udendørs betonkonstruktioner, som er opført i 60erne og 70erne, må påregnes at være potentielt AKR-reaktive, skyldes det, at alkaliioner (oftest i form af tørsalte) kan tilføres udefra, og dermed bidrage til betonens samlede alkaliindhold. Hermed vil der kunne udvikles skadelige revnedannelser pga. AKR i en beton, som måske ellers ikke var disponeret for AKR-skader.

Frostskader

Generelt vil kun beton i vandmættet eller næsten vandmættet tilstand kunne udvikle frostska-der, hvis den udsættes for frost-tø passager. Betonens frostbestandighed kan vurderes ud fra en række forhold, herunder betonens luftporestruktur (karakteriseret ved luftindhold, specifik overflade og afstandsfaktor) og betonens kapillarporøsitet (v/c-forhold, niveau og homogenitet). Imidlertid er risikoen for frostska-der dog primært afhængig af betonens fugtbelastning (vandmætningsgrad), idet en ikke kritisk vandmættet beton ikke vil kunne fryse i stykker uanset dens luftindhold og -struktur.

Frostskader i beton giver forvitring af pastaen i overfladen og indre revnedannelser oftest parallelt med overfladen – eller som en kombination af de to skadestyper. Endelig kan frostfarlige tilslagskorn medføre afskalninger i overfladen (springere).

Ved gentagne frost-tø påvirkninger vil forvitringen medføre, at også større tilslagskorn bliver løse, hvilket i svære tilfælde kan indebære at dæklaget forvitrer. Dette kan medføre tab af forankringskapacitet af armeringen, samt reduktion af forskydningsarmeringens funktion. Endelig betyder tab af dæklag næsten altid en øget korrosion af armeringen, med tilhørende reduktion af levetiden.

Interne revnedannelser medfører tab af tryk- og trækstyrke samt reduktion af E-modul. Denne reduktion kan have en betydende indflydelse på bæreevnen af primært forspændte konstruktioner og kan medføre en omfordeling af kræfter pga. ændringer i stivheder i forskellige dele af konstruktionen. Afskalninger i overfladen pga. frostfarlige sten (springere), medfører som regel kun kosmetiske skader.

Eksempler

I det følgende bringes tre eksempler på betonbygværker hvor AKR-skader har givet anledning til reparationer.

Bro ”nr. 1” (opført i 1964): Kerner udtaget fra undersiden af dækket i område med revner og synlige gennemsvinninger viste, at strengbetonen var gennemrevnet primært i form af overfladeparallele revner (se næste side). Særeftersynet viste, at den undersøgte betonkonstruktion havde indbygget en skadelig mængde alkalikiselreaktive bestanddele i sandfraktionen, men at betonen i store træk er/var i en rimelig tilstand, så længe at denne ikke havde været udsat for udefrakommende alkalier i form af tørsalte fra den overførte vej. Når først betonen tilføres alkalier udefra, selv i relativt beskedne mængder, så kan reaktioner hurtigt tage fat, og vil i mange tilfælde resultere i betydelige revnedannelser i betonen. Alkaliioner fra tørsalte har virket som brændstof for skadelige alkalikiselreaktioner i de anvendte strengbetonelementer. I de dele af konstruktionen, inklusiv strengbetonen, som kun har været udsat for fugt, er der ikke konstateret skadelige AKR af betydning. Derimod er der alene betydelige skadelige revnedannelser i de områder, hvor fugten er/har været ledsaget af tørsalte. Reparation som udføres skal udbedre de skadede områder og stoppe tilførslen af saltholdigt vand til de ubeskadigede dele.

På bro ”nr. 2” (opført 1967) blev der ved eftersyn konstateret fine og grove revner i den ene fløjmur. De konstaterede revner skyldtes AKR-reaktioner (pga. reaktive porøse flintkorn i sandfraktionen) på både for- og bagside. Analyser af betonen viste, at betonens oprindelige alkaliindhold var så lavt, at betonen som udgangspunkt ikke var disponeret for skadelige alkalikiselreaktioner - uanset fugtbelastning. De tre ubeskadigede fløjvægge har været udsat for slagregn i 30 år men optræder uden skader. For den skadede fløjvæg var der sket en tilførsel af saltholdigt vand (alkalier) pga. en ældet og utæt belægning over fløjvæggen. Sammenholdt med et højt v/c-forhold kunne saltholdigt vand trænge ind i fløjvæggen bagfra og initiere skadelige AKR-skader i hele fløjvæggen. Bro ”nr. 2” er et eksempel på en beton, som kan opfylde sin funktion i den forventede levetid på trods af en indbygget ”AKR-bombe”, blot denne ikke tilføres tørsalte udefra. Der blev udført en tætning af belægningen over den beskadigede fløjmur hvorved udviklingen af AKR-skader vil gå i stå.



Bro ”nr. 2” : Bro opført 1967. En 38 m lang og 9 m bred underføring. AKR-skader i den ene fløjmur.



Bro ”nr. 3” : Bro opført i 1970. Slapt armeret pladebro med en mastiks fugtisolering. Foto viser omfattende delaminering af betonpladen.



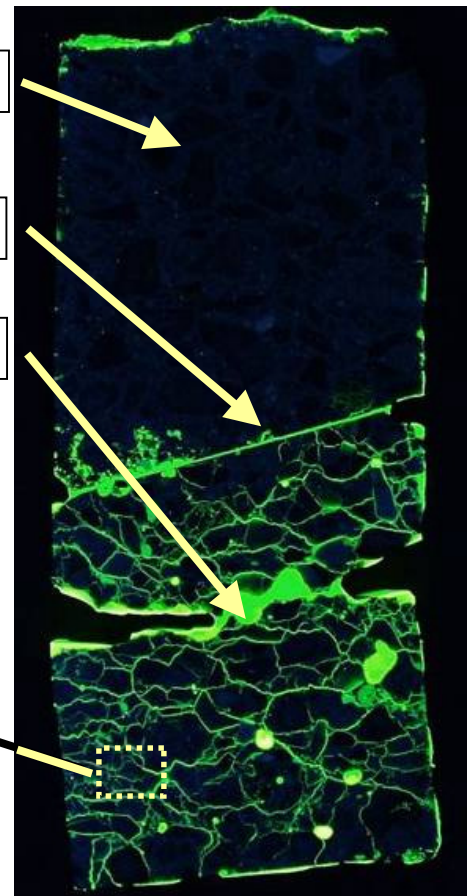
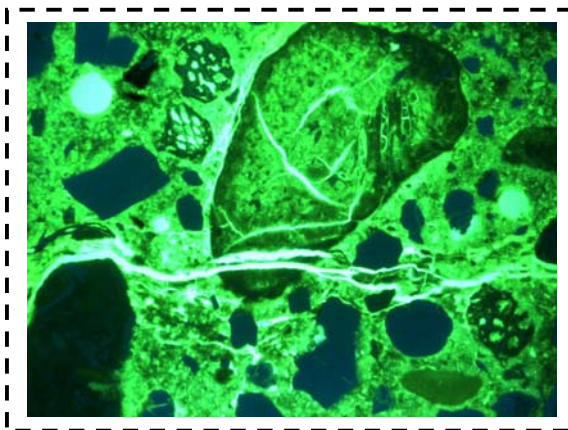
Bro "nr. 1" : Enkelte af elementerne langs den sydlige kantbjælke (ved det østlige vederlag) havde revne-dannelser med tydelige tegn på gennemsivninger.



Fyldbeton

Støbeskel

Strengbeton



Bro "nr. 1" : Undersøgelserne af kernerne viste, at strengbetonen var gennemrevnet, og at revnerne var forårsaget af skadelige alkalikiselreaktioner pga. porøse reaktive kalkopflint i sandfraktionen. Foto viser et fluorescensimpregneret planslib fra en af de skadede kerner. Kun strengbetonen indeholder væsentlige revnedannelser.

Bro ”nr. 3” (opført 1970): Særeftersyn af broen viste, at dele af undersiden af brodækket havde betydelige revneskader. Analyse af udtagne betonkerner gennem hele dækket viste, at betonen i de revneskadede områder var meget kraftigt kloridbelastet igennem hele dækkets tværsnit. Derimod kunne der ikke registreres klorider i nævneværdige mængder i de visuelt uskadede områder. Samtidigt viste betonkerne, at betonen i de stærkt kloridbelastede områder var meget kraftigt delamineret. I de meget udsatte områder på oversiden af dækket, har alkalikisel-reaktionerne, tilsyneladende på relativ kort tid, arbejdet sig gennem det ca. 70-80 cm tykke brodæk. I de mindre fugt- og saltbelastede områder har reaktionerne endnu ikke nået at udvikle sig i et omfang, som har bevirket, at der er synlige revnedannelser i betonen. Der er siden eftersynet foretaget omisolering af broen, samt reparationer af de skadede dele i såvel over- som underside af brodækket.

Konklusion

Mange udendørs betonkonstruktioner fra 60erne og 70erne er disponerede for skadelige AKR-skader. For størstedelen af konstruktionerne vil egentlig skadelige AKR-skader dog kun opstå, hvis der tilføres salt (alkalier) som brændstof til AKR-reaktionerne. Den generelle anbefaling er derfor at forhindre unødigt fugt og saltbelastning af betonen. Da AKR-skader kan udvikle sig meget hurtigt ved tilførsel af fugt og salt, anbefales det at man undersøger om betonen i de bygværker man vedligeholder er disponerede for AKR og frostska-

- **Agtpågivenhed for direkte og indirekte tegn på begyndende skader**

Man skal være opmærksom på de første indirekte tegn: fugt- og kloridophobning i konstruktionen – og direkte tegn på (begyndende) skader: revnedannelser (kan betyde at skaderne er meget fremskredne), revnedannelser i mindre betydelige men mere udsatte konstruktionsdele (kan være et udtryk for generelle betonsammensætning i konstruktionen).

- **Udarbejdelse af en sundhedstest for betonen**

Bygværksejeren kan drage nytte af kendskabet til betonens sammensætning i relation til frost og AKR, samt eks. betonens restreaktivitet. Er betonen følsom blot ved fugttilførsel, eller kræver betonen også et ”tilskud” af alkalier (f.eks. i form af tørsalt)? Hvis bygherren har et AKR-følsomt bygværk, så skal man forhindre fugt- og evt. tilførsel af salte til betonen. En måling af betonens restreaktivitet kan give information om, hvorvidt og evt. i hvilken grad betonen er potentiel alkalikiselreaktiv – eller hvis der er igangværende reaktioner, også hvor stort restpotentiale (restekspansion), der evt. er tilbage i de reaktive korn. En vurdering af betonens frostbestandighed bør ligeledes inkluderes i sundhedsattesten

- **AKR- og frostska-**

der kan **forhindres, forsinkes eller stoppes**
AKR-skader kan bremses – evt. helt stoppes, hvis de for reaktionerne (optimale) forhold fjernes eller reduceres væsentligt. Dog skal man ikke forvente et momentant stop i reaktionerne blot fordi f.eks. fugttilførselen stoppes – effekten viser sig hurtigt, men det tager et vist stykke tid før reaktionerne bringes til (næsten) ophør.

Sammenfattende bør bygværksejeren ikke være utryg fordi det erfare, at der skulle være indbygget en eller flere ”AKR-bomber” i de betonkonstruktioner han eller hun forvalter. Man kan sagtens leve med dette forhold i hele bygværkets forventede levetid. Det er dog særdeles vigtigt, at der i forbindelse med eftersyn og vedligehold af udendørs betonkonstruktioner er særligt opmærksomhed på, at forhindre eller reducere en (unødigt) fugt – og ikke mindst saltbelastning mest muligt. For at målrette indsatsen anbefales det at bygværkerne ”screenes” ved, at der udarbejdes en sundhedsattest for de betoner som man mistænker for ikke at leve op til Basisbetonbeskrivelsen og som derved kan være i farezonen. Herved kan indsatsen målrettes mod de bygværker som indeholder potentielle ”bomber”, da det heldigvis ikke er alle bygværker, der ikke kan tåle at stå udendørs.