



Fig. 5. Chlorid migrerer gennem betons overfladelag ved elektro-kemisk afsaltning. Er overfladelaget delamineret, som vist på borekernen, kan chlorid ikke passere revnerne. Delaminering kan findes ved impact-echo og borthugges.

Derved genvinder armeringen sin passivitet, dvs. at armeringen nu er beskyttet mod korrosion som følge af carbonatisering. Disse basiske zoner breder sig stort set koncentrisk ud fra armeringsstængerne.

Elektro-osmose

Den basiske elektrolyt, som placeres på betonens overflade, vil trænge ind i betonen, dels ved kapillarsugning (hårrørsvirkning), dels ved elektro-osmose, der er en elektrolyt-transport som følge af elektriske potentialeforskelle. Den basiske elektrolyt trænger ind i betonens overfladelag parallelt med betonoverfladen. Med passende lang tids realkalisering vil den indtrængende elektrolyt møde de koncentriske zoner, som dannes omkring armeringsstængerne ved elektrolyse. Dermed er realkaliseringen fuldstændig.

Overfladebeskyttelse

Når der er opnået en tilfredsstillende realkalisering af betonen, resterer en rensning af betonoverfladen, fx med højtryksspuling.

Er der anvendt en opløsning af calciumhydroxid som elektrolyt, må betonoverfladen beskyttes med carboniseringsbremsende maling. Ellers fortsætter carbonatiseringen, idet calciumhydroxid vil reagere med luftens kuldioxid med fortsat carbonatisering til følge. Betonoverfladen må derfor beskyttes.

Er der derimod som elektrolyt anvendt opløsning af soda, er overfladebeskyttelse ikke nødvendig. Soda vil på længere sigt omdannes til natriumbicarbonat ved indtrængning af CO₂, og porevæsken i betonen vil få en pH-værdi over 10,3. Det vil stadig beskytte armering mod rustdannelse.

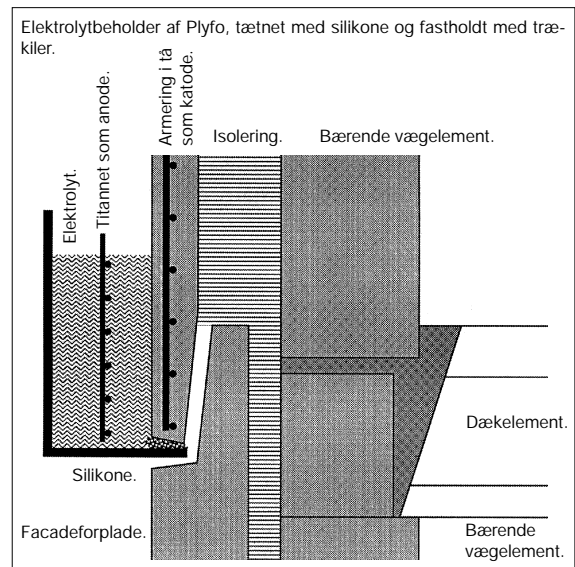


Fig. 6. Eksempel på et arrangement for elektro-kemisk realkalisering af carboniseret »tå« af et facadeelements forplade. Her påsættes en beholder til elektrolyt og anode, men der er også andre muligheder.

Soda kan dog ikke altid anvendes som elektrolyt. Indeholder betons sandtilslag over 1–2% porøs flint vil alkalireaktion kunne fremmes.

Der findes forskellige typer carboniseringsbremsende overfladebeskyttelse på det danske marked. Dog skal man være opmærksom på Arbejdstilsynets krav med hensyn til produktets kodenummer. Et egnet materiale kan fx være en énkomponent, vandig copolymer med kodenummer 00-1.

Praktiske erfaringer

Størst erfaring med elektro-kemisk realkalisering findes i udlandet, fx Norge, England, USA og Japan. Siden 1988 er der foretaget elektrokemisk reivering af ca. 250.000 m² betonoverflade, heraf alene ca. 80.000 m² i 1995. I Danmark er erfaringerne gode for de gennemførte projekter.

Historisk udvikling

Elektro-kemisk realkalisering er en forholdsvis ny reiveringsmetode for beton. Noteby (Norsk Teknisk Byggekontrol) udviklede metoden, der blev patenteret i 1986. Fosroc NCT (Norwegian Concrete Technologies) fører metoden videre og har licenshavere i Europa (også Danmark), USA og Japan.

Forundersøgelser

Inden realkalisering iværksættes, skal der foretages en undersøgelse af betonen. Denne undersøgelse har to formål:

- Dokumentation af hvor dybt betonen er carbonatiseret. Denne viden skal dels anvendes til planlægning af realkaliseringen, dels til senere at bestemme realkaliseringens effektivitet.

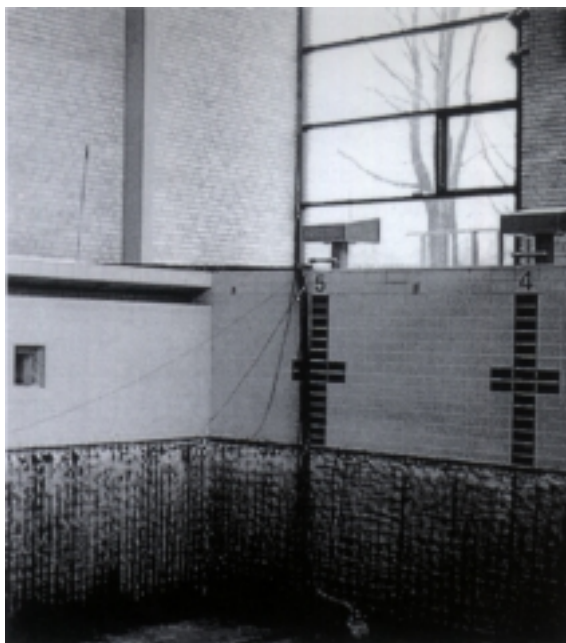


Fig. 7. Hvor det er store betonflader, der skal realkaliseres eller afsaltes (chloridudtrækning), påsprøjtes en gennemvædet cellulosemasse (elektrolyt), hvori anoden placeres, jf. figur 10. Metoden er egnet til chloridudtrækning i svømmebassiner og til realkaliserings af facader.

- Konstatering af hvilke skader og defekter, der findes i betonen. Det kan fx være begyndende rust på armeringen og delaminering af betonen. Det er vigtigt for den rette renovering at konstatere, om betonen lider af andre »betonsygdomme«. Er dét tilfældet, skal renoveringen rette sig derefter.

Det har stor betydning for renoveringens succes at man har kendskab til om betonen har andre skader end dem, der hidrører fra carbonatiseringen. Har betonen fx svage tegn på alkalikiselreaktion, kan det få betydning for valg af elektrolyt.

Realkaliseringen

Når resultatet af forundersøgelsen foreligger, kan man igangsætte betonens realkaliseringsproces. Inden da skal det sikres, at betonens armering er i metallisk kontakt overalt, således at realkaliseringsprocessen bliver effektiv. Der gennemføres altid kvalitetssikring, som omfatter følgende:

- Spænding og strømstyrke registreres løbende.
- Elektrolytten kontrolleres og efterfyldes, når det er påkrævet.
- Borekerner udtages ca. én gang om dagen fra betonen. De analyseres for at konstatere hvordan fremskridt i realkaliseringsprocessen foregår.

Dokumentationen

Når den løbende kontrolprøvning af betonoverfladen viser, at betonens alkalitet er genvundet, udbores betonkerner til endelig dokumentation af realkaliserings-

ingen. Valg af udtagningssteder for betonkerne og udbores boret bør udføres af et betonlaboratorium, der er akkrediteret af DANAK (dansk akkreditering) til bestemmelse af betons alkalitet ved prøvning med phenolphthalein (farveindikator), eventuelt pH-profil eller OH-profil. Kontrolprøvningen sker på stedet og i overværelse af tilsynet.

Ud fra måling af den opnåede realkaliseringsgrad af betonoverfladen kan det afgøres, om realkaliseringsprocessen har virket tilstrækkeligt længe.

Målet er, at beton skal rød farves mindst 40 mm rundt om armeringsstængerne ved påsprøjtning af en udboret kernes brudflade med phenolphthalein.

Behov for realkaliserings i Danmark

Facader af beton er udsat for udbredt carbonatisering. Specielt facadeelementer, der forinden afsluttes med en »tå«, er særlig udsat. På tåens bagside er betonen beskyttet mod slagregn og carbonatiserer derfor ret hurtigt. Med det v/c-forhold, som normalt anvendes for facadeelementer, er en carboniseringsdybde på 20–30 mm i løbet af ca. 20 år ikke unormalt. På tåens forside carbonatiserer betonen langsomt, da betonen er udsat for slagregn og drivende regnvand fra facadeelementet.

Armeringen i tåen oplever da, at rustbeskyttelsen ophæves på grund af carbonatiseringen bagfra, og at der forfra trænger fugt ind og gennemvæder tåens beton, således at der nu bliver gode betingelser for rustdannelse med sprængning af tåen til følge.

Der er næppe grund til at realkalisere hele facaden, men der er mulighed for en lokal realkaliseringsproces af tåen. Det praktiske arrangement af realkaliseringsprocessen afhænger af den geometriske udformning af tåen og specielt af tolerancen.

Andre muligheder for at renovere facaden er at skære tåen bort og indlægge en udfyldning, der vil



Fig. 8. Søjler, der skal realkaliseres eller afsaltes (chloridudtrækning), omvikles med gennemvædet tekstil (elektrolyt), hvori anoden placeres.



Fig. 9. Korrosion af armering som følge af chloridangreb kan på kort tid skade armeringen således, at borthugning og udskiftning af beton og armering bliver mere aktuell end renovering med elektro-kemisk chloridudtrækning.

vise sig som et vandret bånd i facaden. Dette vil dog ikke altid harmonerer med bygningens arkitektur.

Referencer

Der er som sagt realkaliseret mange bygværker i udlandet med elektro-kemisk realkaliseret, men i Danmark er der endnu ikke så mange bygværker, som er blevet behandlet med denne renoveringsmetode. Resultaterne har været fuldt tilfredsstillende, ganske som andre steder. Følgende bygværker i Danmark med carbonatiseret beton er blevet realkaliseret:

- Udvendigt trappehus, Silkeborghus. Tilsyn DAI, Dansk Arkitekt- & Ingeniørkontor, 1990.
- Engelund Skole, Randers. Tilsyn COWI, 1989.

Litteratur om elektro-kemisk realkaliseret

Der findes en omfattende teknisk litteratur om emnet, blandt andet kan følgende nævnes:

- Poulsen, Ervin.: "Realkaliseret af carbonatiserede betonoverflader ved elektro-osmose". Dansk Beton nr. 4:1988.
- Roti, Jan: "Elektrochemische Verfahren zur Betoninstandstellung". Schweizer Ingenieur und Architekt. Heft Nr. 18, 1994.
- Sørensen, Ruth: "Elektrokemiske reparationsmetoders anvendelse i forbindelse med korrosion af armering i beton". Erhvervsforskningsprojekt, Ph.D., EF307, ATV.

Elektro-kemisk chloridudtrækning

Porøs beton, som i længere tid har været i kontakt med chloridholdige omgivelser, vil komme til at indeholde chlorider. Chlorider er meget aggressive over for den armering, som skal sikre betonkonstruktionens bæreevne, og armering i chloridholdig beton kan ruste bort på meget kort tid. Chlorid kan dog ikke skade selve betonen, med mindre chloridindholdet

bliver meget stort, dvs. meget større end det der ellers får armeringsstænger til at ruste.

Konstruktioner med chlorid

Chlorid findes overalt og der bliver anvendt meget chlorid i et moderne samfund. Chlorid anvendes i levnedsmiddelindustrien, som tørsalt til glatførebekæmpelse, og det findes som bestanddel i svømmebadsvand. Der er også chlorid i naturen, fx som den aggressive bestanddel af havvand.

Derfor er betonkonstruktioner som fx motorvejsbroer, P-dæk, altangange, svømmebassiner og bygværker i havne samt bygninger nær en kyststrækning typiske eksempler på betonkonstruktioner, der kan være udsat for chloridangreb.

Fjernes inden armering rustet

Verden over tegner chlorider sig for et betydeligt antal betonskader. I Danmark konstaterer man også mange skader som følge af chloridangreb. Kun ved periodevis og omhyggelig inspektion af betonbygværker, som befinder sig i chloridholdige miljøer, kan man konstatere begyndende chloridangreb inden skaderne bliver så udbredte, at en renovering bliver så kostbar, at det må overvejes at bygge nyt i stedet for at renovere.

Får chloridangrebet først fat, går det stærkt, og armering rustet bort. Inden da har armeringen mistet trækraft og sejhed, og bygværkets brudsikkerhed vil ikke længere normmæssigt være tilstrækkelig. Inden det kommer dertil, kan betonen dog renoveres, og bygværket derved reddes.

Elektro-kemisk udtrækning

Udtrækning af chlorider fra beton er teoretisk set ret simpel. Chlorider er ioner med negativ ladning. Beton er porøs, og denne porøsitet er mere eller mindre fyldt med fugt. De negativt ladede chloridioner er



Fig. 10. Påsprøjtning af elektrolytvædet cellulosemasse er en simpel proces. Dog kræver påsprøjtning beskyttelse mod kraftig vind. Dette kan fx være aktuelt ved elektro-kemisk realkaliseret af boligbyggeri i flere etager.

derfor opløst i betonens porevæske (fri chlorider), men der er dog en del chlorider, som er kemisk eller fysisk bundne til betonens kitmasse.

Den elektro-kemiske metode går da ud på at trække disse negative ioner ud af betonen, idet det udnyttes, at de negative chloridioner frastødes af en negativ (elektrisk) spænding og tiltrækkes af en positiv. Man påtvinger derfor betonens armering en negativ spænding og belægger betonens overflade med våd tekstil, papmaché eller lignende, hvori der anbringes et titannet, som man giver en positiv spænding.

Resultatet er da, at chlorider i betonen frastødes af den negative armering og tiltrækkes af det positivt ladede titannet på betonoverfladen. Der påsættes en strømstyrke på ca. 1 A/m² betonoverflade og i løbet af 4 til 8 uger vandrer chloriderne derfor fra betonen og ud i det tekstil eller den papmaché, som ligger på betonoverfladen.

Når det er konstateret, at chloridudtrækningen har været tilfredsstillende, fjernes tekstilet med de udtrukne chlorider, og reoveringen er færdig. Derefter resterer en rensning af betonoverfladen, og påføring af en chloridtæt overfladebeskyttelse for at imødegå fremtidig chloridindtrængning. Chloridtæt membran kan kun undværes, hvis chloridpåvirkningen kan fjernes på anden måde, fx ved at lade være med at påføre chloridholdige glatførebekæmpelsesmidler.

Der findes flere chloridtætte membraner på det danske marked. Vejdirektoratet har ladet udvikle en prøvningsmetode til bedømmelse af den chloridbremsende evne hos overfladebeskyttelse til beton.

Praktiske erfaringer

Der er størst erfaring med elektro-kemisk chloridudtrækning i udlandet, fx Norge, England, Østrig, USA og Japan.

I Danmark er erfaringerne med metoden gode, hvis der for chloridholdig beton gribes ind i tide, dvs. inden armeringen er begyndt at ruste, så betonen derved revner, delaminerer og dæklag over armeringen eventuelt afsprænges.

Beton, der er delamineret som følge af chloridangreb, skal først fjernes og repareres, inden den elektro-kemiske udtrækning af chlorid kan blive effektiv i praksis.

Har chloriderne været til stede så længe i betonkonstruktionen at store partier af armeringen er bortrustet, kræves ikke alene reparation af betonen og udtrækning af chlorider, men også ofte forstærkning af betonkonstruktionen. Det kan derfor være meget dyrt at opdage chloridangreb for sent.

Historisk udvikling

Elektro-kemisk udtrækning af chlorid fra beton blev først anvendt i USA i 1976. Der var imidlertid så mange



Fig. 11. Elektro-kemisk chloridudtrækning, kan vare op til 8 uger (det afhænger af betonens chloridindhold og tæthed). Den påsprøjtede cellulosemasse må ikke under processen udtørre og skal derfor vådholdes.

praktiske problemer med metoden, at den forblev på forsøgsstadiet.

Elektro-kemisk chloridudtrækning blev derefter videreudviklet sidst i 1980'erne i Norge. Metoden må i praksis stort set anses for færdigudviklet, men der sker dog stadig forbedringer.

Elektro-kemisk chloridudtrækning er patenteret af Norwegian Concrete Technologies, Fosroc. Derfor omtales metoden ofte som NCT-metoden.

SHRP-projektet

I USA er der gennemført et stort forsknings- og udviklingsprogram på betonområdet under betegnelsen SHRP. Det er en forkortelse for "Strategic Highway Research Program". Der er tale om det største FoU-program indtil dato inden for reovering af skadede betonkonstruktioner.

SHRP omfattede både undersøgelser i laboratoriet og i felten. For den der ønsker nærmere oplysning om NCT-metoden er SHRP rapporten, som er på over 200 sider, et værdifuldt værk, der dokumenterer metodens anvendelighed i praksis.

Forundersøgelser

Inden chloridudtrækning iværksættes, foretages en undersøgelse af betonen. Denne undersøgelse har tre formål:

- En dokumentation for hvor langt, der er trængt chlorid ind i betonen. Denne viden skal dels anvendes til planlægning af chloridudtrækningen, dels til senere at bestemme chloridudtrækningens effektivitet.
- Bestemme betonens chloriddiffusivitet. Resultatet kan blandt andet være afgørende for planlægning af chloridudtrækningen.
- Konstatation af de skader og defekter betonen har. Det kan fx være begyndende rust på armering og



Fig. 12. Slutkontrol med den opnåede realkalisering eller chloridudtrækning sker ved analyse af udborede kerner fra konstruktionen. Det sker ved prøvning med phenolphthalein eller bestemmelse af det opnåede chloridprofil.

delaminering af beton. Det er meget vigtigt for den rette renovering at det også konstateres, om betonen lider af andre "betonsygdomme". Er det tilfældet, skal renoveringen rette sig derefter.

Det har stor betydning for renoveringens succes, at man har kendskab til, om betonen har andre skader end dem, der hidhører fra chloridangreb. Har betonen fx svage tegn på alkalireaktion, kan det få betydning for valget af elektrolyt.

Chloridudtrækningen

Når resultatet af forundersøgelsen foreligger, kan chloridudtrækning igangsættes. Inden skal det sikres, at betonens armering er i metallisk kontakt overalt, således at chloridudtrækningen bliver effektiv.

Under chloridudtrækning gennemføres kvalitetsstyring, der omfatter følgende:

- Spændinger og strømstyrker registreres løbende.
- Elektrolytten om anoden på betonens overflade kontrolleres og efterfyldes, når det er påkrævet.
- Pulverprøver udtages løbende af betonoverfladen. De analyseres for at konstatere fremskridt i chloridudtrækningen.

Dokumentationen

Når den løbende kontrolprøvning af betonoverfladen viser at betonens chloridindhold er passende nedbragt, udbores betonkerner til endelige dokumentation for chloridudtrækningen. Disse betonkerner sendes til et betonlaboratorium, der af DANAK er akkrediteret til bestemmelse af betons chloridprofil. Ud fra måling af den opnåede chloridudtrækning kan det afgøres, om chloridudtrækningen har været i tilstrækkelig lang tid.

Målet er, at betonens chloridindhold er passende under den kritiske værdi, dvs. 0,05 til 0,06% af betonens masse efter redistribution, når den chloridbremsende membran har siddet en vis tid. Bedre, men

mere omstændeligt, er det at måle og vurdere de tilbageblevne frie chlorider i betonen.

Referencer

Der er foretaget elektro-kemisk chloridudtrækning på mange bygværker i udlandet. I Danmark er der ikke mange bygværker, som er blevet renoveret på denne måde. Renovering af chloridholdig beton ved elektro-kemisk chloridudtrækning er blevet foretaget i følgende bygværker i Danmark:

- Bropille for motorvejsbro over Slotsherrensvej. Københavns Amt. Tilsyn: AEC.
- Svømmebassin, Virum. Lyngby-Tårnbæk Kommune. Tilsyn: AEC.
- Vægge i tunnel under Bernstorffsvej. Broområdet, Vejdirektoratet. Tilsyn: Vejdirektoratet.
- Altansøjler i boligbyggeri, Vanløse. Lønstrupgård. Tilsyn: i-68.

Litteratur om chloridudtrækning

Der findes en omfattende teknisk litteratur om emnet, blandt andet:

- Poulsen, E. et al.: "Elektro-kemisk chloridudtrækning af beton". 1988 Dansk Beton nr. 3.
- Bennett, J. et al.: "Evaluation of NORCURE Process for Electrochemical Chloride Removal from Steel Reinforced Concrete Bridge Components". SHRP-C/URF. 1992 Washington, DC.
- Sørensen, Ruth: "Chloridudtrækning, nye forskningsresultater – Et alternativ til katodisk beskyttelse". Dansk Selskab for Materialeprøvning og -forskning. 1993.
- Sørensen, Ruth: "Elektrokemiske reparationsmetoders anvendelse i forbindelse med korrosion af armering i beton". Erhvervsforskningsprojekt, Ph.D., EF307, ATV.

Diskussion og konklusion

CEN, den europæiske Standardiseringsorganisation, har skrevet en europæisk standard prENV 1504-9 om: "Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Part 9: General principles for the use of products and systems".

Heri er de elektro-kemiske metoder medtaget. Andre renoveringsmetoder som katodisk beskyttelse af armering og naturlig realkalisering ved diffusion er medtaget i prENV 1504-9. Inden der foretages et valg af renoveringsmetode, bør alle muligheder dog undersøges og vurderes ud fra teknisk-økonomiske kriterier samt bygværkets tilstand.

Hensigten med denne artikel er at informere om Fosroc NCT's renoveringsmetoder, der er mindre kendte i Danmark end i udlandet, hvor de anvendes med gode resultater både teknisk og økonomisk.