



BACHELOROPPGAVE:

KJEMISK NEDBRYTNING AV BETONG

-

**Valg av testmetoder ved
kloridinntrengning**

FORFATTER: NICKOLAI-THOMAS SELJESÆTHER BERG

Dato: 15. mai 2013

SAMMENDRAG

KJEMISK NEDBRYTNING AV BETONG -

Valg av testmetoder ved kloridinntrengning

Av Nickolai-Thomas Seljesæther Berg ved Høgskolen i Gjøvik

Veildere: Rolf Alexander Skar og Anders Björnfort

De fleste alvorlige skadene på betongkonstruksjoner skyldes armeringskorrosjon. Stålet korroderer, slik at konstruksjonen mister sin styrke og kan kollapse eller gi nedbøyninger.

Korrosjonen kan ofte skyldes kloridinntrengning. Kloridene kan ha blitt blandet inn i betongen ved produksjon, eller den ferdige betongkonstruksjonen kan ha blitt utsatt for saltangrep fra miljøet rundt seg.

Det kan være viktig å vite hvor langt kloridene har kommet seg inn i betongen. Ut ifra dette så kan man ha grunnlag til å reparere, vedlikeholde eller beregne restlevetid på konstruksjonen.

Det finnes flere forskjellige analyser for å sjekke kloridinnholdet i betongkonstruksjoner. Jeg har tatt for meg seks analysemetoder for å finne ut hvilken som man bør benytte.

Analysemetodene jeg har tatt for meg er Mohr's metode, Volhard's metode, potensiometrisk titrering, spektrofotometrisk metode, Quantab og Rapid Chloride Test.

Jeg har studert litteratur, kontaktet og intervjuet forskjellige aktører og lest diverse teori om fagområdet. Jeg synes denne arbeidsmetoden har vært den mest fornuftige, siden jeg da har fått både mye teori om metodene, samt hvordan aktører synes disse analysemetodene virker i praksis.

Det meste av resultater fra ringforsøk og annen litteratur jeg har samlet inn, har stort sett bekreftet hverandre. Når det kommer til nøyaktighet og presisjon, så er det enighet om at laboratoriemetodene er de beste. Feltmetodene har ofte en del unøyaktigheter, og resultatene bør derfor kun sees på som en indikasjon.

ABSTRACT

CHEMICAL DEGRADATION OF CONCRETE -

Selection of test methods of chloride penetration

By Nickolai-Thomas Seljesætherbakken Berg at Gjøvik University

Supervisors: Rolf Skar Alexander and Anders Björnfof

Most serious damage to concrete structures due to reinforcement corrosion. The steel corrodes, so that the structure loses its strength and may collapse or provide deflections. The corrosion is often caused by chloride penetration. Chlorides have been mixed into the concrete during production, or the finished concrete structure may be subjected to salt attack from the environment around them.

It may be important to know how far chlorides have come into the concrete. With this in mind, one can have a basis to repair, maintain, or calculate the remaining life of the structure. There are several different analysis to check the chloride content of concrete structures. I have taken for me six analysis methods for to determine which one you should avail. Methods of analysis I have taken for me is Mohr's method, Volhard's method, potentiometric titration, spectrophotometric method, Quantab and Rapid Chloride Test.

I studied literature, contacted and interviewed various actors and reading various theories about the field. I think this type of working method has been the most sensible, since I have got both theory of the methods, as well as how actors find these analysis methods work in practice.

Most of the results from Round-Robin tests and other literature I have collected, have mostly confirmed each other. When it comes to accuracy and precision, so is it agreed that the laboratory methods are the best. Field methods often have some inaccuracies, and the results should therefore only be seen as an indication.

Forord

Bacheloroppgaven er den siste utfordringen man får før en avslutter bachelorgraden sin. I den anledning så benytter en del studenter muligheten til å skrive en bacheloroppgave om noe de synes er interessant og spennende, og som de kanskje vil jobbe med etter utdannelsen.

I den anledningen benyttet jeg sjansen min til å fokusere på tilstandsanalyser. Dette er et relativt bredt tema med mange muligheter. Etter å ha studert litt litteratur rundt emnet, samt hatt veiledning med veileder, så kom jeg fram til at jeg ville konsentrere meg om kloridinnhold i betong.

Det har vært mye teori å sette seg inn i, og et helt nytt fagområde har åpnet seg for meg. Jeg håper dere som leser denne oppgaven også vil føle det slik.

Jeg vil takke aktørene som har vært hjelpelige med å fortelle om sine erfaringer, og delt kunnskap om de forskjellige analysemetodene.

Jeg vil også takke mine veiledere Rolf Alexander Skar og Anders Bjørnfot for å ha veiledet meg gjennom oppgaven.



Nikolai-Thomas Seljesæther Berg

Innholdsfortegnelse

Forord	4
1 Innledning	6
1.1 Oppgaven.....	7
1.2 Problemstilling.....	8
1.3 Avgrensning	8
1.4 Målgruppe for rapporten	9
2 Teori.....	9
2.1 Betong.....	9
2.2 Kloridinntrenging	10
2.3 Tilstandsanalyse av kjemisk nedbrytning	11
2.4 Mohr's metode.....	13
2.5 Volhard's metode.....	14
2.6 Potensiometrisk titrering.....	15
2.7 Rapid Chloride Test (RCT-test).....	16
2.8 Quantab.....	18
2.9 Spektrofotometrisk metode.....	19
2.10 Round-Robin test on chloride analysis in concrete – Part 1: Analysis of total chloride content	20
2.11 Diverse litteratur	20
3 Metode	20
3.1 Strategi.....	20
3.2 Intervjuer og motiv	21
3.3 Kildekritikk og troverdighet	21
4 Resultater	22
4.1 Intervju av aktør 1.....	22
4.2 Intervju av aktør 2.....	22
4.3 Intervju av aktør 3.....	24
5 Diskusjon	26
5.1 Diskusjon av Mohr's metode.....	26
5.2 Diskusjon av Volhard's metode.....	27
5.3 Diskusjon av potensiometrisk metode	27
5.4 Diskusjon av spektrofotometrisk metode.....	28
5.5 Diskusjon av Quantab.....	29
5.6 Diskusjon av Rapid Chloride Test (RCT-test).....	29
5.6 Valg av analysemetode	30
6 Konklusjon.....	30
6.1 Diskusjon av konklusjon.....	31
6.2 Videre arbeid	31
7 Kilder	32
8 Vedlegg	

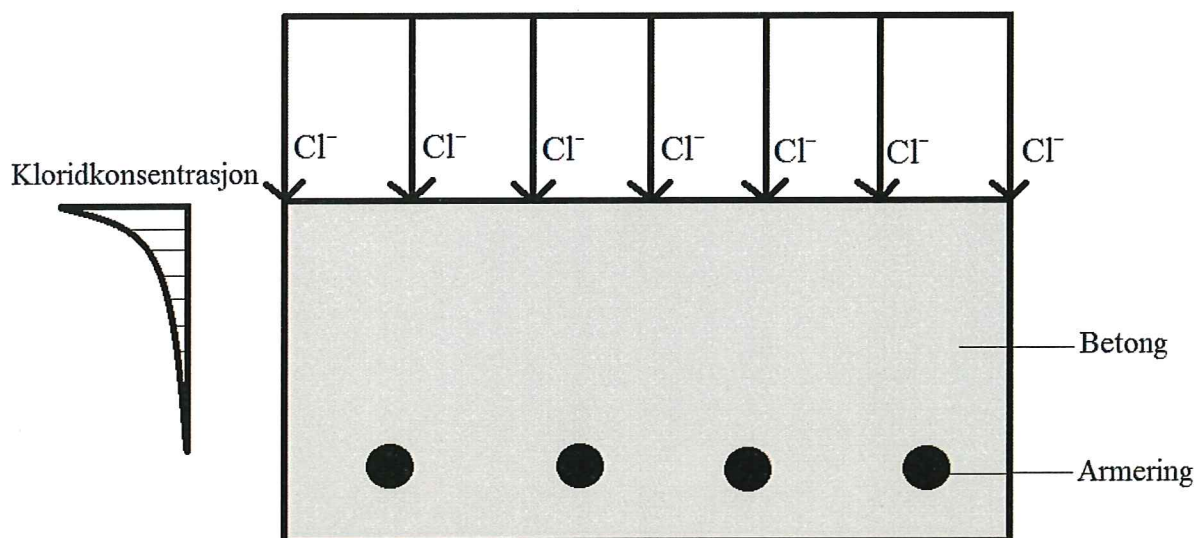
1 Innledning

Ifølge Store norske leksikon (1) og SINTEF (2) så oppstår de fleste alvorlige skader på betongkonstruksjoner fordi armeringen starter å korrodere. Dette blir kalt armeringskorrosjon. Armeringen mister sin styrke, samtidig som korrosjonsproduktet kan sprengte ut deler av betongen. Konstruksjonen vil da miste evnen til å ta opp krefter, og kan dermed kollapse eller gi nedbøyninger.

Armeringskorrosjon kan oppstå på grunn av kloridinntrenging og karbonatisering. Spesielt hvis de angriper samtidig (1). Det er kloridinntrenging denne oppgaven skal ta for seg, og hvordan man kan teste en betongkonstruksjon for kloridinnhold.

Som med andre kjemiske analyser for å bestemme tilstanden til en betongkonstruksjon, så finnes det forskjellige analysemetoder for å bestemme kloridinnholdet i betongen. (3)

Det finnes en del forskning på nøyaktigheten og presisjonen til hver av analysene. Det som det ikke finnes så mye om, er de andre faktorene som spiller inn ved valg av en analysemetode.



Figur: Privat

1.1 Oppgaven

Oppgaven handler om hvilke analysemetoder man bør benytte for å sjekke en betongkonstruksjon for kloridinntrengning. Jeg har tatt for meg seks analysemodeller for kloridinntrenging. Noen av analysene er beregnet for å gjøres i feltet, mens de fleste er beregnet for å gjøres i et laboratorium (3).

De seks analysemodellene jeg har tatt for meg går ofte igjen i litteraturen (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10), og jeg oppfatter dem blant dem mest brukte.

Analysemodellene for kloridinnhold jeg har tatt for meg er:

- Volhard's metode
- Mohr's metode
- Potensiometrisk titrering
- Rapid Chloride Test
- Spektrofotometrisk metode
- Quantab.

For å bestemme hvilke kriterier jeg skal bruke for å vurdere hvilken analysemetode som bør benyttes, så har jeg valgt fire punkter:

- Nøyaktighet og presisjon.
- Brukervennlighet
- Økonomi
- Tid

Med nøyaktighet så menes hvor nært resultatene som kommer fra analysene er den sanne verdien. Presisjon vil da si graden av gjentakelse av samme resultat, når analysemetoden gjentas. Presisjon og nøyaktighet er noe de fleste vil anse som de viktigste faktorene ved valg av analysemetode. Men hvor nøyaktig må en analysemetode være? Analysemetodene er som regel bare «første skritt» for å beregne videre analyser, restlevetid eller behov for reparasjon og vedlikehold. Og allerede ved beregning av restlevetid så finnes det mange modeller,

framgangsmåter og usikre faktorer (3) (11). Og uansett så er restlevetiden definert på forskjellige måter (3).

Derfor vil jeg anse brukervennlighet, økonomi og tid som andre viktige faktorer som bør inngå i helhetsvurderingen av valget. Disse tre siste faktorene kan overlape hverandre litt. Med brukervennlighet så legger jeg vekt på hvilken kompetanse som stilles til operatøren som skal analysere prøvene. Er dette en relativt enkel prosedyre som de fleste kan gjennomføre, eller må det personer til med høy kompetanse?

Under begrepet økonomi, skal jeg ta for meg om analysen er relativt dyr eller relativt billig. Dette blir antakeligvis det vanskeligste og kanskje mest usikre punktet i vurderingen.

Tid er den siste faktoren som jeg skal ha med. Dette vil i hovedtrekk handle om analysen kan tas i feltet, eller om det bør undersøkes i et laboratorium.

Oppgaven vil ha hovedvekten på den teoretiske biten. Både når det gjelder den kjemiske delen ved hver metode, og hva annen litteratur og tidligere forskning sier. Dette kommer jeg til å sette opp mot intervjuer som jeg har gjort med forskjellige aktører.

1.2 Problemstilling

«Hvilken analysemetode bør man benytte for å sjekke en betongkonstruksjon for kloridinntrenging?»

1.3 Avgrensning

Bacheloroppgaven skal kun ta for seg de seks analysemetodene som er oppgitt. Jeg skal heller ikke ta for meg de forskjellige variantene å utføre hver og en av analysene på. Hver analysemetode skal jeg behandle og beskrive generelt.

Oppgaven konsentrerer seg kun om analysemetodene. Jeg vil derfor ikke gå inn på hvordan prøvene bør bores ut, eller tas på annen måte.

1.4 Målgruppe for rapporten

Aktører som skal bestille eller selv ta prøver av betongkonstruksjoner for å måle kloridinnhold. Dette gjør dem som regel for å beregne restlevetid eller for å vurdere vedlikehold eller reparasjon av konstruksjonen.

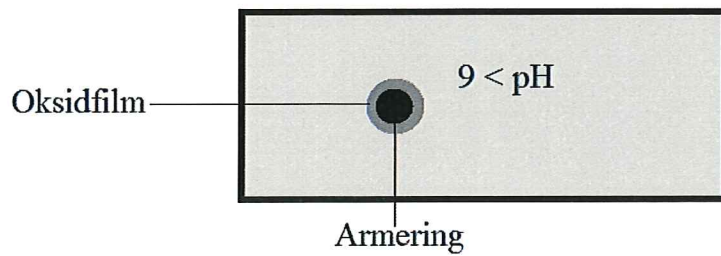
2 Teori

2.1 Betong

Ifølge Store norske leksikon (12), så er betong et av de viktigste materialene i bygg industrien. Betong består av en blanding av sement, vann og tilslag. Tilslaget er som oftest sand, pukk og stein. Vanlig sement (portlandsement) består av gips, silisiumdioksid-, kalk-, aluminiumoksid og jernoksidholdelige materialer. Det er også vanlig å tilsette sementen pozzolaner som flyveaske og silika for å gi den ferdige betongen forskjellige egenskaper. Egenskapene som kan endres er at betongen blir mer frostsikker, lettere å arbeide med når den er fersk, økt vanntetthet og at herdingen skal skje fortere/saktere.

Den ferdige betongen har sterk trykkfasthet, men relativt svak strekkfasthet. Derfor inneholder nesten alle betongkonstruksjoner armering. Armering er av stål, som regel i form av stenger eller kabler, som er støpt inn i betongen for å ta strekkraftene konstruksjonen kan bli utsatt for. Ved å bruke armert betong, så får man dermed en relativt billig konstruksjon som kan ta både trykk- og strekkrefter.

Rundt armeringsjernet så dannes det en oksidfilm på grunn av den høye pH-verdien betong har. Denne oksidfilmen begynner å danne seg allerede når pH er rundt 9, og hindrer at det oppstår korrosjon på armeringen.



Figur: Privat

Egenskaper som er med på å bestemme betongens kvalitet, er først og fremst:

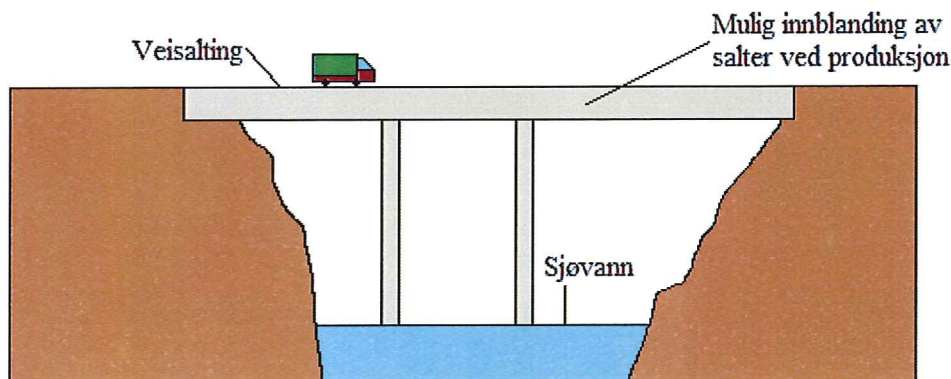
Trykkfasthet – som er betongen sin evne til å motstå trykk uten å bryte sammen. Det er først og fremst forholdet mellom vann og sement (v/c) som er avgjørende for trykkfastheten.

Densiteten – forteller oss hvor kompakt betongen er. Dette kan man bestemme ved å tilsette forskjellige typer tilslag. (3) (12) (13)

2.2 Kloridinntrenging

Klorider er forbindelser som er dannet av klor og et grunnstoff som er mer elektropositivt enn klor og med organiske radikaler (14).

Konstruksjoner som ofte blir utsatt for klorider, ligger som regel slik til at de kommer i kontakt med kloridene gjennom veisalt, sjøsprøyt eller at selve konstruksjonen ligger i havet. Disse kloridene har reagert med natrium slik at reaksjonsproduktet er natriumklorid, NaCl(15). Saltene kan også ha blitt blandet inn i betongen ved produksjon. Dette kan være gjort ubevisst ved at tilslaget har inneholdt klorider eller bevisst for å øke tørkehastigheten (3) (16).



Figur: Privat

Kloridene kan både bryte opp passivfilmen og få armeringen til å korrodere (3) (16). Når konsentrasjonen av klorider overskrider en viss grense så vil det dannes jernklorid. Jernkloridet vil konkurrere med hydroksiddannelsen, og ha et stort overskudd av kloridioner. Siden jernkloridet ikke danner en beskyttende film, så kan korrosjonen fortsette (17). Kommer kloridene gjennom passivfilmen og til armeringen, så kan det dannes pittingkorrosjon. Pittingkorrosjon angriper punktvis, i motsetning til korrosjon forårsaket av karbonatisering. Det lokale angrepet er derfor ofte større enn det ser ut som. Kjemisk så vil jern og klorider danne reaksjonsproduktet FeCl_2 . FeCl_2 vil så reagere med vann og danne saltsyre. Dette vil «spise» seg innover i armeringen slik at det dannes en grop (3).

Det er mange faktorer som spiller inn når det kommer til tiden kloridene vil bruke for å komme seg inn til armeringen og starte korrosjonen. De viktigste faktorene er overdekningen, kloridkonsentrasjonen, eksponeringstiden, pozzolaner, sementtype, v/c-tall, porøsiteten, kloridinnholdet i betongen, arealforholdet mellom anode og katode, pH-verdi og fuktinnhold (3).

2.3 Tilstandsanalyse av kjemisk nedbrytning

Ved en tilstandsanalyse skal man registrere og vurdere tilstanden til en konstruksjon. Ut ifra dette skal man kunne vurdere restlevetid og eventuelle reparasjoner og vedlikehold. Alt etter hva formålet er og hvor mye ressurser man skal legge i analysen, så kan man velge å utføre tilstandsanalysen på forskjellige nivåer. Alt fra en enkel visuell undersøkelse til å ta kjerneprøver av betongen (18) (3).

SINTEF Byggforsk (18) har definert en tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner på tre nivåer:

Nivå 1: Enkel

Har vekt på en visuell undersøkelse som har til hensikt å påvise eller fastslå nye skader eller tidligere skader som har utviklet seg. Det trengs som regel ikke noe spesielt med utstyr for en slik undersøkelse, men kan være praktisk å dokumentere eventuelle skader med å ta bilder eller video. Dette gjøres ofte før en eventuell mer omfattende tilstandsanalyse skjer.

Nivå 2: Utvidet

Denne formen for tilstandsanalyse tar for seg den visuelle undersøkelsen mer grundig. Her kan man også ta målinger og analyser av betongen. Dette kan gjøres med både feltanalyser eller laboratoriemålinger. Hensikten her vil være å undersøke skadens utvikling, omfanget og hva som kan ha forårsaket skaden(e).

Nivå 3: Fullstendig

Her bør man ta for seg skadene mer i dybden. Her utføres ofte laboratoriemålinger, slik at man kan beregne restlevetid eller hvilke tiltak av reparasjon og vedlikehold som må til.

(18) (3)

2.4 Mohr's metode

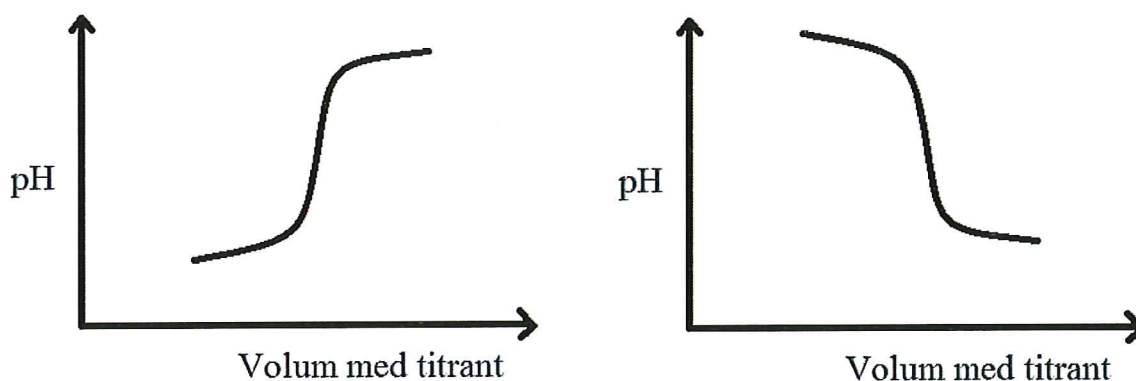
Mohr's metode går ut på å titrere en løsning med kloridene i. Titrering er en analysemetode som kan hjelpe oss med å bestemme kloridinnholdet.

Når vi blander en sur og basisk løsning sammen, så vil de nøytralisere hverandre. Syren vil da kunne gi fra seg et proton, mens basen vil kunne ta opp et proton.

Ved en titrering så har man enten en syre eller base, og tilsetter den andre typen løsning (titrant) til løsningen har nøytralisert seg. Syren eller basen tilsettes med en byrette og røres rundt med en magnet omrører.

Man kan bruke en indikator for å sjekke om løsningen er sur, basisk eller nøytral. En indikator er en forbindelse som forandrer farge hvis den løsningen den er i går fra sur til basisk eller omvendt. Når man skal velge å bruke en indikator, så må endepunktet (når fargen skifter) til indikatoren ligge så nær ekvivalenspunktet som mulig.

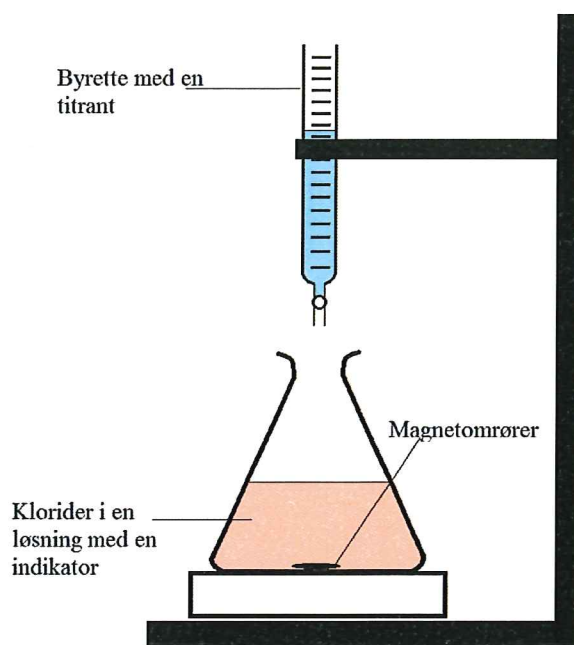
Hvis man måler pH-en samtidig som man titrerer og tegner dette inn på en graf, så vil grafen nærmest få en S-form. Den vil stige/synke ganske raskt der ekvivalenspunktet er.



Figur: Privat

Ved Mohr's metode så løses saltene ut i kokende vann eller et annet ekstrakt. Man tilsetter indikatoren som i dette tilfellet er kaliumdikromat. Kolben med ekstraktet og indikatoren settes under en byrette med sølvnitrat, AgNO_3 .

Man tilsetter sølvnitrat fra byretten helt til løsningen skifter farge. Fargeforandringen skyldes indikatoren som reagerte på at løsningen har blitt sur. Ut ifra mengden sølvnitrat som har blitt tilsatt, så kan man regne ut Cl^- -innholdet (3) (19)



Figur: Privat

2.5 Volhard's metode

Volhard's metode gjennomføres ved en tilbaketitrering. Tilbaketitrering skjer nesten på samme måte som vanlig titrering. Men istedenfor å begynne å titrere med en gang, så tilsetter man et overskudd av reagenset og så titrerer tilbake.

Det kan være fornuftig å benytte seg av tilbaketitrering dersom analytten og titranten reagerer langsomt. Men hovedgrunnen til at man benytter tilbaketitrering er nok fordi at det i visse tilfeller er lettere å gjenkjenne endepunktet når man titrerer den andre veien istedenfor.

Volhard's metode baserer seg på tilbaketitrering. Her tilsetter man et overskudd av sølvnitrat. Ifølge NS3671 (20) så tilsetter man også mettet ferriammoniumsulfatløsning og benzyllalkohol eller nonanol. Løsningen titreres tilbake med ammoniumtiocyanatløsning. Titreringen utføres under omrøring helt til løsningen har fått en rødaktig farge.

Kloridinnholdet kan da regnes ut etter formelen hentet fra NS 3671:

$$\text{Cl}^- = 3,545 \frac{(V_1 * N_1 - V_2 * N_2)}{m}$$

V_1 = tilsatt volum sølvnitratløsning (ml)

N_1 = Normalitet av sølvnitratløsningen

V_2 = Forbrukt mengde ammoniumtiocyanatløsning ved titrering (ml)

N_2 = Normalitet av ammoniumtiocyanatløsning

M = analyseprøvens masse (g)

(20) (19)

2.6 Potensiometrisk titrering

I likhet med Mohr's metode, så benytter potensiometrisk titrering seg også av syrebasereaksjoner. Men istedenfor å bruke en indikator som skifter farge, så benytter man seg av at potensialet mellom en kloridelektrode og en referanseelektrode forandres.

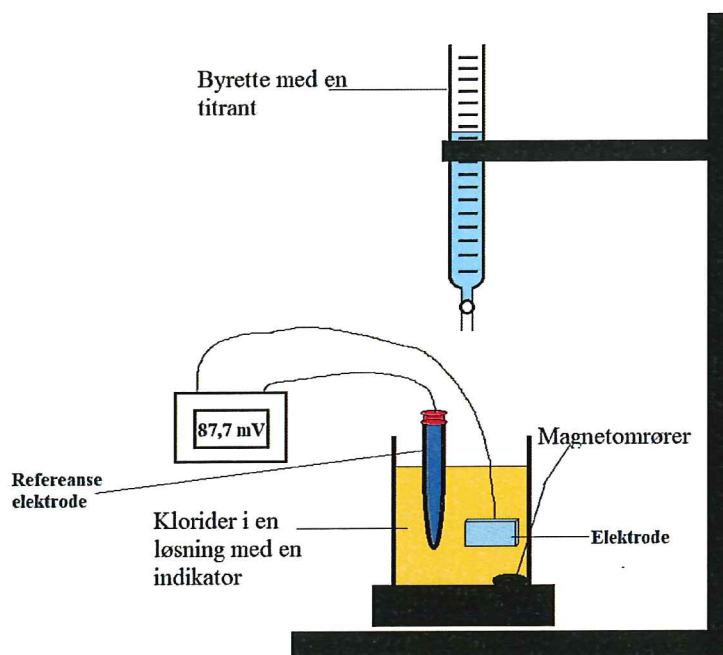
Atomer kan ta og gi fra seg elektroner. I de tilfellene der det gir fra seg ett eller flere elektroner, så sier vi at det skjer en oksidasjon. Hvis det i motsatt fall tar opp ett eller flere elektroner, så sier vi at det skjer en reduksjon. Slike reaksjoner skjer samtidig og kalles en totalreaksjon.

For å kunne måle cellepotensialet, så må den måles mot et kjent redokspår. Derfor bruker man en referanseelektrode for å måle når potensialet forandres.

Som referanseelektrode kan man for eksempel bruke en standard hydrogenelektrode eller en sølv/sølvkloridelektrode (Ag/AgCl). En standard hydrogenelektrode består av en platinaplate som ligger i en løsning med 1M HCl, mens det pumpes H₂-gass ned. Potensialet for referanseelektroden blir definert som 0,0 volt.

Platinaplaten er koblet til en annen celle med en annen løsning. Mellom cellene så er det et voltmeter som registrerer eventuelle spenninger og en saltbro. Man kan da ut ifra syren som har blitt tilsatt, regne kloridinnholdet.

En annen metode er å ha begge elektrodene oppi løsningen, som vist på figuren nedenfor: (3) (4) (19).



Figur: Privat

2.7 Rapid Chloride Test (RCT-test)

Dette er en metode som har blitt utviklet til en feltmetode. Det finnes et eget feltanalysesett som gjør at man kan bestemme kloridinnholdet i betongen på stedet. Analysesettet inneholder et voltmeter, oppløsningsvæske, kalibreringsvæsker, begre og flasker og en ion selektiv elektrode (ISE).

En slik ion selektiv elektrode er en form for en transduser som omdanner en form for energi til en annen form for energi. Den består av en ionespesifikk membran og en referanseelektrode. I dette tilfellet så vil transduseren omdanne aktiviteten fra en type ion (Cl^-), til et elektrisk potensial. Dette elektriske potensialet kan måles med et voltmeter og omregnes til kloridinnhold.

Med aktivitet så menes den molare konsentrasjonen av et ion multiplisert med en aktivitetskoeffisient, f , som er $0 < f < 1$. Med andre ord:

$$\text{Aktivitet: } a_{\text{Cl}} = [\text{Cl}] * f_{\text{Cl}}$$

Logaritmen av denne aktiviteten er lineær med det elektriske potensialet mellom referanseelektroden og den ion selektive elektroden som er i den samme løsningen. Dette beskriver Nernst-likning:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

E^0 = Standard cellepotensial

R = Gasskonstant

T = Absolutt temperatur

n = Antall elektroner som overføres i totalreaksjonen

F = Faraday konstant

Q = Aktiviteten til det målte ionet

Den ion selektive elektroden kan ses på som et galvanisk element med to halvceller som har samme elektrolytt.

Før bruk så kalibrerer man elektroden. Man tegner en standard kalibreringskurve ved å måle kalibreringsvæsker med forskjellige kjente kloridinnhold, og legger verdiene inn i et diagram.

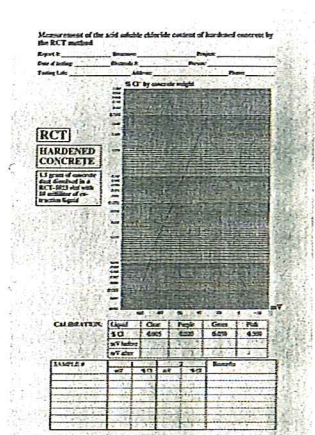


Foto: Privat

Kloridene løses opp i en oppløsningsvæske i en flaske eller beholder. Deretter tar man den kalibrerte elektroden oppi løsningen, og leser av verdien (spenningen) når den har stabilisert seg. Ved hjelp av standardkurven man har oppnådd ved kalibreringen, så kan man taste inn spenningen og få svaret oppgitt som kloridinnhold i masseprosent av betongvekt.

Ved ion selektiv elektrode så kan det oppstå unøyaktigheter på grunn av at andre ioner kan bli oppfattet som den elektroden man skal måle. Disse ionene har som regel en fysisk likhet. (21)
(3) (5) (19)



Foto: Privat

2.8 Quantab

En Quantab-strimmel er en strippe av plastikk som inneholder sølvdikromat.

Ved gjennomføring av en Quantab-test, så veies en bestemt mengde med betongstøv opp. Kloridene løses opp ved å tilsette salpetersyre. Man filtrerer bort betongstøvet, så det bare er kloridene og løsningen som er igjen.

Dermed kan Quantab-strimmelen settes ned i løsningen. På grunn av kohesjonskrefter mellom løsningen og stripa, så vil løsningen bli sugd opp og fylle opp stripa. Sølvionene vil reagere med kloridene i løsningen og danne et hvitt reaksjonsprodukt. Reaksjonsproduktet vil

2.10 Round-Robin test on chloride analysis in concrete – Part 1: Analysis of total chloride content

Den tekniske komiteen TC 178-TMC har utført et ringforsøk for å teste forskjellige metoder for å analysere kloridinnholdet i betong. Følgende resultat kom de fram til:

“Concerning the method of analysis itself, from the proposed methods, it can be recommended the volhard titration (with its own method of extraction), C1, and the potentiometric titration without the addiction of acetone, C4” (22)*

De anbefale altså Volhard’s metode og potensiometrisk titrering.

2.11 Diverse litteratur

Litteraturen jeg har samlet inn fra ringforsøk, veiledninger og annen litteratur, har jeg samlet skjematisk som vedlegg. Her er et kort sammendrag av litteraturen som er samlet i vedlegget:

Mohr’s metode er en metode med god presisjon og nøyaktighet. Dette gjelder alle konsentrasjonsnivåer. (7)

Volhard’s metode er en nøyaktig og presis metode på høye konsentrasjoner, men noe mindre nøyaktig på lave konsentrasjoner. Nøyaktigheten og presisjonen er avhengig av operatør og utstyr. (7) (9) (10) (8)

Potensiometrisk metode har god nøyaktighet og presisjon. Her stilles det også krav til utstyr og operatøren. (7) (9) (10)

Quantab gir stor spredning i analyseresultatene, og man kan ikke se på resultatene som nøyaktige. Den er ikke egnet til å måle lave konsentrasjoner. Dette er en først og fremst en feltmetode som er rask. (7) (9) (6) (10) (8)

Rapid Chloride Test er unøyaktig, men gir god presisjon. Unøyaktigheten er størst ved høye konsentrasjoner. (7) (9) (5)

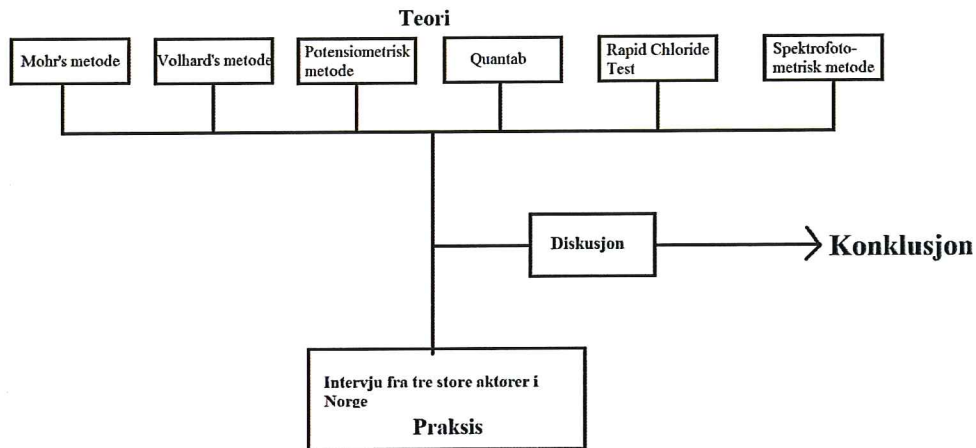
Spektrofotometrisk metode er ikke nevnt så ofte, men blir beskrevet som en metode med god nøyaktighet og presisjon. (7)

3 Metode

3.1 Strategi

For å kunne besvare problemstillingen på best mulig måte, så har jeg satt meg inn i hvordan de forskjellige analysemetodene virker. Ut ifra dette så har jeg samlet inn litteratur om bruken av dem, og intervjuet forskjellige aktører som driver med slike analyser.

Formålet med metoden jeg har valgt, er å sammenlikne teorien med det som er praksis i byggenæringen i dag.



Figur: Privat

3.2 Intervjuer og motiv

Formålet med intervjuene er å kartlegge hvilke metoder de bruker og hvorfor. De jeg skal intervjuer er store norske aktører som har lang erfaring og et godt fagmiljø med måling av kloridinnhold i armert betong. Personene og de firmaene de representerer, vil bli holdt anonymt. Det er tre intervjuer til sammen. Et av intervjuene har funnet sted på besøk hos bedriften, mens de to andre har foregått over e-mail.

3.3 Kildekritikk og troverdighet

Personene som har blitt intervjuet hos de forskjellige aktørene er godt utdannede personer, som firmaene selv har foreslått at jeg skal intervjuer. Anser det som lite trolig at en vel respektert aktør ville satt en mindre troverdig ansatt til å representere firmaets erfaring og kompetanse.

4 Resultater

4.1 Intervju av aktør 1

Gjennom et intervju med en av Norges største aktører, så fikk jeg vite at de per dags dato kun benyttet seg av potensiometrisk metode. De benyttet denne metoden fordi de mente at den var den mest nøyaktige. Det var også denne metoden de hadde mest erfaring med, og brukt de siste årene. Så å bytte til en annen metode vil være en dyr investering. Derfor synes de det var mere hensiktsmessig å prøve å forbedre metoden de allerede hadde.

Tidsmessig så virket det som om det var oppløsningen og filtreringen som tok tid. Med andre ord så ville en annen titreringsmetode bruke omtrent samme tid.

De hadde også et Rapid Chloride Test felt sett, som de ikke brukte lenger. Det hadde kun blitt testet de siste årene. Grunnen til at de ikke brukte dette lenger, var fordi de ikke fant det nøyaktig nok. Det var også relativt mye arbeid med kalibreringen og det kunne oppstå komplikasjoner der, som at elektroden og oppløsningen med betongstøvet ikke hadde samme temperatur.

På spørsmålet om elektroden kunne trekke til seg andre uønskede ioner, så fikk jeg svar på at de mistenkte at den kunne tiltrekke seg bromider og jodider.

Grunnen til at de ikke benyttet seg av feltundersøkelser mer, var på grunn av nøyaktigheten. På grunn av mye arbeid å gjøre, så ønsket de kun å bruke analysemetoder som de kunne stole på istedenfor analyser som kun ville gi dem indikasjoner.

4.2 Intervju av aktør 2

«Våre kunder ønsker veldig ofte kloridprofiler i sjikt på 0-1, 1-2 mm osv inn mot armeringsjernet noe som fører til mange analyser. Derfor har spektrofotometerisk metode blitt mest brukt frem til nå. Men på grunn av helseskadelig og forbud mot bruk av kvikksølv i Norge blitt erstattet med en potensiometrisk titrator med karusell som tar 20 prøver i gangen.»

Kloridinntrening

	Mohr's metode	Volhardt's metode	Potensiometrisk metode
Nøyaktighet og presisjon	Bra nøyaktighet	Bra nøyaktighet	Meget bra nøyaktighet på høyeste konsentrasjoner. Utfordring på laveste, som for eksempel bakgrunnsnivå.
Brukervennlighet	Trenger en god del erfaring, for å se omslagspunktet. Fargen som viser omslagspunktet er oransjeaktig og for bestemmelse i betong (som ikke er helt blank løsning i utgangspunktet) gjør det vanskelig. Løsningen må være relativt nært nøytralt, som også er utfordring fordi betongstøvet må løses opp i syre for å få løst ut sementpastaen.	Trenger en god del erfaring, for å se omslagspunktet. Fargen som viser omslagspunktet er rødaktig og for bestemmelse i betong (som ikke er helt blank løsning i utgangspunktet) gjør det vanskelig. Løsningen må være sur pH som er en fordel fordi betongstøvet må løses opp i syre for å få løst ut sementpastaen.	Brukervennelig, samt fordel med at det ikke er person avhengig slik som dem andre to titreringsmetodene.
Tid	Ganske tidkrevende	Ganske tidkrevende	Middels tidkrevende hvis en har en automatisk titrator med karusell kan prøvene settes ferdig og analyseres natten over.
Økonomi	Relativt dyr metode hvis det er mange prøver som skal analyseres pga at den er tidkrevende	Relativt dyr metode hvis det er mange prøver som skal analyseres pga at den er tidkrevende	Relativt dyr metode for det er en dyr titrator.
Andre kommentarer	Trenger lite utstyr, bare "vanlig" lab-utstyr	Trenger lite utstyr, bare "vanlig" lab-utstyr	

	Quantab	RCT	Spektrofotometrisk metode
Nøyaktighet og presisjon	Veldig lite nøyaktig, gir bare en indikasjon på konsentrasjon.		Nøyaktig på alle konsentrasjoner.
Brukervennlighet	Brukervennlig		Brukervennlig
Tid	Mindre tidkrevende enn andre tester, men her må også betongen løses opp i syre for og løse opp sementpastaen.		Tidkrevende, men her kan det analyseres mange prøver samtidig.
Økonomi	Relativt billig		Middels dyr pga at mange prøver kan analyseres samtidig.
Andre kommentarer	Denne testen er ikke brukt av oss på flere 10 år pga for dårlig nøyaktighet.		Denne analysen har vi selv videreutviklet og metoden bygger på en analyseprosedyre beskrevet i Vogels bok, "Textbook of Quantitative Inorganic Analysis" - Forth Edition 1978. p 754 - 755; "B. Mercury(II) thiocyanate method". Denne analysen er på vei til å fases ut pga helseskadelig kjemikalie (kvikksølv thiocyanate). vi erstatter denne med potensiometrisk titrering med automatisk titrator.

4.3 Intervju av aktør 3

Gjennom spørsmål over e-mail, så fikk jeg følgende informasjon om de forskjellige metodene:

Han hadde ikke egen erfaring med Volhard's metode, men kommenterte at det er den metoden som standarden krever. Et problem med metoden er at det settes strenge krav til prøvemengde. Og at det ikke alltid er realistisk med slike store mengder.

Potensiometrisk metode er standardmetoden dem bruker. Det er også denne metoden de har mest erfaring med. Grunnene til at dem benytter seg av denne metoden er nøyaktighet, reproduserbarhet, kan endre nøyaktighet ved å benytte ulike titreringsløsninger, relativt rask (spesielt hvis en har karuseller og automatisert utstyr) og fordi de har erfaring og utstyr tilgjengelig.

Spektrofotometrisk metode er en metode som ikke brukes så mye i dag. Dette på grunn av kvikksølvforbindelser i noen av løsningene.

Quantab er en ren feltmetode som også benyttes i lab. Måleprinsippet er meget enkelt. Kan være beheftet med store feil om ikke prosedyren følges nøyaktig, samt stor variasjon. Har vel et generelt problem med deteksjonsgrensen (altså et problem med å måle nøyaktig små kloridinnhold).

Rapid Chlorid Test – en feltmetode som også benyttes i lab. Her også er det meget viktig å følge prosedyren nøyaktig for å få sikre målinger. Krever tett kalibrering, og det er ofte et problem med drift i elektroden (altså at kalibreringskurven endres i løpet av dagen). Kan gi nokså nøyaktige resultat om det benyttes vekt for innveining av støv.

5 Diskusjon

For å besvare problemstillingen:

«Hvilken analysemetode bør man benytte for å sjekke en betongkonstruksjon for kloridinntrenging?»

så kommer jeg til å diskutere hver og en av analysemetodene hver for seg. Her kommer jeg til å se på faktorene nøyaktighet og presisjon, tid, økonomi og brukervennlighet. Eventuelt andre faktorer som kan komme inn. Diskusjonen av hver av analysemodellene kommer til å bli strukturert slik:

- Teori om analysemodellene som jeg har funnet i litteraturen.
- Det som har kommet fram under intervjuene
- Sammenlikning av det som er beskrevet i litteraturen og det jeg har fått vite gjennom intervjuene. Diskutere analysemetoden.

5.1 Diskusjon av Mohr's metode

SINTEF Byggforsk (7) kommenterte denne metoden og mener den har både god presisjon og nøyaktighet på forskjellige konsentrasjonsnivåer. Likevel så virker den ikke spesielt utbredt ved måling av kloridinnhold i armert betong.

Det er kun aktør 2 som kommenterte Mohr's metode. Det ble fortalt at den hadde bra nøyaktighet. Den er relativt dyr, på lik linje med de andre titreringsmetodene og kunne være tidkrevende. Den er beskrevet som lite brukervennlig siden det var vanskelig å se omslagspunktet. For at sementpastaen skal kunne løses opp, så måtte løsningen være sur.

Både teorien og intervju objektet er enige om at Mohr's metode har god nøyaktighet. Det som kommer fram under intervjuet med brukervennlighet, viser hvorfor ikke Mohr's metode er noe spesielt utbredt. Ved å titrere fra en basisk løsning med en syre som titrant, så vil det

oppstå problemer med å løse opp sementpastaen. Når det kommer til økonomi, så virker det som den er omtrent like dyr som de andre titreringsanalysene.

5.2 Diskusjon av Volhard's metode

Volhard's metode viser seg å gi god presisjon og nøyaktighet for relativt høye konsentrasjoner. Men får dårlig kritikk for nøyaktigheten ved lave konsentrasjoner. Flere legger til at for å kunne gi god nøyaktighet og presisjon, så er man avhengig av godt utstyr og god kompetanse hos operatøren. Den er beskrevet en del i litteraturen og er standardisert. Det tyder på at den blir brukt. (7) (9) (10) (8)

To av de tre som ble intervjuet, kommenterte Volhard's metode. Det var kun den ene av de to som kommenterte nøyaktigheten. Den ble beskrevet som bra. Det virket som om den var omtrent like tidkrevende og dyr som de to andre titreringsmetodene. Når det kom til brukervennlighet så kom det fram at også her kan det være vanskelig å se omslagspunktet. Sementpastaen løses opp i løsningen som er sur. Det kommenteres også at prøvemengden som det settes krav til, ikke alltid er realistisk.

Aktør 2 som kommenterte nøyaktigheten på analysemetoden og litteraturen som har beskrevet den, er begge enige om at den gir en god nøyaktighet. Siden løsningen som skal titreres er sur, så vil sementlimet løses opp. Dette vil jeg anta at er hovedgrunnen til at denne metoden virker mer utbredt enn vanlig titrering (Mohr's metode). Det litteraturen ikke sier noe om, er ulempene med å bruke denne metoden. Både at kravet om prøvemengde og problemer med å se omslagspunktet, kan være faktorer som spiller inn på at analysen ikke er mer utbredt selv om den er standardisert.

5.3 Diskusjon av potensiometrisk metode

Nøyaktigheten og presisjonen blir beskrevet som meget god. Den er avhengig av en dyktig operatør og at kalibreringen er utført riktig. (7) (9) (10)

Alle de tre aktørene som er blitt intervjuet kommenterer denne analysemetoden. Alle er enige om at nøyaktigheten er meget bra. Aktør 2 forteller at den gir utfordringer på de laveste konsentrasjoner, men dette blir ikke nevnt av de to andre. Det blir også fortalt at den ikke er

like personavhengig som de to andre titreringsmetodene. Den betegnes kun som middels tidkrevende hvis man har en automatisk titrator med karusell. Det er også mulig å endre nøyaktigheten ved å benytte seg av en annen titreringsløsning.

Både litteraturen og intervju objektene er enige om at dette er en metode med god nøyaktighet. Det de er litt uenige om, er brukervennligheten til metoden. Det kan være at aktør 2 har sett for seg en automatisk titrator, mens litteraturen beskriver den klassiske måten å gjøre det på. Dette virker som den mest utbredte metoden.

5.4 Diskusjon av spektrofotometrisk metode

Spektrofotometrisk metode får litt blandet kritikk. «Chloride penetration into concrete – State of the Art» (10) sier at denne metoden ikke fikk same resultat som titreringsmetodene. Dette vil likevel ikke si at metoden er unøyaktig. SINTEF Byggforsk (7) mener denne metoden gir god nøyaktighet og presisjon. Har likevel ikke funnet nok litteratur til å bekrefte nøyaktigheten. Det blir nevnt at dette er en veldig dyr og omfattende metode, så det er begrenset hvem som kan drive med denne. (24)

Kun aktør 2 kommenterer nøyaktigheten på metoden. Den blir beskrevet som nøyaktig på alle konsentrasjoner. Aktør 2 beskriver den også som brukervennlig, men tidkrevende. Aktør 2 og aktør 3 sier også at denne analysemetoden er på vei til å gå ut på grunn av kvikksølvforbindelser i noen av løsningene. Dette er en faktor som jeg ikke har tatt med i betraktning når jeg begynte å skrive oppgaven, men er noe som absolutt må være med i en vurdering. Klima- og forurensningsdirektoratet (KLIF) sier:

«I Norge er det fastsatt en nasjonal målsetning om at utslipp og bruk av kvikksølv skal kontinuerlig reduseres med det mål å stanse bruk og utslipp innen 2020» (25) s. 3.

Dermed burde man ikke investere i en slik analysemetode som om noen år ikke kan brukes i det hele tatt.

5.5 Diskusjon av Quantab

Dette er først og fremst en feltundersøkelse. Flere av kildene (7) (9) (6) (10) (8) (23) uttrykker at det er grunn til bekymring, og at man ikke kan se på resultatene som nøyaktige.

Bekymringene kommer litt av at det er så stor spredning i resultatene, selv om noen av resultatene er ganske nøyaktige. Den får skryt for at den er hurtig. De kommenterer også at gyldigheten til Quantab ikke er egnet til å måle ned mot kravene i NS 3420 som beskriver den maksimale kloridkonsentrasjonen i armert betong. (7)

Det er aktør 2 og aktør 3 som kommenterer denne metoden under intervjuene. Begge forteller at denne metoden ikke kan ses på som helt nøyaktig og at presisjonen ikke er spesielt god. Den er relativt kjapp, billig og enkel å bruke

Både aktørene og litteraturen er enig om at dette er en feltmetode med mindre god nøyaktighet. Den kan være enkel og grei å bruke dersom man bare trenger en indikasjon på hvor langt kloridene har kommet inn i betongen.

5.6 Diskusjon av Rapid Chloride Test (RCT-test)

RCT-test er også en feltundersøkelse. Den får blandet kritikk, og virker som en god feltundersøkelse med relativt god presisjon, men dessverre litt unøyaktig. Det blir også nevnt at nøyaktigheten reduseres når kloridkonsentrasjonen øker. RCT-testen gir raske resultater. Det er blitt rapportert om vanskeligheter med å lese av resultatet fordi elektroden har brukt lang tid på å stabilisere seg. Det blir også kommentert at kalibreringsvæskene har begrenset holdbarhet. (9) (7) (5)

Under intervjuene så kommenterer aktør 1 og aktør 2 metoden. Her er de litt uenige om nøyaktigheten, der den ene aktøren forteller at de ikke bruker denne mer på grunn av at den ikke er nøyaktig nok, mens den andre sier at den kan være nokså nøyaktig dersom man bruker en vekt for innveining. Det blir nevnt at det kan være problemer med gjennomføringen av analysemetoden. Her blir det nevnt at det mistenkes at elektroden kan trekke til seg andre ioner, komplikasjoner med kalibreringen og at oppløsningen med betongstøv ikke hadde samme temperatur som den ion selektive elektroden.

Det virker som om både litteraturen og aktørene som har blitt intervjuet, er litt uenige om nøyaktigheten til analysemetoden. Det kommer frem en del faktorer som kan være problematiske ved å benytte denne metoden. For meg så fremstår Rapid Chloride Test som en relativt nøyaktig feltmetode, som man bør ha erfaring med for å bruke. For å unngå alle problemene som kan oppstå.

5.6 Valg av analysemetode

Hvilken analysemetode man bør benytte kommer an på i hvilken situasjon man er, og hvor stort omfanget av tilstandsanalysen man skal gjennomføre er. En kloridanalyse gjennomføres som nevnt tidligere, bare når det er en utvidet eller fullstendig tilstandsanalyse.

I de fleste tilfeller ville jeg valgt en laboratorieanalyse. Kun i de tilfellene hvor jeg bare trenger en indikasjon på hvordan kloridinnholdet i en armert betongkonstruksjon er, så kunne jeg ha benyttet meg av en feltmetode.

Ved en fullstendig tilstandsanalyse så ville jeg definitivt valgt en laboratorieanalyse. Siden en slik analyse kan gi store konsekvenser for hvilket arbeid som blir gjort videre, så legger jeg hovedvekten på en analysemetode med god nøyaktighet.

6 Konklusjon

Gjennom denne oppgaven har jeg undersøkt hvilken analysemetode man bør benytte for å sjekke kloridinnholdet i en betongkonstruksjon.

Min undersøkelse viser at potensiometrisk metode er den metoden som kommer best ut. Denne titreringsmetoden virker ganske nøyaktig, samtidig som den ikke krever så mye av operatøren for å se endepunktet slik de to andre titreringsmetodene gjør.

6.1 Diskusjon av konklusjon

Ut ifra kompetanse, tilstandsanalysens omfang, utstyr man har til stede og andre ressurser, så kan kanskje en annen metode være bedre egnet. Som det kommer fram under intervju 1 og intervju 3, så er en av grunnene til at de bruker den metoden de bruker at de har god erfaring med den og at det er enklest å bruke den metoden da.

Resultatet av denne forskningen kommer i størst grad til å påvirke de som har tenkt til å starte med kloridanalyser av betong, eller de som har planer om å skifte ut metoden de bruker. For eksempel bytte ut spektrofotometrisk metode nå som kvikksølvforbudet blir strengere.

Siden det er ressurskrevende å bytte analysemetode, så tror jeg de færreste vil gjøre det dersom de har en metode som de har godt innarbeidet og fungerer.

Det finnes forskjellige måter å ta de fleste analysene på. Få av metodene er standardiserte, så det er ofte opp til hver operatør/laboratorium å bestemme hvordan hver enkelt metode skal utføres. Også verdt å merke seg at når det kommer til Quantab, så finnes det forskjellige strips med forskjellige gyldighetsområder.

6.2 Videre arbeid

Fremover så synes jeg det burde være mer forskning for å oppnå en bedre nøyaktighet og presisjon på feltmetodene. Dette vil føre til at man kan få svar på kloridinnholdet i betongkonstruksjoner med en nøyaktighet som er tilfredstillende, og som både er kjapp og billig.

Jeg tror ikke det vil være noe hensiktsmessig å forbedre nøyaktigheten på de laboriemetodene som er blant de mest brukte i dag. Det kan være fordelaktig med tanke på forskning der man trenger høy nøyaktighet, men tror ikke det vil ha noe praktisk erfaring for å danne et grunnlag for vedlikehold eller reparasjon av betongkonstruksjoner.

7 Kilder

1. Thue VJ. armeringskorrosjon. snl.no: Store norske leksikon; 2009 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: <http://snl.no/armeringskorrosjon>.
2. 520.061 Armeringskorrosjon. SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer2009 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=298§ionId=2>.
3. Vennesland Ø. Bestandighet, vedlikehold og reparasjon av betongkonstruksjoner. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet NTNU; 2005.
4. 14.643 Kloridinnhold i betongpulver ved potensiometrisk titrering. Statens vegvesen; 1997 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.64/014-643.pdf.
5. 14.641 Kloridinnhold i betong ved RCT-test. Statens vegvesen; 1997 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.64/014-641.pdf.
6. 14.642 Kloridinnhold i betong ved Quantab-test. Statens vegvesen; 1997 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.64/014-642.pdf.
7. 520.034 Bestemmelse av kloridinnhold i betong. Prøveuttak og analysemetoder. SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer 1993 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=292§ionId=2>.
8. Gran HC. Measurement of chlorides in concrete. An evaluation of three different analysis techniques. Norges byggforskingsinstitutt; 1992 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sintef.no%2Fupload%2FByggforsk%2FPublikasjoner%2FProsjektrapport110.pdf&ei=dZ2DUdHFFc3csgb-hIH4Cg&usq=AFQjCNHWBpn_ok9uzL_AvwO92KlzW3hrrQ&bvm=bv.45960087,d.Yms.
9. Reknes K. Måling av kloridinnhold i betong. Felt- og laboratoriemålinger. Ringforsøk. Oslo: Norges Byggforskingsinstitutt; 1994.
10. Nilsson L-O, Poulsen E, Sandberg P, Sørensen HE, Klinghoffer O. Chloride penetration into concrete. State of the art. Road direction; 1996 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/463/rap53.pdf.
11. Tang L, Utgennant P, Lindvall A, Boubitsas D. Validation of models and test methods for assessment of durability of concrete structures in the road environment. CBI Betonginstituttet; 2010 [cited 2013 09.05.2013].
12. Thue JV. Betong. snl.no: Store norske leksikon; 2011 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://snl.no/betong>.
13. Årtun T, Nesse N. Sement. snl.no2009 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://snl.no/sement>.
14. Klorider. Store norske leksikon; 2009 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://snl.no/klorider>.
15. leksikon Sn. Natrium. snl.no: Store norsk leksikon; 2009 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: http://snl.no/sml_artikkel/natrium.
16. God betong er bestandig. NORCEM Heidelberg Cement Group; [cited 2013 28.04.2013]; Available from: www.heidelbergcement.com/NR/...D778.../552Bestandighetsbrosj.pdf.
17. Hemmingsen T. Hva skjer mellom Fe=3 og CL- ? www.kjemi.no: Norsk kjemisk selskap; [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://www.kjemi.no/spor/?svar=108>.
18. 720.111 Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner. www.byggforsk.no: SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer; 1995 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=657§ionId=2>.
19. Steen BG. Himmelsk kjemi. Høyskoleforlaget; 2006.
20. Norge S. NS 3671 Betongprøving. Herdet betong. Kloridinnhold. Lysaker: Pronorm; 1987.
21. Wroblewski W. Ion-selective electrodes. <http://csrg.ch.pw.edu.pl/>: Chemical Sensors Research Group; 2005 [cited 2013 07.05.2013]; Available from: <http://csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials/ise/>.
22. Castellote M, Andrade C. Round-Robin test on chloride analysis in concrete - Part I: Analysis of total chloride content. Madrid, Spania2001; Available from: <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF02482181.pdf>.
23. Østnor TA. Intervju over mail med SINTEF. 2013.
24. Bamforth PB, Price WF, Emerson M. An International Review of Chloride Ingress into Structural Concrete: A Tri-report. Edinburgh: Heriot-Watt University Research Park; 1997.
25. Handlingsplan for å redusere utslipp av kvikksølv - 2010. www.klif.no: Klima- og forurensningsdirektoratet; 2010 [cited 2013 08.05.2013]; Available from: <http://www.klif.no/publikasjoner/2684/ta2684.pdf>.

Vedlegg

Nøyaktighet og presisjon

	Mohr's metode	Volhard's metode	Potensiometrisk metode	Quantab	Rapid Chloride Test (RCT)	Spektrofotometrisk metode
Byggforskserien Bestemme Isen av klorid- innhold i betong [1]	«Mohr gir god presisjon og nøyaktighet på alle nivåer av kloridkonsentrasjon»	«Metoden gir god presisjon og nøyaktighet når den utføres riktig. Slik den er beskrevet i NS 3671, er den for dårlig ved lave konsentrasjoner»	«Metoden har en høy reproduserbarhet og nøyaktighet. Resultatene er avhengige av at kalibreringskurven er riktig»	«Quantab egner seg ikke til å måle kloridinnhold ned mot kravene i NS 3420...»	«RCT gir god presisjon, men nøyaktigheten er dårlig. Nøyaktigheten reduseres med økende kloridkonsentrasjon»	«Metoden gir god nøyaktighet og presisjon»
Prosjektrapport: Måling av kloridinnhold i betong [2]	«Metoden måler i gjennomsnitt litt for lavt kloridinnhold, men resultatet er svært avhengig av utstyret som benyttes» «Presisjonen øker med økende kloridinnhold» [2] s. 27	«Metoden måler kloridinnhold svært nær opp til det dokumenterte kloridinnholdet» «Metoden betinger, for å gi resultater med stor nøyaktighet og presisjon, at operatøren har utført analyser med metoden over lengre tid» [2] s. 27	«Spredningen i analyseresultatene er stor. Kloridinnholdet, som måles med metoden, ligger i gjennomsnitt svært nær opp til det dokumenterte gjennomsnittet» «... Brukbar grad av presisjon» «Metoden gir ikke større absolutt målefeil med økende kloridinnhold» [2] s. 26	«Spredning i analyseresultatene er meget store. Kloridinnholdet som måles med metoden, ligger under det virkelige kloridinnholdet og tendensen til å måle for lavt øker med økende kloridkonsentrasjon» «... brukbar grad av presisjon» [2] s. 25		

Nøyaktighet og presisjon

	Mohr's metode	Volhard's metode	Potensiometrisk metode	Quantab	Rapid Chloride Test (RCT)	Spektrofotometrisk metode
Statens vegvesens veiledninger				«Metoden har en rekke potensielle feilkilder og regnes som noe usikker» «Usikkerheten er størst ved lave konsentrasjoner» [3]	«... gir god repeterbarhet, men kan gi mindre god overensstemmelse med det faktiske kloridinnholdet slik dette lar seg bestemme ved andre metoder. Nøyaktigheten reduseres med økende kloridkonsentrasjon» [4]	
Chloride penetration into concrete – State of Art [5]		“The precision of the test result mainly depends on the experience and competence of the operator and also on the accuracy of the test equipment” [5] s. 39 “Volhard titration gave high accuracy and small variability” [5] s. 43	“Potentiometric titration is an analytical technique of very good precision, if the operator is skilled and calibration is performed carefully” [5] s. 40	“... considered as a field method, which gives fast but not very accurate test results” [5] s. 41	“The performance of the RCT method is quite good in this case” [5] s. 40	“The accuracy does not correspond to those of titration methods” [5] s. 41

Nøyaktighet og presisjon

	Mohr's metode	Volhard's metode	Potensiometrisk metode	Quantab	Rapid Chloride Test (RCT)	Spektrofotometrisk metode
Measurement of chlorides in concrete [6]		<p><i>"At higher concentrations, the Volhard titration is the best in all aspects. At the lowest concentration of 0,025 %, the Volhard technique exhibits somewhat unexpectedly both rather poor accuracy and poor precision..."</i></p> <p>[6] s. 18</p>		<p><i>"... varying results. It suffers from rather poor accuracy although precision is good." "... relatively good precision..." "... reason for concern." [6] s. 17</i></p>		

Tid

	Mohr's metode	Volhard's metode	Potensiometrisk metode	Quantab	Rapid Chloride Test (RCT)	Spektrofotometrisk metode
<p>Chloride penetration into concrete – State of the Art [5]</p>				<p><i>“Quantab strips are fast...”</i> <i>“... considered as a field method” [5] s. 41</i></p>		
<p>Measurement of chlorides in concrete – An evaluation of three different analysis techniques [6]</p>		<p>“The Volhard titration is the most tedious of the three techniques evaluated in this work” [6] s. 19 (Volhard, Quantab and ion selective electrode)</p>		<p><i>“Quantab test is the fastest of the three techniques (Volhard, Quantab and ion selective electrode)” [6] s. 18</i></p>		

Økonomi

	Mohr's metode	Volhard's metode	Potensiometrisk metode	Quantab	Rapid Chloride Test (RCT)	Spektrofotometrisk metode
An international review of chloride ingress into structural concrete [7]						“... this technique requires expensive equipment and a high level of expertise and would normally only be found in large fixed laboratories” [7] s. 81
Aktør A		«En kloridanalyse koster NOK 1400 eks. mva. Ved flere enn 3 analyser gis rabatt.»				
Universitet			3000 kr «Prisene er utarbeidet for utførelse av test på et prøvestykke. Hvis det er snakk om en større prøveserie, så kan prisene justeres»			
Aktør B «Tar timelønn, og tar ikke bestillinger for tiden. Men prisen ville ca. ha ligget på:»			Ca. 13 timer for 10 prøver. Dermed 11.000 kr + mva. Altså ca. 1100 kr per prøve (prisen krever et visst antall)			

1. 520.034 Bestemmelse av kloridinnhold i betong. *Prøveuttak og analysemetoder*. 1993 [cited 2013 28.04.2013]; Available from: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=292§ionId=2>.
2. Reknes, K., *Måling av kloridinnhold i betong. Felt- og laboratoriemålinger*. Ringforsk, 1994, Norges Byggforskningsinstitutt: Oslo.
3. 14.642 Kloridinnhold i betong ved Quantab-test. 1997 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.64/014-642.pdf.
4. 14.641 Kloridinnhold i betong ved RCT-test. 1997 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.64/014-641.pdf.
5. Nilsson, L.-O., et al. *Chloride penetration into concrete. State of the art*. 1996 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/463/rap53.pdf.
6. Gran, H.C. *Measurement of chlorides in concrete. An evaluation of three different analysis techniques*. 1992 [cited 2013 03.05.2013]; Available from: http://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqj=2&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sintef.no%2Fupload%2FByggforsk%2FPublikasjoner%2FProsjektrapport110.pdf&ei=dZ2DUdHFFc3csgb-hIH4Cg&usq=AFQjCNHwBpn_0k9uzL_AvwO92KlzW3hrrQ&bvm=bv.45960087.d.Yms.
7. Bamforth, P.B., W.F. Price, and M. Emerson, *An International Review of Chloride Ingress into Structural Concrete: A Tri-report*, 1997, Heriot-Watt University Research Park: Edinburgh.