



**TI-B 60 (87)
Prøvningsmetode
Måling af elektrokemisk potentiale på armeret
beton**

Prøvningsmetode Måling af elektrokemisk potentiale på armeret beton

Deskriptorer:

Elektrokemisk potentiale, armeret beton

Udgave: 1
Dato: Januar 1987
Sideantal: 7
Udarbejdet af: OVA

Prøvningsmetode Måling af elektrokemisk potentiale på armeret beton

1. Formål og anvendelsesområde

Metoden anvendes som et led i en tilstandsanalyse af armeret beton. Metoden kan kortlægge det elektrokemiske potentiale i betonkonstruktioner.

Metoden er baseret på måling af den elektriske spændingsforskel og modstand mellem en referenceelektrode, som er i kontakt med betonens overflade, og armeringsjern.

Metoden er udarbejdet i samarbejde med Korrosionscentralen Jysk Teknologisk og Teknologisk Institut.

2. Referencer

ASTM C 876-80 half cell potentials of reinforcing steel in concrete.

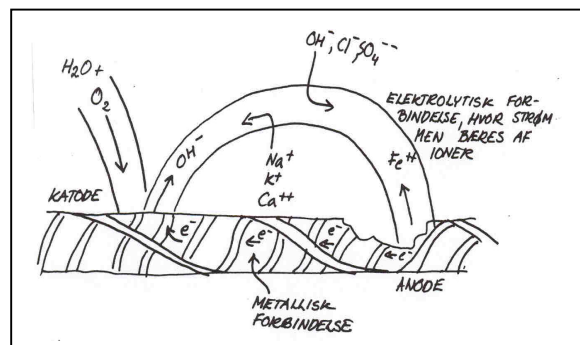
3. Definitioner

Referenceelektrode: I praksis udføres måling af elektrokemisk potentiale (EKP) ved at bestemme den elektriske spænding mellem armeringen og en reference-elektrode. Referenceelektroden består af en kobberstang, der er omgivet af en mættet kobbersulfatopløsning (se afsnit 4.1 under apparatur).

Korrosion: Korrosion af armeringsjern er en elektrokemisk proces, hvor der virker to kemiske processer: En anode- og en katodeproces. Den kemiske reaktion ved anoden består af omdannelse af jern til jern-ioner. Dette kan f.eks. ske, hvor betonens beskyttende egenskaber er nedbrudt på grund af karbonatisering eller tilstedeværelsen af chlorid. Den kemiske reaktion ved katoden foregår på den del af det indstøbte jern, som stadig er beskyttet af det basiske miljø i betonen.

Katodeprocessen er en kemisk reaktion mellem ilt og vand, hvorved der dannes hydroxylioner. Reaktionen sker på grænseflader mellem jernet og en vandig opløsning i betonen.

Potentiale: I denne metode er potentiale et mål for den elektriske spændingsforskel.



Figur 1

Skematisk illustration af lokal korrosion på indstøbt armeringsjern

Grubetæring: Lokal korrosion. Der dannes en lokal grube eller hul i armeringen, hvor tværsnitsarealet reduceres. Især vil revner og utætte støbeskel samt tilstedeværelsen af chlorid kunne give anledning til grubetæring. Denne korrosionsform danner ikke voluminøs rust, og giver normalt ikke anledning til synligt skadebillede på betonoverfladen.

Udbredt tæring: Denne korrosionsform optræder normalt i forbindelse med nedbrydning af betonens korrosionsbeskyttende evne på større områder, f.eks. karbonatisering på konstruktioner med for lille dæklag. Ved udbredt tæring dannes voluminøs rust, der kan sprænge dæklaget.

Elektrokemisk potentiale (EKP): Når armeringsjern korroderer, forløber der elektrokemiske processer, som illustreret ovenfor. Disse procesforløb kan registreres ved en potentialforskel målt mellem et indstøbt armeringsjern og en referenceelektrode i kontakt med betonoverfladen.

Potentialeverdierne er udtryk for den øjeblikkelige korrosionsvillighed af det jern, der er nærmest referenceelektroden.

Potentialeverdierne afhænger desuden af miljøet i betonen omkring armeringen med hensyn til fugt, ilt og kemiske forhold (f.eks. chlorid) - samt betonens tæthed.

Potentialeverdierne ligger typisk mellem -900 mV og +200 mV.

Jo lavere potentialeverdi og des større forskel mellem to punkter (potentiale gradient) desto større sandsynlighed er der for korrosionsaktivitet.

Potentialet af ikke-korroderende jern i sund beton kan variere inden for vide grænser, især afhængig af betonens vandmætning og dermed adgang for luftens ilt. Højt fugtindhold, dvs. lavt iltindhold kan give lave potentialer ned til ca. -900 mV uden at der er korrosion.

Modstand: I forbindelse med hver EKP-måling måles en elektrisk modstand mellem målelektrode og armering.

Modstanden måles med en elektrisk vekselstrøm. Den elektriske vekselstrøm må ikke ændre det elektrokemiske potentiale.

Modstanden er et udtryk for:

- Hvor meget vand, der er i betonen.
- Hvor sammenhængende vandet er (sammenhængende poresystem eller revner).
- Vandets ledningsevne (saltindhold, temperatur).

Den målte modstand afhænger især af modstanden i overfladelaget ved elektroden.

En lav modstand forekommer, når betonen har et højt fugtindhold og er revnet eller er porøs.

Salte og høj temperatur mindsker modstanden.

Høj modstand kan skyldes luftfyldte revner, f.eks. under afskallede pudslag, tør beton eller tæt overfladebehandling.

4. Prøveudtagning

4.1 Apparatur

Måleinstrument og/eller computer/datalogger der kan måle:

Spænding:

Måleområde	± 1 V
Nøjagtighed	± 1 mV
Indgangsimpedans	> 10 Mohm

Modstand:

Måleområde	0-2 Mohm
Nøjagtighed	± 1% af målt modstand, dog min. ± 0,5 kOhm

Måling foregår ved over 200 Hertz vekselstrøm. Vekselstrømmen må ikke ændre det elektrokemiske potentiale.

Overfladetermometer og termometer:

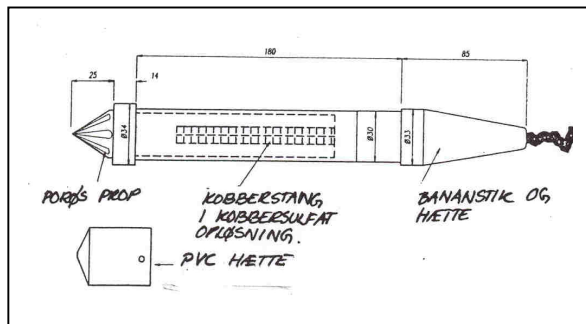
Til at måle temperaturer i og omkring betonen. Aflæsningsnøjagtighed ± 1°C.

Boremaskine: Med bor til beton og stål.

Ledninger: Der bør anvendes skærmede kabler.

Kontaktspyd: F.eks. konisk skrue til at etablere elektrisk kontakt til armeringsjern.

Referenceelektrode: Ren kobber i mættet kobbersulfat. Potentiale = +315 mV mod standardhydrogenelektrode. Holder f.eks. udført i sprøjtstøbt polykarbonat. Porøs prop f.eks. af sintret keramisk materiale. Elektrolyt: Mættet CuSO₄-opløsning med CuSO₄-krystaller. Der anvendes "meget ren" (P.A.) kvalitet.



Figur

Eksempel på referenceelektrode som forhandles i Danmark. Referenceelektrode af kobber i mættet kobbersulfatopløsning. På den porøse prop monteres en fugtig natursvamp, som sikrer en elektrisk kontakt til betonoverfladen.

Kalibreringselektrode: Referenceelektrodens potentiale kan kontrolleres med en anden type elektrode, f.eks. Ag/AgCl eller S.C.E. (Calomel-elektrode).

Vandsprøjte: Til at befugte betonoverfladen med vand.

Metermål o.lign.: Til opmåling af målefelt og afmærkning af målepunkter.

4.2 Forbehandling af måleobjekt

I det valgte målefelt bores ned til armeringen 2 steder, et i hver ende af feltet. Armeringsjernene findes med dæklagsmåler. Begge armeringsjernene forbindes elektrisk med en spændingsmåler. Ved en potentialemåling kontrolleres, om der er elektrisk kontakt mellem de 2 steder. Potentialet skal være mindre end ± 10 mV, og næsten konstant, for at sikre elektrisk kontakt.

På det ene af de 2 frilagte jern fastskrues et kontaktspyd til jernet.

Den pågældende betonoverflade påtegnes krydspunkterne i et net med veldefineret startpunkt og punkt afstand.

Som vejledning kan følgende netmasker anvendes:

Oversigtsmåling, hvor der er risiko for udbredt tæring = ca. 10 pr. m².

Detailmåling omkring synlige skadesymptomer og ved konstruktions-samlinger, hvor der er risiko for grubetæring = ca. 30 pr. m².

For betonoverflader med tætte belægninger skal betonen frilægges i målepunkterne f.eks. ved en behugning.

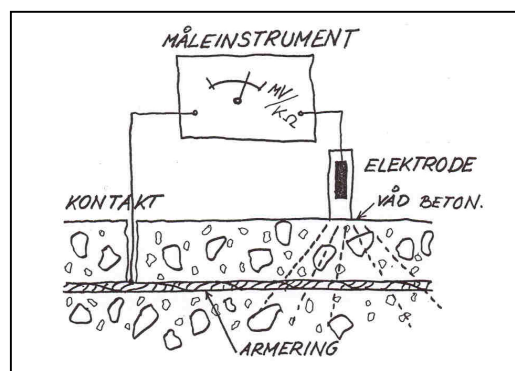
Alle målepunkter forvandes grundigt med alm. vand, således at betonoverfladen er vandmættet, overfladetør og dermed sikres god elektrisk kontakt mellem beton og måleelektrode.

Luftens og betonens temperatur registreres.

4.3 Fremgangsmåde

Reference-elektroden forbindes direkte til \ominus på måleinstrumentet. Kontaktspyddet i det frilagte armeringsjern forbindes direkte til $+$ på måleinstrumentet. Når Cu/CuSO₄ elektroden placeres på kontaktspyddet, skal voltmeteret vise negativ måleværdi.

Svampen på spidsen af referenceelektroden fugtes med vand og referenceelektroden anbringes i målepunktet. Der måles potentiale og modstand. Modstanden må ikke være højere end 100 Kohm. Modstand og elektrokemisk potentiale skal være stabilt på måletidspunktet. Ved min. 3 målinger i et punkt må modstanden ikke variere mere end 0,5 Kohm og EKP 5 mV.



Figur

Måling af elektrokemisk potentiale og modstand.

EKP-målinger udføres ved at flytte referenceelektroden systematisk rundt på betonoverfladen. I hvert punkt måles den elektriske spændingsforskel og modstand mellem armering og elektrode. Spændingsforskellen er et udtryk for jernets elektrokemiske potentiale. Enhver ændring i korrosionstilstand og enhver forandring i betonen vil aflæses som en ændring i potentialet.

4.4 Vedligeholdelse af referenceelektroden

Før ibrugtagning, og altid når kobberstaven udviser misfarvning, bør elektroden adskilles (toppen skrues af), og kobberstaven renses mekanisk.

Rensning foretages bedst med sandpapir (der må ikke anvendes "ståluld" eller andre metalliske midler).

Det anbefales, at elektrolytten (CuSO_4 -opløsningen) samtidig udskiftes. Elektrolytten bør også skiftes, hvis den bliver uklær.

Før samlingen af elektroden kontrolleres tilstedeværelsen af CuSO_4 -krystaller (sikkerhed for mættet opløsning). Dernæst påfyldes CuSO_4 -opløsningen op til begyndelsen af gevindet, og kobberstaven med holder placeres, idet det påses, at der ikke "fanges" luftblærer.

Det er vigtigt, at elektrolytten er fri for luftblærer, når der måles.

Referenceelektroden skal altid opbevares med elektrolyt og påmonteret hætte for at undgå udtørring af den porøse prop.

4.5.1 Kontrol af referenceelektroder

Det anbefales, at referenceelektroder inden hver måling kontrolleres/kalibreres over for en anden type elektrode. Af hensyn til den samtidige kontrol af hele målekredsen foreslås denne kontrol udført over for en elektrode af anden type, f.eks. en S.C.E. (Calomel-elektrode) eller Ag/AgCl , ved 20°C :

Over for S.C.E. er referenceelektroden $+65\text{ mV} \pm 15\text{ mV}$.

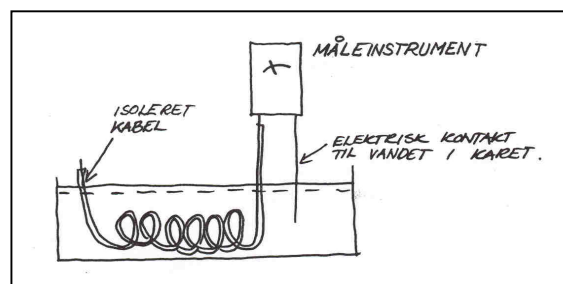
Overfor Ag/AgCl er referenceelektroden $+105\text{ mV} \pm 10\text{ mV}$.

Hvis elektroden ikke opfylder dette, anbefales det, at elektroden renses, og at både elektrolyt og krystaller udskiftes.

4.5.2 Kontrol af kabler

Det anbefales at kontrollere kablernes isolering med jævne mellemrum for utætheder. Kontrollen udføres ved at placere den isolerede del af kablet under vand i et kar. Den ene ende af kablet forbindes til måleinstrumentet. Karret forbindes elektrisk med måleinstrumentet.

Hvis isoleringen er intakt, vil modstanden være større end $100\text{ M}\Omega$, og potentialet være tilfældigt varierende. Hvis isoleringen er utæt, vil modstanden være mindre end $10\text{ M}\Omega$, og potentialet stabilt omkring 0 mV .



Kontrol af kablernes isolering

1.5 Rapportering

Rapporten skal mindst indeholde følgende:

- Operatør
- Dato for måling
- Navn på objekt og sagsnr.
- Konstruktionens alder, geometri, materialer
- Udvælgelseskræterier for målefelter
- Konstruktionens og luftens temperatur samt vejforhold
- Overfladens karakter:
Ubehandlet/behandlet. Bearbejdning af overfladen: Behugning, opfugtning med vand etc.
- Definition af målefelt og målepunkter
- Synlige skadesymptomer
- Skitse af måleobjekt med anførte potentialer og modstande

- Angivelse af referenceelektrodens type

5. Supplerende analyser

Med henblik på fortolkning af resultaterne vil følgende supplerende analyser være relevante.

- Ophugning til armeringsjern for inspektion og fastsættelse af korrosionsgrad. Tamlæggespejl kan anvendes til inspektion på bagsiden af armeringsjern.
- Visuel registrering af skadesymptomer
- Dæklagsmåling
- Udtagning af borekerner (TI-B 1) med henblik på bestemmelse af karbonatiseringsdybde, chloridindhold (TI-B 9) og strukturanalyse (TI-B 3 og 5).

6. Fejlkilder

1. Elektrode, f.eks. forurening af elektrolyt, luftblærer i elektrolyt eller anden form for forurening.
2. Elektrisk apparatur; specielt i frostvej og regnvej er der mulighed for, at det elektriske udstyr svigter.
3. Kabler: Utætheder i isoleringen kan medføre fejlagtige målinger.
4. Dårlig kontakt til armering: Kan kontrolleres efter anvisning, afsnit 4.2.
5. Ingen kontinuitet i armeringen: Kan kontrolleres efter anvisning, afsnit 4.2.
6. Isolerende lag i overflade, i betonen eller omkring armeringen, f.eks. i efterspændt kabelbeton. Dette må man sikre sig imod ved granskning af projektmateriale og ophugninger.
7. Indbygget elektrisk kredsløb i betonen, f.eks. katodisk beskyttelse, kan medføre særlige elektriske forhold, der ikke har relation til det elektrokemiske potentiale.
8. Ydre elektriske felter fra f.eks. højspændingskabler.
9. Blankt vand på betonoverfladen vil kunne skabe elektrisk overgang mellem målepunkterne.