

Rapid Chlorid Test RCT-metoden

Måling af betons chloridindhold på byggepladsen



Claus Germann Petersen,
akademingeniør,
Gardmerc



Anker J. Hansen,
dr. med.

Baggrund

Forekomst af chlorider i beton mindsker betonens evne til at modstå vekselvis frysning og optøning i vandmættet tilstand. Dette gælder også for luftindblandet beton. I armeret beton vil forekomst af chlorider i betonen endvidere medføre, at armeringens naturlige passivitet nedbrydes, og armeringen derfor kan begynde at korrodere. Ud over, at armeringen svækkes, kan betonen delaminere og armeringens dæklag kan afsprænges som følge af korrosionsprodukternes større volumen.

Chlorider i bærende konstruktioners beton kan derfor betyde mindsket brudsikkerhed. Desuden kan forvitringen af betonoverfladen medføre, at skadevirkningen forøges betydeligt.

Chlorider kan enten være tilført betonen med delmaterialerne eller være trængt ind i betonen fra chloridholdige omgivelser.

Sømaterialer, især søsand, indeholder chlorider; sømaterialer vil derfor altid bidrage til betonens chloridindhold. De største chloridtilskud til beton i

blandefasen var dog tidligere den dengang accepterede anvendelse af chloridholdige tilsætningsstoffer, f.eks. acceleratore. Med basisbetonbeskrivelsen fra 1987 og revisionen i 1990 af betonnormen, DS 411, er anvendelse af tilsætningsstoffer med betydelige chloridindhold imidlertid ikke længere tilladt.

Chlorider kan tilføres betonkonstruktioner i chloridholdige miljøer på flere måder. Beton i marine miljøer modtager chlorider fra havvand og bølgesprøjt, men luftbårne chlorider (blæst og havgus) giver også et mærkbart bidrag til betonoverfladens chloridpåvirkning. Udendørs betonkonstruktioner nær en kyststrækning, især de vestvendte facader, modtager til stadighed luftbårne chlorider. Svømmebads vand vil som regel indeholde chlorider, og i industrien (slagterier) arbejdes der meget med saltvand. Svømmebassiner, beholdere og rørledninger af armeret beton og som indeholder eller fører saltvand, er derfor udsat for chloridindtrængning. Størst chloridpåvirkning stammer imidlertid fra glatførebehandling med chloridholdige tilsalte. Denne påvirkning kan skade f.eks. betonbelægninger, broer og parkeringshuse i betydeligt omfang.

Det kritiske chloridindhold i beton for frostskaader ses anført til 0,02% af betonmassen (ref. 1), medens det med hensyn til armeringskorrosion hævdes at ligge mellem 0,02% og 0,05% af betonmassen, afhængig af forholdene (ref. 2). Nogen fast grænse synes der dog ikke at være enighed om.

Måling af betons chloridindhold foretages på udtagne betonprøver, oftest

udborede betonkerner, jvf. DS 423.28. Prøvningsstandarder anfører, at udtagne prøver opskæres, nedknuses og opløses i syre, hvorefter chloridindholdet bestemmes ved titrering. Dette kan kun foretages på et laboratorium. Derfor indebærer denne undersøgelse en lang arbejds gang fra afmærkning af prøvested, over udboring af betonkerner, indsendelse til laboratorium, opskæring af kernerne, pulverisering, titrering og rapportering til fremsendelse af prøvningsrapport til opdragsgiveren. Endvidere er prisen for en chloridprøvning efter denne fremgangsmåde betragtelig. Endelig er det arbejds- og tidskrævende, hvis supplerende målinger ønskes udført. Hertil kommer, at andre prøvningsmetoder anvendelse til prøvning af konstruktionen ikke ses i øjeblikkelig sammenhæng med chloridmålingerne. En naturlig og rationel arbejdsrytme i bedømmelse af betonkonstruktioners kvalitet brydes derved.

Rapid Chloride Test, RCT-metoden

Som et alternativ til den traditionelle fremgangsmåde er den såkaldte Rapid Chloride Test eller RCT-metoden blevet udviklet af GERMANN INSTRUMENTS A/S i 1987 og siden gennemprøvet, vurderet og anvendt såvel i Danmark som i andre lande.

Måling af chloridindholdet i en betonprøve kan ved RCT-metoden foretages på stedet i løbet af 10 minutter. Derved bliver det f.eks. muligt at fastlægge en kontrolprøvnings stikprøvestørrelse under prøveudtagningen. Desuden kan valg af supplerende undersøgelser foretages efter behov uden generende afbrydelser. Endelig

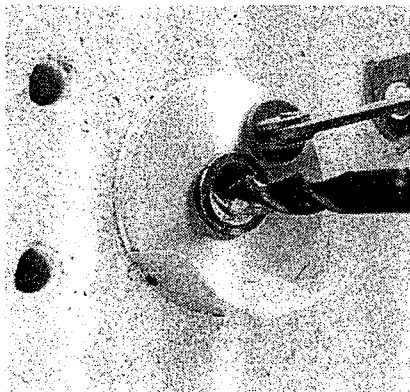
kan prøvningsresultaterne ses i sammenhæng med kontrolmålinger fra andre in-situ test prøvningsmetoder, således at bedømmelsen af betonkonstruktioners tilstand kan ske ved en helhedsbetragtning og ikke ved nogle få, énsidigt indhentede resultater. Det kan f.eks. være betydningsfuldt for helhedsvurderingen, sideløbende at kunne vurdere resultaterne fra en EKP-måling og måling af den elektriske modstand med målinger af både carboniseringsdybden og betonens chloridindhold.

I det følgende beskrives RCT-metoden, rapporterede sammenlignende analyser til laboratoriemålinger anføres og erfaringer med RCT-metodens anvendelse omtales sammen med mulige fejlkilder.

RCT-proceduren

Fremgangsmåden ved en RCT-måling er som beskrevet i det følgende:

Trin 1. Boremel udtages af betonkonstruktionen ved boring med hammer-



Figur 1. Udtagning af boremel med 18 mm hammerbor.

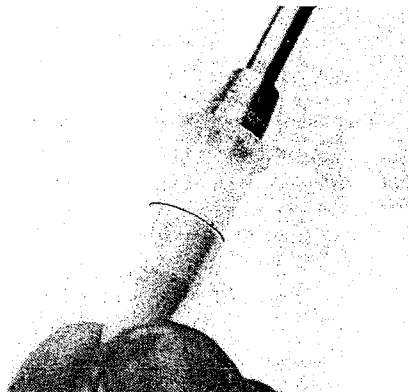
bor. Til en hurtig orienterende overflademåling bores med et 8 mm bor, påsat støvsamler.

Til egentlig måling og måling af chloridprofiler anvendes et 18 mm bor med en specialbygget støvpande, jvf. figur 1. Der bores tre steder, ca. 10 cm fra hinanden, således at der opnås ca. 10 g boremel. Ved anvendelse af støvpanden sikres det, at der kun opsamles boremel fra bunden af boret. Derved bliver det muligt at bestemme betonens chloridprofil, dvs. betonens chloridindhold i afhængighed af afstanden fra betonoverfladen.

Trin 2. Boremelet hældes i en tæt plastpose og blandes til en homogen masse. En ampul opstamps med boremel til en rød linie, der indikerer påfyldning af 1,5 g boremel, jvf. figur 2.

Trin 3. De 1,5 g boremel i ampullen hældes i en plastflaske med 10 ml chloridudtrækkervæske, jvf. figur 3, og rystes i 5 minutter.

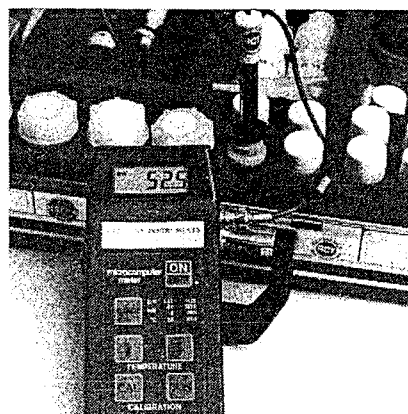
Trin 4. En kalibreret, chloridfølsom



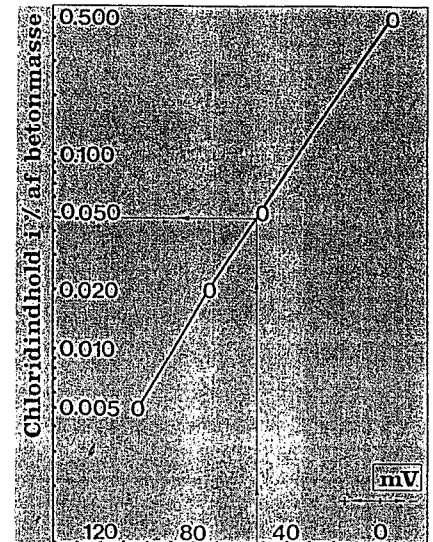
Figur 2. Opstamping af boremel til 1,5 g indikeringslinie.



Figur 3. Ihældning af 1,5 g boremel i plastflaske; herefter rystning i 5 minutter.



Figur 4. Måling af millivoltværdi med chloridfølsom membranelektrode.



Figur 5. Bestemmelse af betons chloridindhold som % af betonmassen. Aflæsning på 52,5 mV svarer til et chloridindhold på 0,047% af betonmassen.

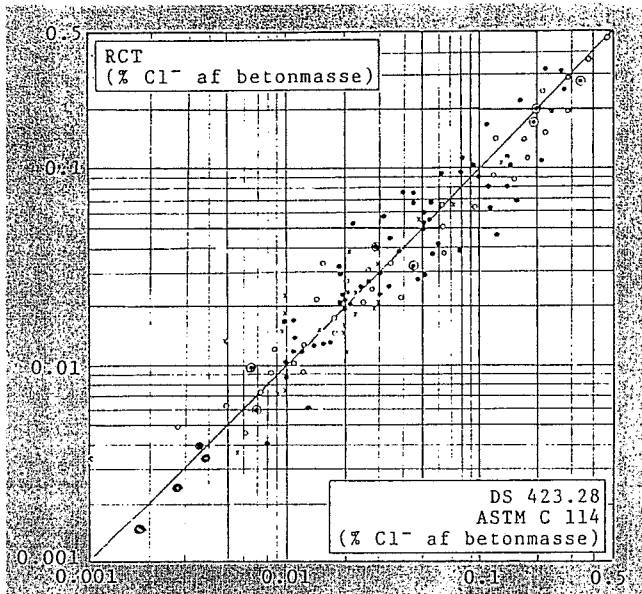
membranelektrode tilsluttes et millivoltmeter og føres ned i væsken, jvf. figur 4. Når aflæsningen på millivoltmeteret er stabil, aflæses værdien, som plottes på kalibreringskurven, jvf. figur 5. Derved bestemmes chloridindholdet i % af betonens masse. I ovennævnte eksempel svarer en aflæsning på 52,5 mV til et chloridindhold på 0,047% af betonmassen.

Før målinger påbegyndes og efter en måleserie er afsluttet, kalibreres elektroden ved fire kalibreringsvæsker med henholdsvis 0,005%, 0,020%, 0,050% og 0,500% chloridioner. Kalibreringskurven skal være stabil som vist i figur 5.

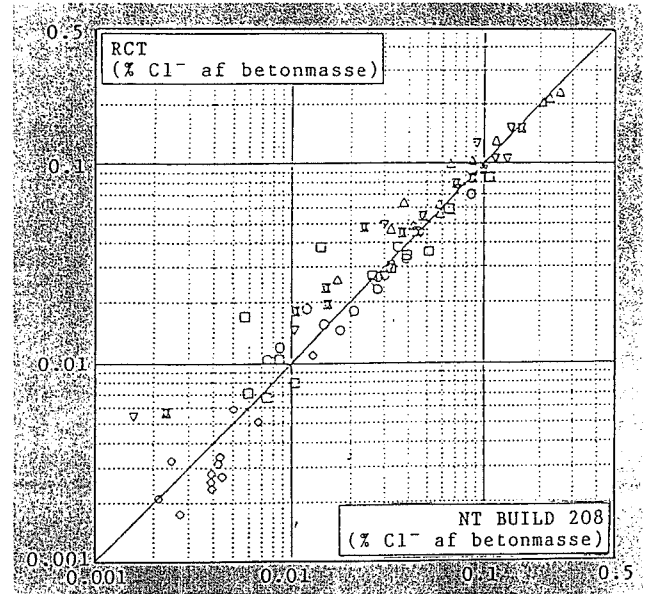
Det generelle princip ved en RCT-måling er således at kalibrere elektroden ved kendt chloridindhold i væsker, hvis omgivelser svarer til målevæskens. Før selve målingen foretages, sørger målevæsken for, at fremmede ioner, der kan forstyrre chloridmålingen — først og fremmest sulfider — er fjernet. Væsken er sammensat således, at selv anvendelse af op til 85% slagge i betonens cement ikke virker forstyrrende på chloridmålingens nøjagtighed.

Sammenlignende analyser

I Danmark, Sverige, Finland og Canada er RCT-metoden i de sidste tre år blevet sammenlignet med standardiserede titreringer, ionkromatografi og autoanalyser (på murværk) som vist i



Figur 6. RCT-resultater sammenlignet med resultater fra titrering efter DS 423.28 (ref. 2) og ASTM C 114.



Figur 7. RCT-resultater sammenlignet med resultater fra titrering efter NT BUILD 208 (ref. 3).

figurerne 6 til 9. I disse figurer er linierne under 45° kun medtaget for sammenligningens skyld.

Analyserne i figur 6 og 7 er udført ved at sammenligne RCT-metodens resultater med måleresultater fra kerner, udboret i nærheden af de støvprøver, der er udtaget til RCT-målinger.

De i figur 6 viste sammenligninger er udført af COWIconsult (O), Birch & Krogboe (●), Dansk Teknologisk Institut (⊙) og det canadiske prøvningsinstitut, Trow Ltd. (×).

Analyserne i figur 7 er udført af Helsingfors Teknologiske Universitet.

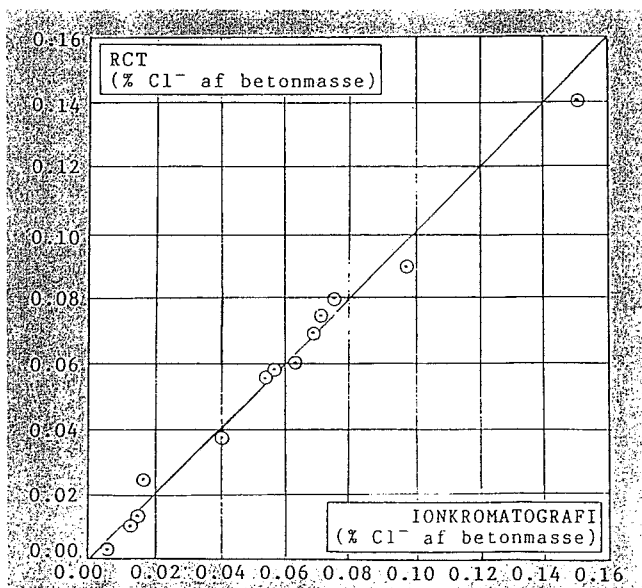
Resultaterne i figur 8 er fremkommet ved at sammenligne RCT-målinger og ionkromatografiske målinger på prøver af samme nedknuste beton. Analyserne er foretaget af Statens Provningsanstalt i Stockholm.

Figur 9 viser resultater fra målinger foretaget på murværk (teglsten). I den viste sammenligning er der medtaget resultater fra prøver med op til ca. 2% chloridindhold. Analyserne er udført af Danmarks Tekniske Højskole.

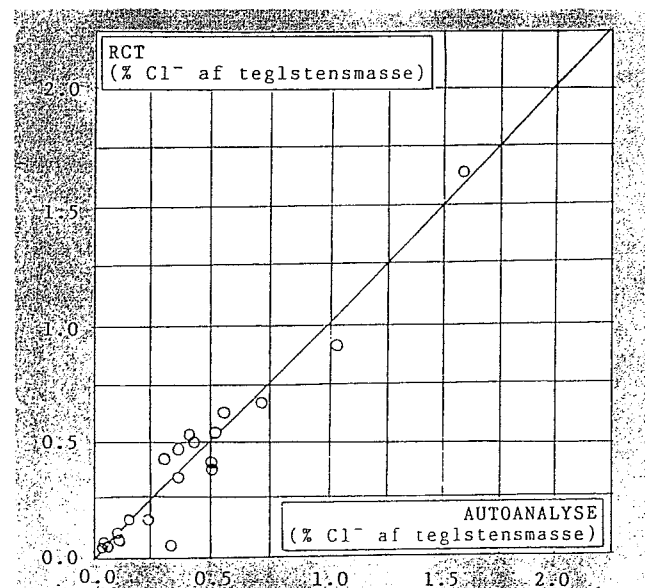
Praktiske erfaringer med RCT-metoden

De første 3 års erfaringer kan resumeres på følgende måde:

1. Chloridindholdet skal i henhold til eksisterende standarder bestemmes i forhold til betonens masse. Efter eksisterende betonnormer vurderes betons chloridindhold derimod i forhold til betons indhold af hydraulisk bindemiddel — ikke helt logisk!



Figur 8. RCT-resultater sammenlignet med resultater fra ionkromatografi (ref. 4).



Figur 9. RCT-resultater sammenlignet med resultater fra autoanalyser (ref. 5).

I en betonprøve skal tilslaget være medtaget repræsentativt i boremelet. Ved RCT-metoden søges dette gjort ved at specificere, at der bores med 18 mm bor tre steder med en indbyrdes afstand på 10 cm og i en dybde af ca. 15 mm. Herved opnås, at stenene i betonen i normal beton er repræsentativt til stede i de udborede, ca. 10 g boremel. Er betonen carboniseret, vil den største chloridkoncentration i betonen normalt ligge i carboniseringsfronten. Ønsker man at bestemme betonens største chloridindhold, må man derfor enten bestemme chloridprofilen eller måle betonens chloridindhold fra carboniseringsfronten og ca. 15 mm ind.

2. Jo finere boremel, der udtages, desto hurtigere går chloridudtrækningen under omrystningen. Det tilrådes derfor at anvende en let kraft på hammerboret under boringen; derved bliver boremelet passende fint, dvs. med en partikelstørrelse på ca. 0,05 mm.
3. Hvis boremelet er vådt efter udtagningen, bør det tørres natten over på et stykke alufolie. Almindeligvis sikres tørt boremel dog gennem tilførelse af den varme, som udvikles af energien fra hammerboringen.
4. Afmålingen af de krævede 1,5 g boremel foretages ved en volumetrisk bestemmelse, hvor en ampul opstemples til en rød indikationslinje. Hårdheden og nøjagtigheden af opstampningen vil påvirke prøvens masse. Det anbefales i starten at veje borestøvet, når opstampningen er foretaget, således at den fornødne erfaring kan opnås. Endvidere anbefales det også at udføre to målinger fra samme boremel for ved selvsyn at konstatere variationer som følge af opstampningen. Når operatøren er blevet øvet, kan afmåling ske med en nøjagtighed på $\pm 2,5\%$.
5. Tiden for rystningen af chloridudtrækkerflasken, iblandet boremel, er sat til 5 minutter. Undersøgelser har vist, at en rystetid på 3 minutter almindeligvis er tilstrækkelig for fin-kornet boremel; dog kræver stor-kornet (partikelstørrelse ca. 0,15 mm) boremel 5 minutters rystetid, før chloriderne er trukket ud i væ-

sken. Automatisk rysteudstyr for 25 analyseprøver er til rådighed.

6. Omgivelsernes temperatur vil påvirke chloridelektrodens karakteristika, hvorved kalibreringskurvens beliggenhed vil parallelforskydes. For en forskel i temperaturen på 30 °C vil parallelforskydningen være 4-6 millivolt. Dette fænomen har imidlertid ingen betydning for nøjagtigheden af målingen, blot målevæskens temperatur er den samme som kalibreringsvæskernes.
7. Den chloridfølsomme membran-elektrodes korrekte funktionering kontrolleres ved kalibreringen. Hvis membranen ridses eller ætzes, vil kalibreringskurven ændre afgørende karakter. I så fald må en ny elektrode anskaffes. Til at hindre ridsning fra borestøvet under måling, er elektroden forsynet med en stopring, der sikrer, at membranen under målingen befinder sig i den øvre del af målevæskens og ikke i bunden, hvor borestøvet placerer sig. Ættsning af elektroden kan foregå, hvis væsken sidder tilbage på membranen og elektroden lagres over en længere periode. Membranen bør derfor rengøres omhyggeligt med destilleret vand efter måling og/eller anbringes i destilleret vand, hvis den ikke benyttes. Ændres hældningen på kalibreringskurven, kan det skyldes, at membranen er forurenset. Den kan i så fald regenereres ved slibning. En elektrode kan, når den vedligeholdes korrekt, måle 3000 til 5000 gange, før den skal udskiftes.
8. Kalibreringsvæskerne kan forurennes med chlorider efter længere tids brug. Herved ændres hældningen på kalibreringskurven også. Til konstatering heraf anbefales det altid at have ét ekstra sæt ubrugte kalibreringsvæsker i reserve.

Anvendelsesområder

RCT-metoden anvendes i dag til på stedet at måle betons chloridindhold, herunder også betonens chloridprofiler. Det sker i forbindelse med anvendelse af f.eks. EKP-måling og måling af den elektriske modstand, såvel ved særeftersyn som ved detailundersøgelser. Endvidere ses metoden ofte anvendt til at bestemme, hvor meget beton, der skal fjernes i forbindelse med en reparation. Desuden anvendes RCT-

metoden til på stedet at måle effektiviteten af en elektro-kemisk chloridudtrækning fra chloridholdige betonkonstruktioner.

Siden 1987, hvor metoden første gang blev taget i anvendelse, er den også blevet udviklet til måling af chlorider i blandt andet slamvand fra betonfabrikker og i frisk beton som led i kontrolprøvning af beton.

Basisbetonbесkrivelsen og betonnormen, DS 411, kræver kontrolprøvning af betons chloridindhold. Med RCT-metoden vil kontrolprøvning af frisk beton kunne foregå på byggepladsen og, hvad der ikke er uvæsentligt, resultater kan foreligge, inden betonen skal udstøbes i formen.

Konklusion

Med RCT-metoden er det muligt hurtigt og på stedet at gennemføre et stort antal målinger af en betonkonstruktions chloridindhold. Nøjagtigheden af målingen svarer praktisk taget til den nøjagtighed, der opnås med den standardiserede titrering i laboratoriet.

Praksis har da også vist, at RCT-metoden accepteres sideordnet med de standardiserede titreringer efter DS 423.28. Da metoden endvidere er betydelig billigere og hurtigere, anvendes RCT-metoden også i stigende omfang til praktisk ingeniørbrug.

Referencer

- (1) *Cement och Betong Institutet*. Bestämning av klorid i betong med fältmetoder. Interimsrapport. Stockholm 1984.
- (2) *BPS Centret*. Vejledning: Metoder til undersøgelse af betonkonstruktioner, -altangange. BPS-publikation 56. København 1987.
- (3) *Punkki, J. & Penttala, V.* In-situ determination of chloride content in concrete bridges. Helsinki University of Technology, Department of Civil Engineering. Report no. 96. Helsinki 1988.
- (4) *Molin, C.* Jämförelse av två metoder at bestemme kloridhalten i betong. Statens Provninganstalt, Byggnadsteknik. Stockholm 1989.
- (5) *Larsen, E.S.* Sammenligning af to forskellige kloridmålinger. Danmarks Tekniske Højskole, Laboratoriet for Bygningsmaterialer. Rapport Mursalte. Lyngby 1989.