BYGGFORSK
Norges byggforskningsinstitutt

Kåre Reknes

Måling av kloridinnhold i betong

Felt- og laboratoriemålinger. Ringforsøk

149 Prosjektrapport 1994

BYGGFORSK
Norges byggforskningsinstitutt

Kåre Reknes

Måling av kloridinnhold i betong

Felt- og laboratoriemålinger. Ringforsøk

Prosjektrapport 149 – 1994

Prosjektrapport 149
Kåre Reknes
Måling av kloridinnhold i betong
Felt- og laboratoriemålinger. Ringforsøk

ISSN 0801-6461
ISBN 82–536–0447–5
100 eks. trykt av
S. E. Thoresen as
Cyclus resirkulert papir
omslag 200 g, innmat 100 g

© Norges byggforskningsinstiututt 1994

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 00
Fax: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

INNHOLD

	Kort sammendrag	4
1.	Innledning	5
2.	Ringforsøkets oppbygging	6
3.	Prøvefremstilling	7
3.1	Betongen	7
3.2	Produksjon av betongstøvet	7
3.3	Dokumentert kloridinnhold i betongstøvet	8
4.	Prøvemetoder	10
4.1	RCT	10
4.2	Quantab	11
4.3	Volhard	12
4.4	Potensiometrisk titrering	12
4.5	Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode	12
4.6	Spektrofotometrisk måling	12
5.	Analyseresultater	13
5.1	RCT	13
5.2	Quantab	15
5.3	Volhard	17
5.4	Potensiometrisk titrering	19
5.5	Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode	21
5.6	Spektrofotometrisk måling	23
6.	Diskusjon av analyseresultater	25
6.1	RCT	25
6.2	Quantab	26
6.3	Volhard	27
6.4	Potensiometrisk titrering	27
6.5	Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode	28
7.	Forslag til analyserutiner	28
7.1	Generelt	28
7.2	Feilgrenser	28
7.3	RCT	29
7.4	Quantab	30
7.5	Volhard	31
7.6	Potensiometrisk titrering	32
7.7	Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode	33
7.8	Spektrofotometrisk måling	33
8.	Konklusjon	34
9.	Referanser	35
	Vedlegg	36
	Analyseresultater	
	RCT	vedlegg 1
	Quantab	vedlegg 2
	Volhard	vedlegg 3
	Potensiometrisk titrering	vedlegg 4
	Potensiomterisk måling med ioneselektiv elektrode	vedlegg 5
	Spektrofotometrisk måling	vedlegg 6

KORT SAMMENDRAG

Norges byggforskningsinstitutt ble av Statens vegvesen Vegdirektoratet gitt i oppdrag å gjennomføre et ringforsøk for felt- og labmetoder for måling av kloridinnhold i betong. Ringforsøket var rettet mot konsulenter og vegkontorer som i forbindelse med tilstandskontroll av bruer utfører målinger av kloridinnhold i betong.

Hensikten med ringforsøket var:

- Å frembringe en oversikt over de mest benyttede metodene for kloridbestemmelse.
- Å frembringe en oversikt over metodenes nøyaktighet og presisjon.
- Å utarbeide forslag til analyseprosedyrer for kloridbestemmelse i betong for Vegdirektoratets Bruavdeling.

Ringforsøket avslørte at den nøyaktigheten og presisjonen, som oppnås i kloridanalysene, først og fremst er avhengig av operatørens metodeerfaringer.

Ved alle kloridanalyser bør det legges inn referanseprøver i form av kontrollprøver i analysesettet. Dette for å avsløre aventuelle feil i analysene.

1. INNLEDNING

Norges byggforskningsinstitutt (NBI) ble av Statens vegvesen Vegdirektoratet Bruavdelingen gitt i oppdrag å gjennomføre et ringforsøk for felt- og labmetoder for måling av kloridinnhold i betong.

Statens vegvesen foretar hvert år en rekke inspeksjoner av bruer hvor bl.a. bestemmelse av kloridinnhold i betong inngår. Disse målingene er spesielt viktige i forbindelse med reparasjon og der hvor det er mulig å forebygge kloridinitiert armeringskorrosjon med overflatebehandling av betongen. Prøvemetodene som brukes må derfor måle lave kloridkonsentrasjoner med stor nøyaktighet og presisjon. Nøyaktigheten og presisjonen i bestemmelsen av kloridinnhold i betong er ved siden av prøveuttaket også avhengig av oppslutningsprosedyren og den benyttede målemetoden.

Norges byggforskningsinstitutt (NBI) var i 1992 koordinator for et ringforsøk i regi av Nordtest hvor man testet ulike lab- og feltmetoder for bestemmelse av kloridinnhold i betong /1/. Det ble avdekket tildels stor spredning og liten nøyaktighet. Dette gjaldt spesielt ved lave kloridinnhold. Det var derfor ingen grunn til å forvente at nøyaktighet og presisjon i bestemmelse av kloridinnhold i betong i forbindelse med tilstandskontroll av bruer var større enn i ringforsøket som ble gjennomført i 1992.

Vegdirektoratets Bruavdeling ønsket på bakgrunn av dette å gjennomføre et nytt ringforsøk rettet mot konsulentfirmaer og vegkontorer som i forbindelse med tilstandskontroll av bruer utfører målinger av kloridinnhold i betong. Ringforsøket ble gjennomført med NBI som prosjektkoordinator.

Hensikten med ringforsøket var:

- Å frembringe en oversikt over de mest benyttede metodene for kloridbestemmelse.
- Å frembringe en oversikt over metodenes nøyaktighet og presisjon.
- Å utarbeide forslag til analyseprosedyrer for kloridbestemmelse i betong for Vegdirektoratets Bruavdeling.

2. RINGFORSØKETS OPPBYGGING

Ringforsøket hadde følgende oppbygging:

1. Betong med innstøpt klorid ble fremstillt og malt opp til støv. Kloridinnholdet i betongstøvet ble dokumentert med analyser. For å verifisere analysene ble referansestøv lagt inn som kontrollprøver.
2. Første fase bestod av at hvert deltakende firma og vegkontor fikk tilsendt et sett prøver med betongstøv pr. analysemetode som de var påmeldt i ringforsøket med. Et prøvesett bestod av to prøver med kloridinnhold på hhv. 0,132 og 0,430 masseprosent av sementvekt. Kloridinnholdet ble oppgitt slik at deltakerne skulle ha mulighet for å korrigere eventuelle feil ved utstyr og i rutiner som analysene ble utført etter. Analyseresultatene ble rapportert til NBI.
3. Andre fase i ringforsøket bestod av at hvert deltakende firma og vegkontor fikk tilsendt et sett prøver med betongstøv pr. analysemetode som de var påmeldt i ringforsøket med. Et prøvesett bestod av fem prøver: en prøve med kloridinnhold på 0,132, en prøve med 0,279, to prøver med 0,430 og en prøve med 0,989 masseprosent av sementvekt. Kloridinnholdet ble ikke oppgitt. Analyseresultatene ble rapportert til NBI.

Alle deltagende firma og vegkontorer ble tildelt et nr. Dette nr. ble benyttet som oppslagsnøkkel i alle sammenstillinger av analyseresultatene. Det er kun NBI som kjener koblingen av firmanavn og vegkontor og det tilhørende nr.

3. PRØVEFREMSTILLING

3.1 Betongen

Betongresepten ble utarbeidet på grunnlag av en resept som er typisk for den betongen som Statens vegvesen bruker i brukonstruksjoner i dag. En redusert D_{maks} ble valgt av hensyn til betongproduksjonen.

I tabell 1 er betongreseptene stillt opp.

Betongen ble tilsatt klorider i form av NaCl. NaCl ble løst opp i en del av blandevannet og tilsatt betongen sammen med dette.

Tabell 1
Betongreseptene

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,10 %	0,25 %	0,40 %	1,00 %
Delmaterialer	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³
Sement	400	400	400	400
Silika	12	12	12	12
Vann (totalt)	155	155	155	155
v/(c+2s)	0,37	0,37	0,37	0,37
Tilslag:				
0 - 8 mm	1181	1181	1181	1181
8 - 11 mm	664	664	664	664
Tilsetningsstoffer:				
SP	3,00	3,00	3,00	3,00
P	4,00	4,00	4,00	4,00
L	0,80	0,80	0,80	0,80

3.2 Produksjon av betongstøvet

Betongen ble blandet i satser på 10,0 l i en plastbøtte vha. en langsomtgående drill som var påsatt en rører. Betongen ble støpt ut i 100 mm x 100 mm x 100 mm terningformer. Terningformene var belagt med plastfolie for å unngå bruk av formolje. Syv terninger ble støpt av hver resept. Betongen ble herdet under plastfolie ved 20 °C i 28 døgn før den ble knust i trykkpresse, tørket ved 105 °C og malt i en Labor skivesvingsmølle. Under oppmaling av betongstøvet ble alt støvet siktet på 150 µm sikt og fraksjonen med korn større enn 150 µm ble malt ytterligere opp. Fire terninger fra hver resept ble malt opp. Betongstøvet ble så fylt på plastflasker og homogenisert ved rotering i to timer.

Betongstøvet ble fylt på 28 ml store dramsglass med lufttett lokk. I hvert glass ble det fylt ca. 20 g betongstøv.

3.3 Dokumentert kloridinnhold i betongstøvet

Kloridinnholdet i prøvene ble dokumentert ved at det ble tatt ut ti prøver av betongstøvet før det ble fylt på dramsglass. Etter at betongstøvet var fylt på dramsglassene ble ytterligere seks prøver tatt ut. Prøvene ble analysert med potensiometrisk titrering med sølvnitratløsning med en autotitrator. Det gjennomsnittlige kloridinnholdet i prøvene og det tilhørende standardavviket fra disse analysene er vist i tabell 2 og fig. 1. I det følgende er det gjennomsnittlige kloridinnholdet kalt "dokumentert kloridinnhold i masseprosent av betongvekten". Blandt prøvene ble også referansestøv, som er dokumentert i /2/, lagt inn i form av kontrollprøver. Dette for å avsløre eventuelle feil i analysene. Resultatet av analysene av referanseprøvene er vist i fig. 2. Årsaken til forskjell mellom det teoretiske og det beregnete kloridinnholdet i masseprosent av sementvekten er å finne bl.a. i innveiingsfeil under betongproduksjonen, unøyaktigheter under knusing og oppmaling av betongstøvet og feil i bestemmelsen av kloridinnholdet. Fig. 2 viser at feilen i kloridanalysene er svært liten.

Tabell 2
Kloridinnhold i betongstøvet

Teoretisk kloridinnhold	Målt kloridinnhold		Beregnet kloridinnhold
Kloridinnhold, masseprosent av sementvekt	Gjennomsnitt, masseprosent av betongvekt	Standardavvik, masseprosent av betongvekt	Gjennomsnitt, masseprosent av sementvekt
0,10 %	0,0225 %	0,0007 %	0,132
0,25 %	0,0474 %	0,0005 %	0,279
0,40 %	0,0731 %	0,0018 %	0,430
1,00 %	0,1681 %	0,0022 %	0,989

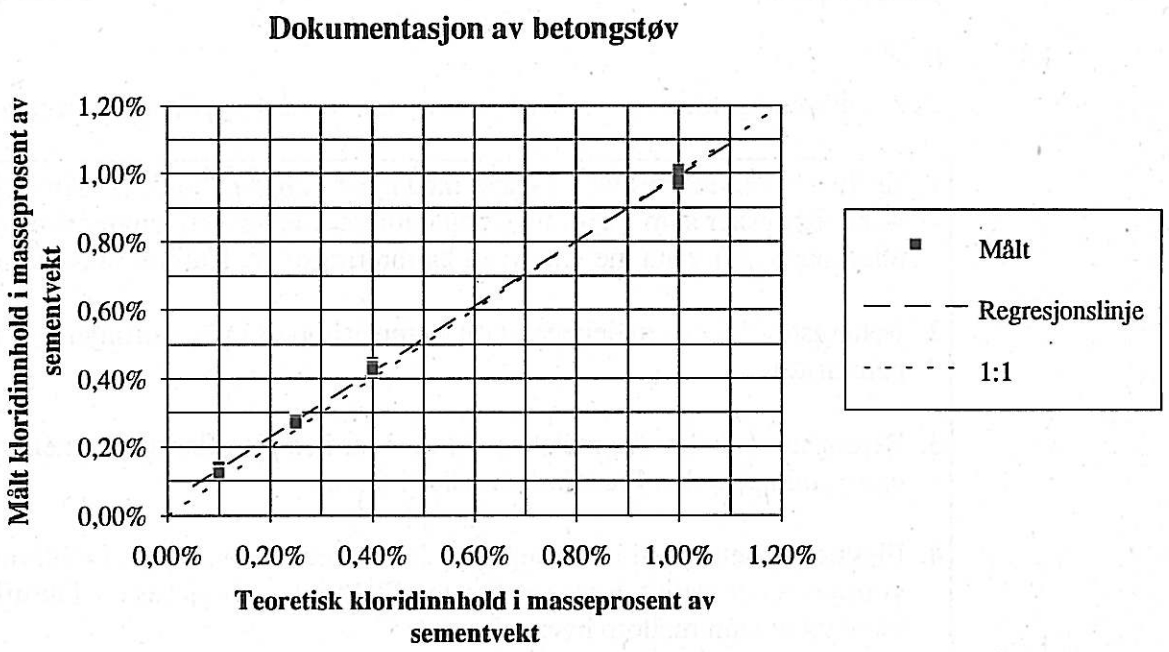

Fig. 1
Målt kloridinnhold i betongstøvet i forhold til det teoretiske kloridinnholdet. Regresjonskoeffisienten er 0,9991

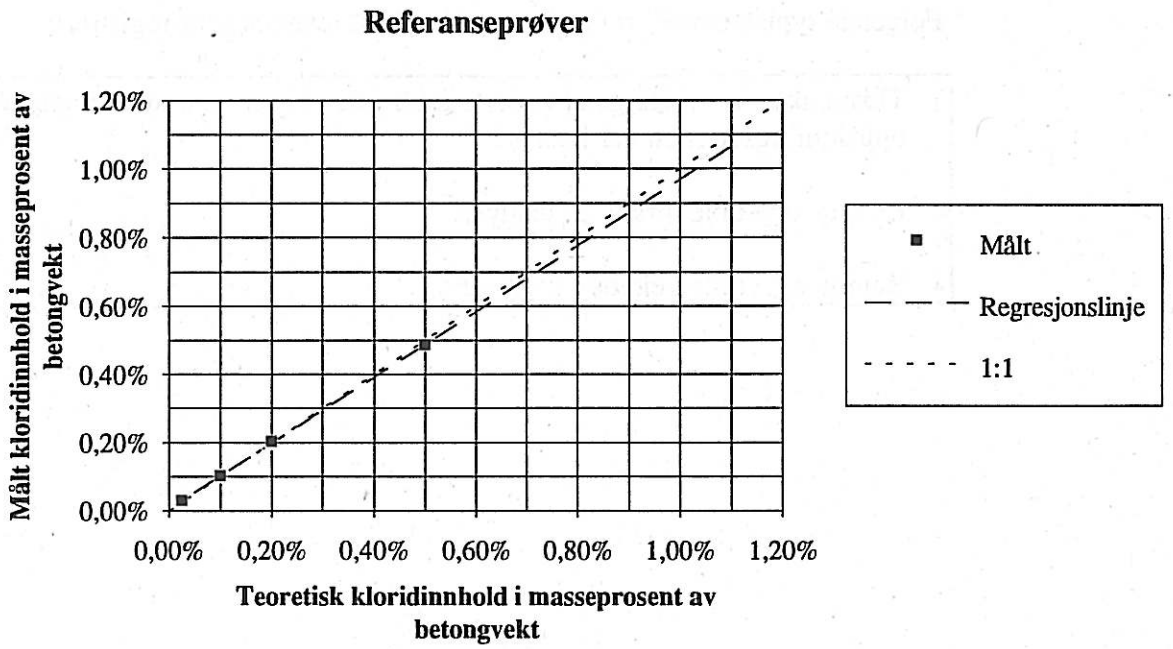

Fig. 2
Målt kloridinnhold i referanseprøver i forhold til referanseprøvenes oppgitte kloridinnhold. Regresjonskoeffisienten er 0,9998

4. PRØVEMETODER

4.1 RCT

Den typiske oppslutnings- og analyseprosedyren var bygget opp som følger:

1. Elektroden kalibreres vha. væsker med kjent kloridinnhold. Fortrinnsvis benyttes standardvæsker som følger med apparaturen. Elektroden rengjøres med destillert eller ionebyttet vann mellom hvert kalibreringsnivå. Kalibreringskurven tegnes opp.
2. Betongstøv fylles i målebegeret og stampes opp til indikatorlinjen for 1,5 g betongstøv.
3. Betongstøvet helles fra målebegeret og over i en plastflaske sammen med 10 ml oppslutningsvæske. Plastflasken ristes i 5 min.
4. Elektroden settes ned i den oppsluttede væsken. I det utslaget i millivolt på voltmeteret er stabilt, leses verdien av. Elektroden rengjøres med destillert eller ionebyttet vann mellom hver avlesning.
5. Elektroden kalibreres på ny for å korrigere for drift i løpet av målingene.
6. Kloridinnholdet bestemmes ved at den avleste spenningen plottes på kalibreringskurven. Kloridinnholdet leses av direkte i masseprosent av betongvekt.

Følgende typiske avvik fra rutinen som er beskrevet over er registrert:

- Tidspunktet for målingene varierte fra 2 til 24 timer etter at betongstøvet og oppslutningsvæsken var blandet.
- Betongstøvet ble tørket før analyse.
- Betongstøvet ble veid opp med vekt.

4.2 Quantab

Den typiske oppslutnings- og analyseprosedyren var bygget opp som følger:

1. 5 g betongstøv veies inn i et beger.
2. 50 ml HNO_3 (salpetersyre) (7,5 %) tilsettes. Prøven røres om 3 ganger og hver gang i 10 sek. Mellom hver omrøring ventes det 2 til 3 min.
3. 5 g natriumkarbonat tilsettes og det røres om i 10 sek.
4. Et filterpapir brettes konisk og settes ned i begeret slik at væsken (filtratet) trenger gjennom filteret. Quantabstrippen plasseres i filtratet.
5. Quantabstrippen leses av etter registrert fargeomslag på indikatormerket. Kloridinnholdet (i ppm) i filtratet leses av i tabellen som fulgte med Quantabstrippen.
6. Kloridinnholdet i betongstøvet i masseprosent av betongveketen er da:

$$\%Cl = \frac{Avlest\,Cl(ppm)\cdot 10(løsning)\cdot 100(\%)}{1.000.000} = Avlest\,Cl(ppm)\cdot 0,001$$

Følgende typiske avvik fra rutinen som er beskrevet er registrert:

- Betongstøvet ble tørket før analyse.
- 10 g betongstøv ble brukt.
- Blandingen av betongstøv og HNO_3 ble varmet opp til kokepunktet.

4.3 Volhard

Analysene ble utført i hht. NS 3671.

Følgende typiske avvik fra rutinen som er beskrevet er registrert:

- Byretter med mulighet for å måle finere enn det de 25 ml byrettene som NS 3671 beskriver ble brukt hos noen firma.

4.4 Potensiometrisk titrering

Den typisk oppslutnings- og analyseprosedyren var bygget opp som følger:

1. 1,5 g betongstøv veies opp i et beger.
2. 5 ml HNO_3 tilsettes. Det røres om. Løsningen varmes opp til kokepunktet
3. 5 ml destillert eller ionebyttet vann tilsettes. Det røres om.
4. Prøven filtreres og filteret vaskes med HNO_3.
5. Elektroden plasseres i filtratet og titrering med sølvnitratløsning begynner.
6. Titreringen stoppes når ekvivalenspunktet er nådd.

Følgende typiske avvik fra rutinen som er beskrevet er registrert:

- Betongstøvet ble tørket før analyse.

4.5 Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode

Metoden ble kun utført av et firma i denne undersøkelsen. Analyserutinen ble ikke rapportert og er derfor ikke tilgjengelig.

4.6 Spektrofotometrisk måling

Metoden ble kun utført av et firma i denne undersøkelsen. Analyserutinen ble ikke rapportert og er derfor ikke tilgjengelig.

5. ANALYSERESULTATER

5.1 RCT

Analyseresultatene er vist i fig. 3 og 4, og listet i vedlegg 1. Målefeilen er vist i fig. 5. Tabell 3 inneholder statistiske data over analyseresultatene.

Tabell 3
Statistiske data over analyseresultatene for RCT

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,132 %	0,279 %	0,430 %	0,989 %
	Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt			
	0,0225 %	0,0474 %	0,0731 %	0,1681 %
Gjennomsnitt av målingene i masseprosent av betongvekt	0,0165 %	0,0361 %	0,0546 %	0,1416 %
Standardavvik	0,0039 %	0,0064 %	0,0116 %	0,0251 %

Regresjonskoeffisient, R^2	0,8988	Antall målinger pr. prøve
Regresjonslinjen: $y = a + b \cdot x$		43
a	-0,0057 %	Antall firma
b	0,8640	17

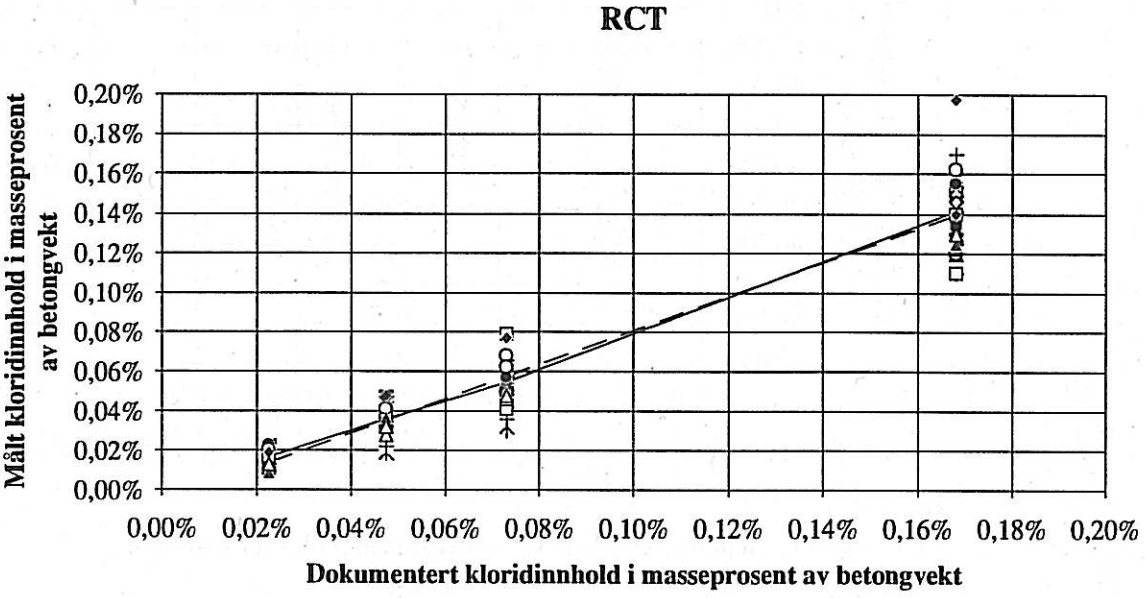

Fig. 3
RCT: Målt kloridinnhold i masseprosent av betongvekt. Heltrukken linje viser gjennomsnittsverdiene, mens stipplett linje viser regresjonslinjen

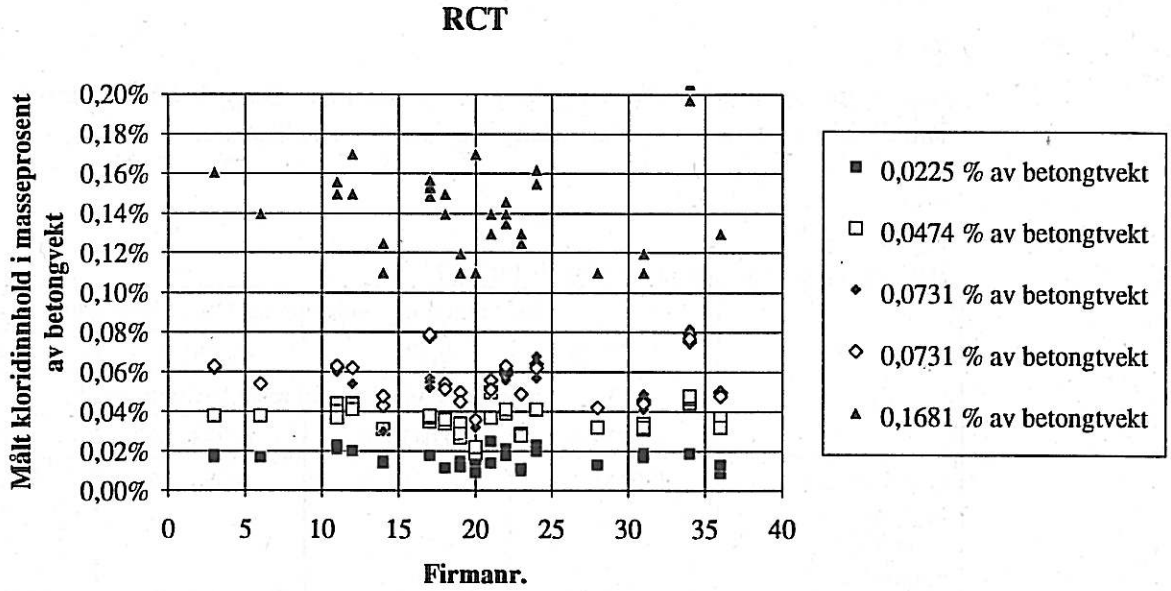

Fig. 4
RCT: Alle analyseresultatene som funksjon av firmanr.

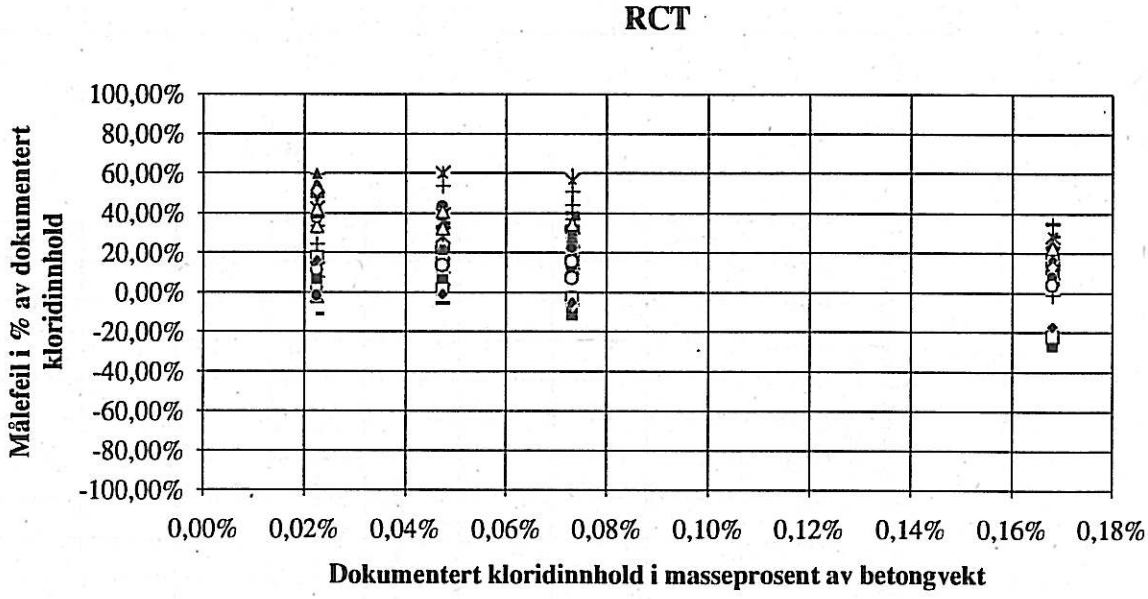

Fig. 5
RCT: Målefeil. En positiv målefeil viser at det er målt for lavt kloridinnhold.

5.2 Quantab

Analyseresultatene er vist i fig. 6 og 7, og listet i vedlegg 2. Målefeilen er vist i fig. 8. Tabell 4 inneholder statistiske data over analyseresultatene.

Tabell 4
Statistiske data over analyseresultatene for Quantab

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,132 %	0,279 %	0,430 %	0,989 %
	Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt			
	0,0225 %	0,0474 %	0,0731 %	0,1681 %
Gjennomsnitt av målingene i masseprosent av betongvekt	0,0243 %	0,0501 %	0,0745 %	0,1622 %
Standardavvik	0,0111 %	0,0078 %	0,0137 %	0,0142 %

Regresjonskoeffisient, R^2	0,9335	Antall målinger pr. prøve
Regresjonslinjen: $y = a + b \cdot x$		19
a	0,0048 %	Antall firma
b	0,9403	11[1]

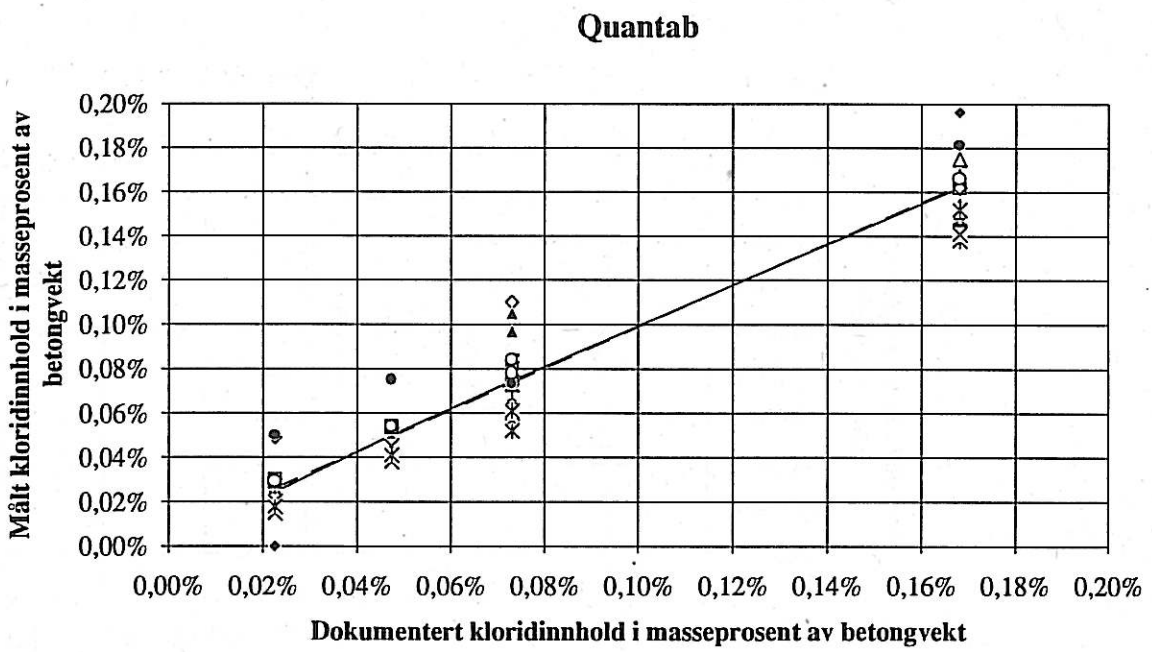

Fig. 6
Quantab: Målt kloridinnhold i masseprosent av betongvekt. Heltrukken linje viser gjennomsnittsverdiene, mens stipplett linje viser regresjonslinjen.

[1]Analyseresultatene fra et firma ble strøket. Dette fordi analyseresultatene var feil med en faktor på 10 som følge av en avlesnings eller regnefeil. Totalt antall firma som deltok med Quantab var altså 12.

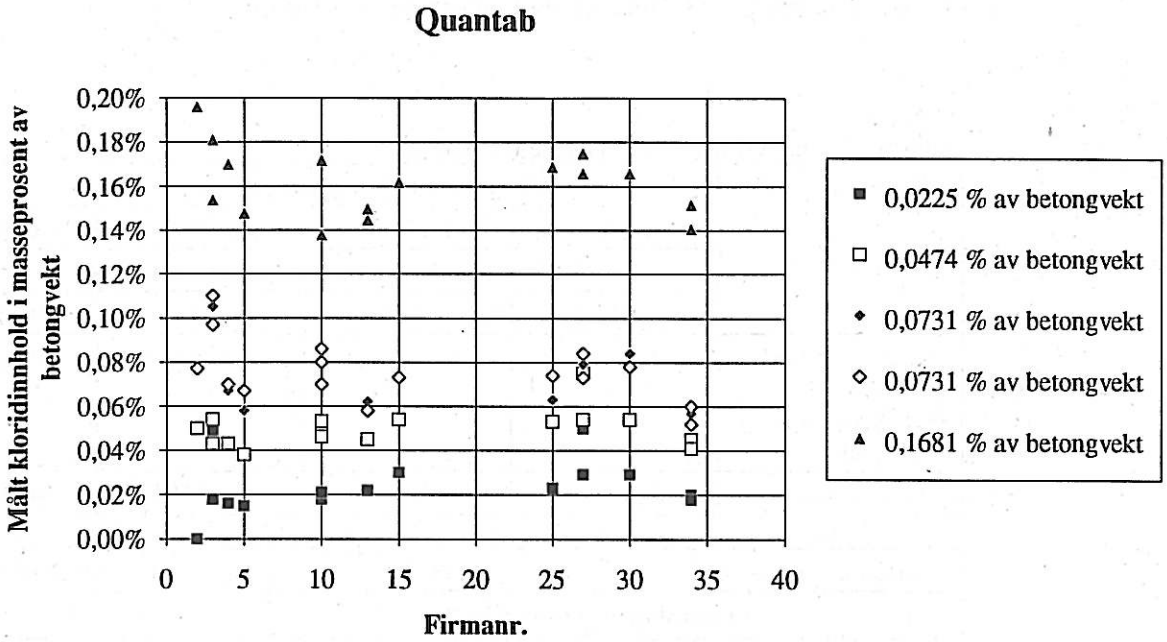

Fig. 6
Quantab: Alle analyseresultatene som funksjon av firmanr.

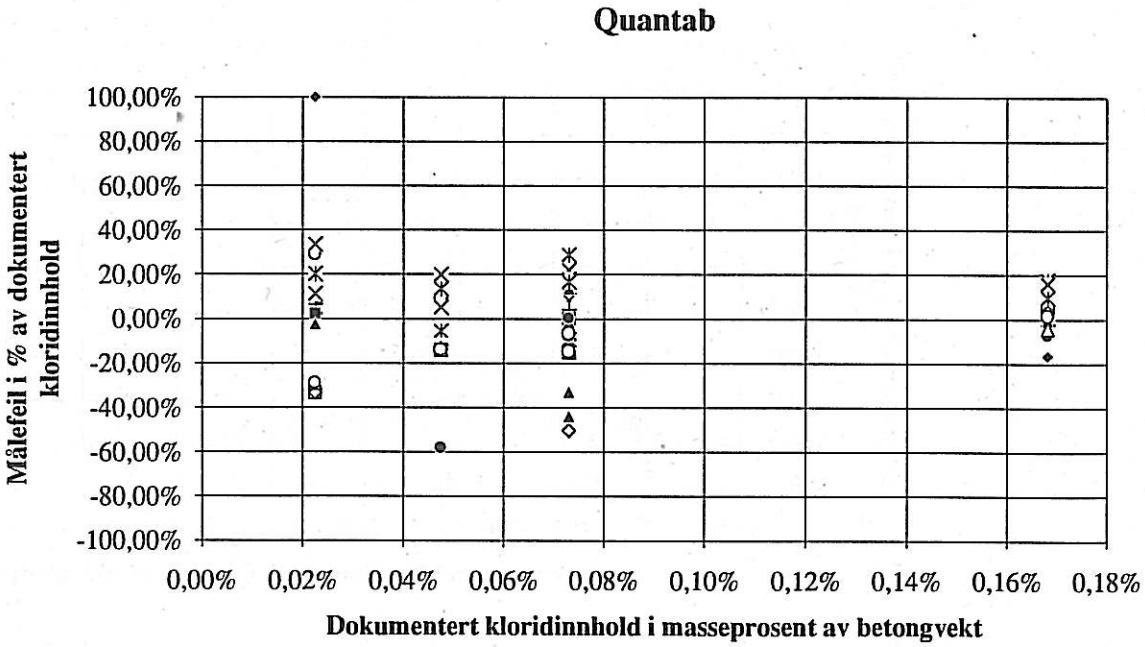

Fig. 7
Quantab: Målefeil. En positiv målefeil viser at det er målt for lavt kloridinnhold.

5.3 Volhard

Analyseresultatene er vist i fig. 8 og 9, og listet i vedlegg 3. Målefeilen er vist i fig. 10. Tabell 5 inneholder statistiske data over analyseresultatene.

Tabell 5
Statistiske data over analyseresultatene for Volhard

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,132 %	0,279 %	0,430 %	0,989 %
	Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt			
	0,0225 %	0,0474 %	0,0731 %	0,1681 %
Gjennomsnitt av målingene i masseprosent av betongvekt	0,0162 %	0,0394 %	0,0669 %	0,1572 %
Standardavvik	0,0096 %	0,0148 %	0,0065 %	0,0213 %

Regresjonskoeffisient, R^2	0,9308	Antall målinger pr. prøve
Regresjonslinjen: $y = a + b \cdot x$		11
a	-0,0052 %	Antall firma
b	0,9697	4

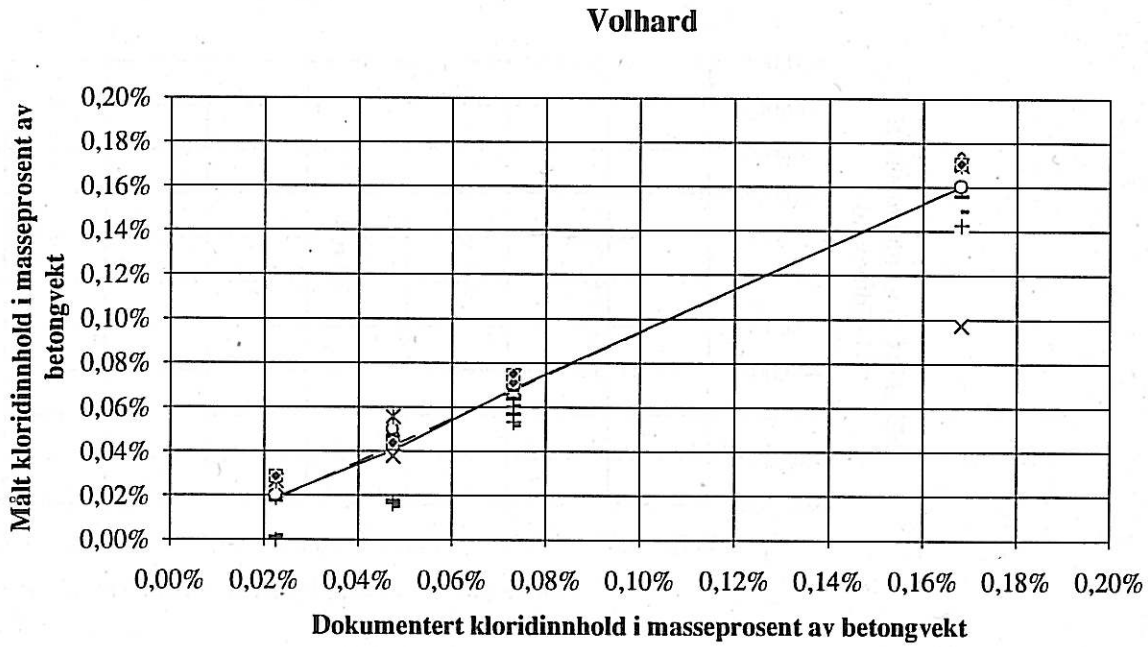

Fig. 8
Volhard: Målt kloridinnhold i masseprosent av betongvekt. Heltrukken linje viser gjennomsnittsverdiene, mens stipplett linje viser regresjonslinjen.

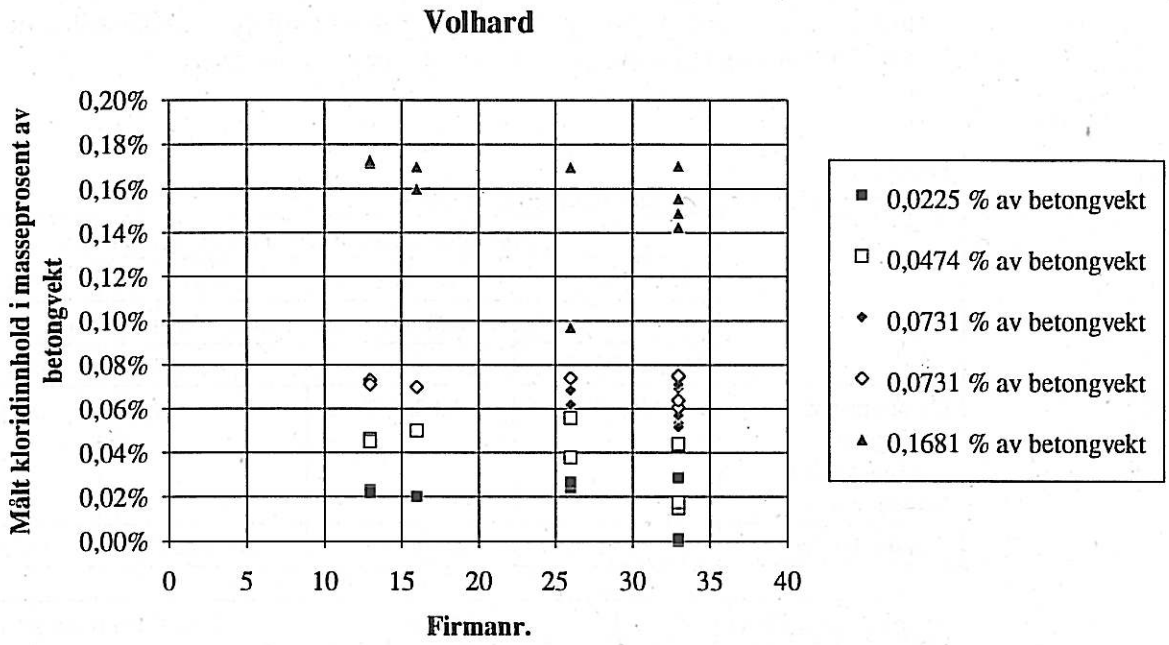

Fig. 9
Volhard: Alle analyseresultatene som funksjon av firmanr.

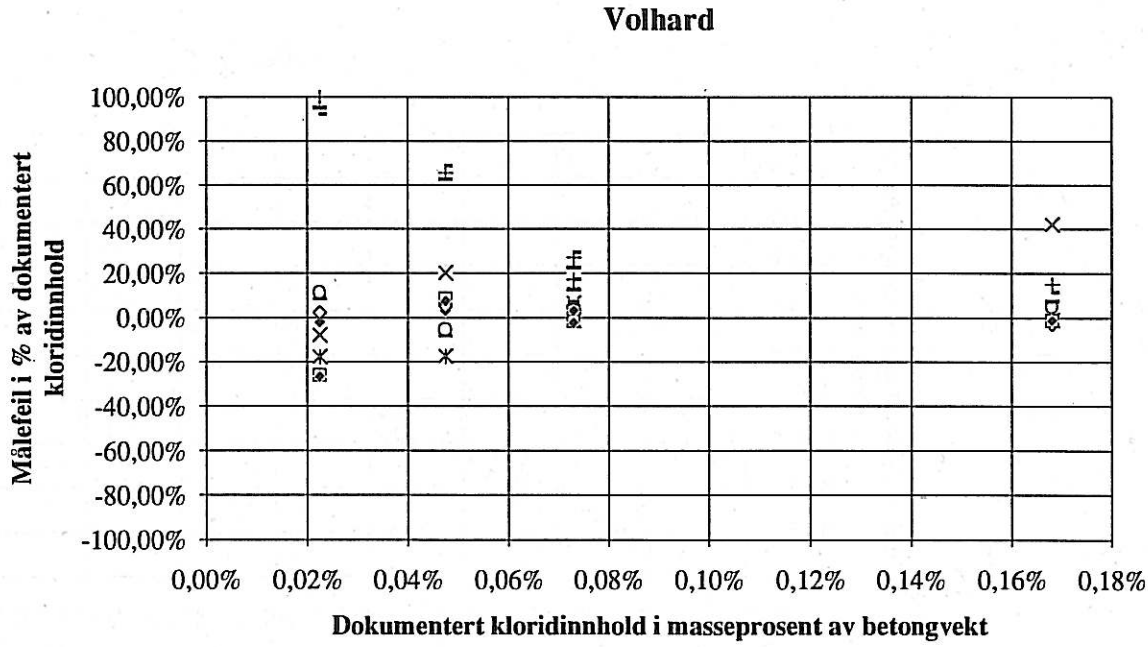

Fig. 10
Volhard: Målefeil. En positiv målefeil viser at det er målt for lavt kloridinnhold.

5.4 Potensiometrisk titrering

Analyseresultatene er vist i fig. 11 og 12, og listet i vedlegg 4. Målefeilen er vist i fig. 13. Tabell 6 inneholder statistiske data over analyseresultatene.

Tabell 6
Statistiske data over analyseresultatene for potensiometrisk titrering

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,132 %	0,279 %	0,430 %	0,989 %
	Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt			
	0,0225 %	0,0474 %	0,0731 %	0,1681 %
Gjennomsnitt av målingene i masseprosent av betongvekt	0,0221 %	0,0485 %	0,0742 %	0,1809 %
Standardavvik	0,0009 %	0,0017 %	0,0024 %	0,0106 %

Regresjonskoeffisient, R^2	0,9910	Antall målinger pr. prøve
Regresjonslinjen: $y = a + b \cdot x$		9
a	-0,0040 %	Antall firma
b	1,0934	3

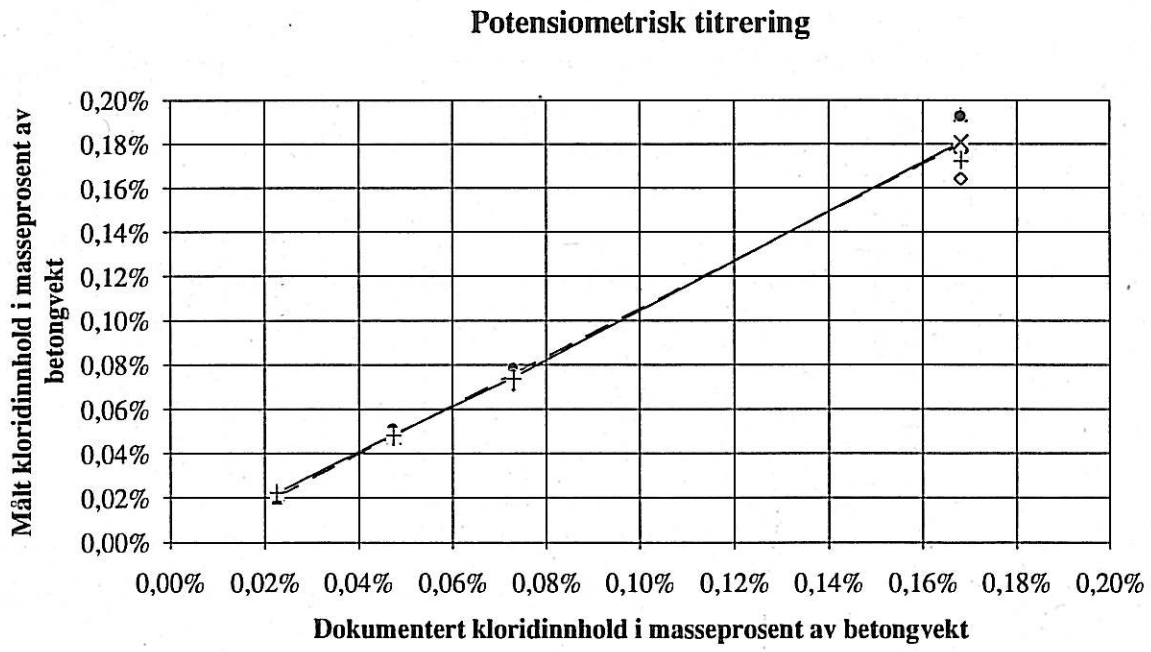

Fig 11
Potensiometrisk titrering: Målt kloridinnhold i masseprosent av betongvekt. Heltrukken linje viser gjennomsnittsverdiene, mens stipplett linje viser regresjonslinjen.

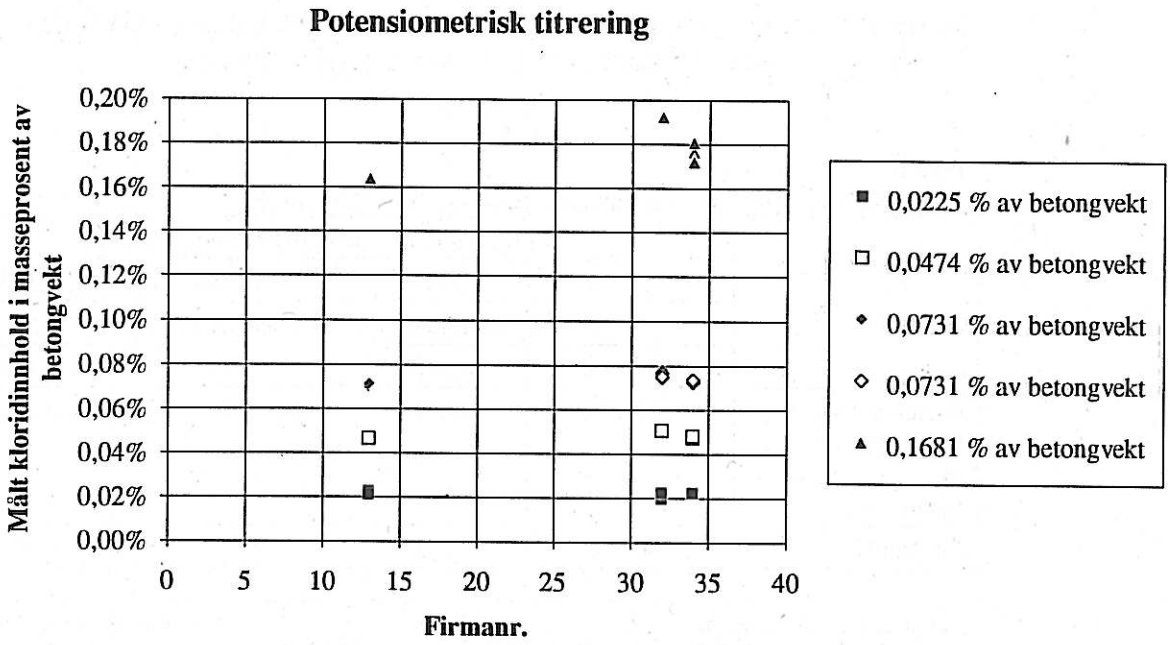

Fig 12
Potensiometrisk titrering: Alle analyseresultatene som funksjon av firmanr.

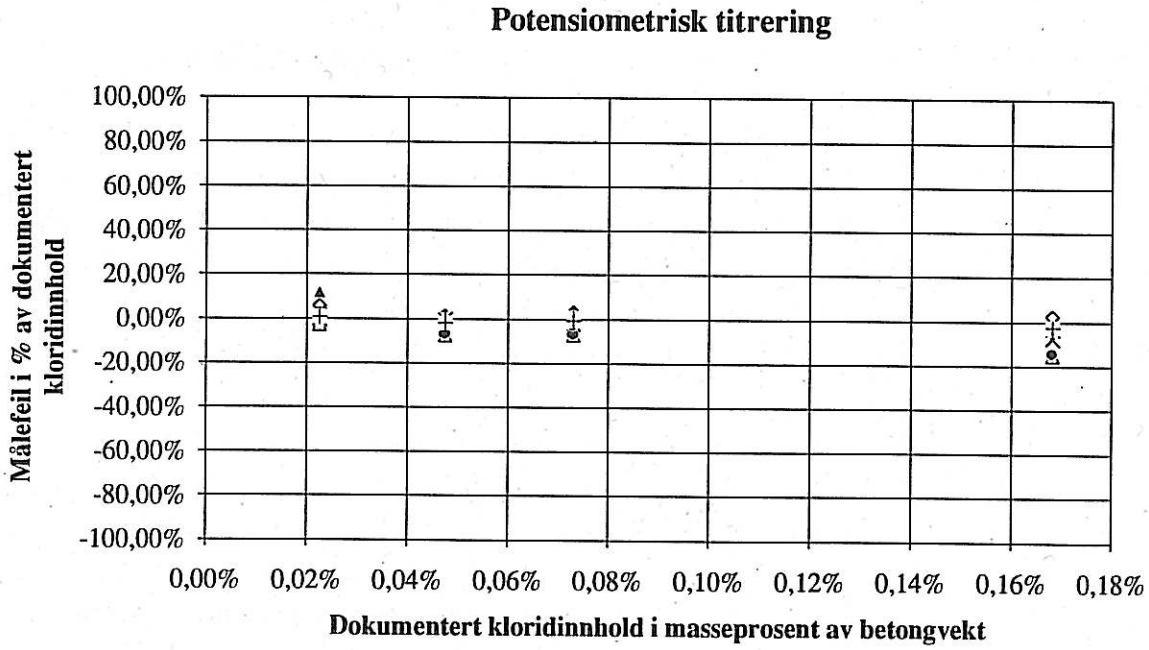

Fig. 13
Potensiometrisk titrering: Målefeil. En positiv målefeil viser at det er målt for lavt kloridinnhold.

5.5 Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode

Analyseresultatene er vist i fig. 14 og 15, og listet i vedlegg 5. Målefeilen er vist i fig. 16. Tabell 7 inneholder statistiske data over analyseresultatene.

Tabell 7
Statistiske data over analyseresultatene for potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,132 %	0,279 %	0,430 %	0,989 %
	Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt			
	0,0225 %	0,0474 %	0,0731 %	0,1681 %
Gjennomsnitt av målingene i masseprosent av betongvekt	0,0204 %	0,0505 %	0,0841 %	0,1730 %
Standardavvik	0,0099 %	0,0156 %	0,0273 %	0,0475 %

Regresjonskoeffisient, R^2	0,7512	Antall målinger pr. prøve
Regresjonslinjen: $y = a + b \cdot x$		3
a	0,0051 %	Antall firma
b	1,0158	2

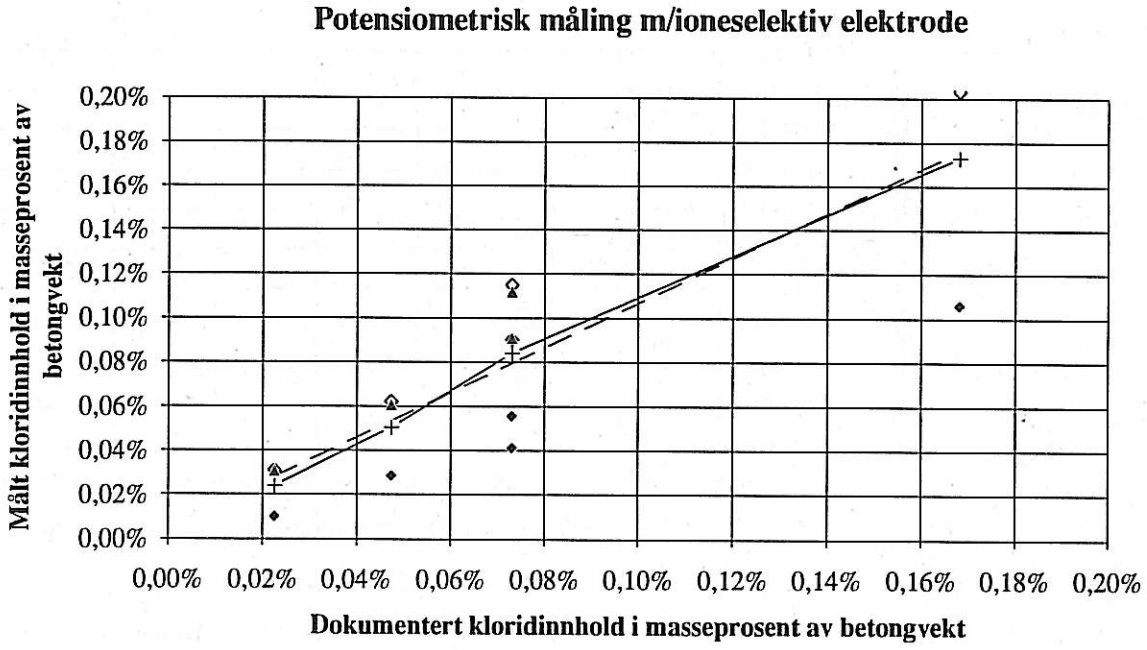

Fig. 14
Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode: Målt kloridinnhold i masseprosent av betongvekt. Heltrukken linje viser gjennomsnittsverdiene, mens stipplet linje viser regresjonslinjen.

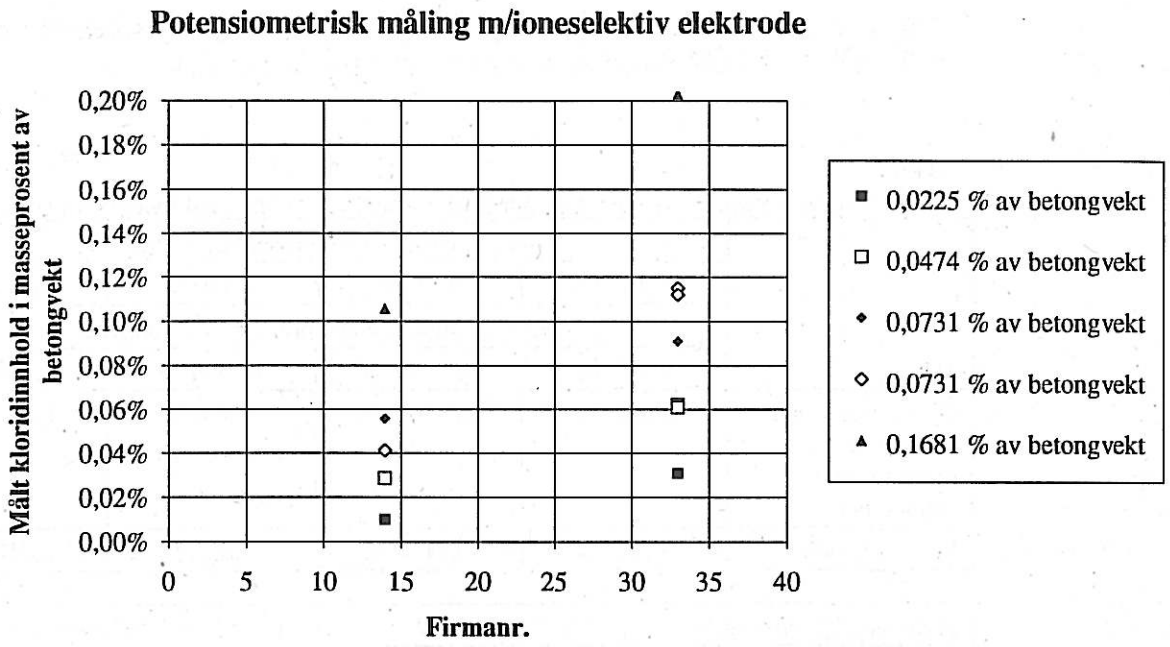

Fig. 15
Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode: Alle analyseresultatene som funksjon av firmanr.

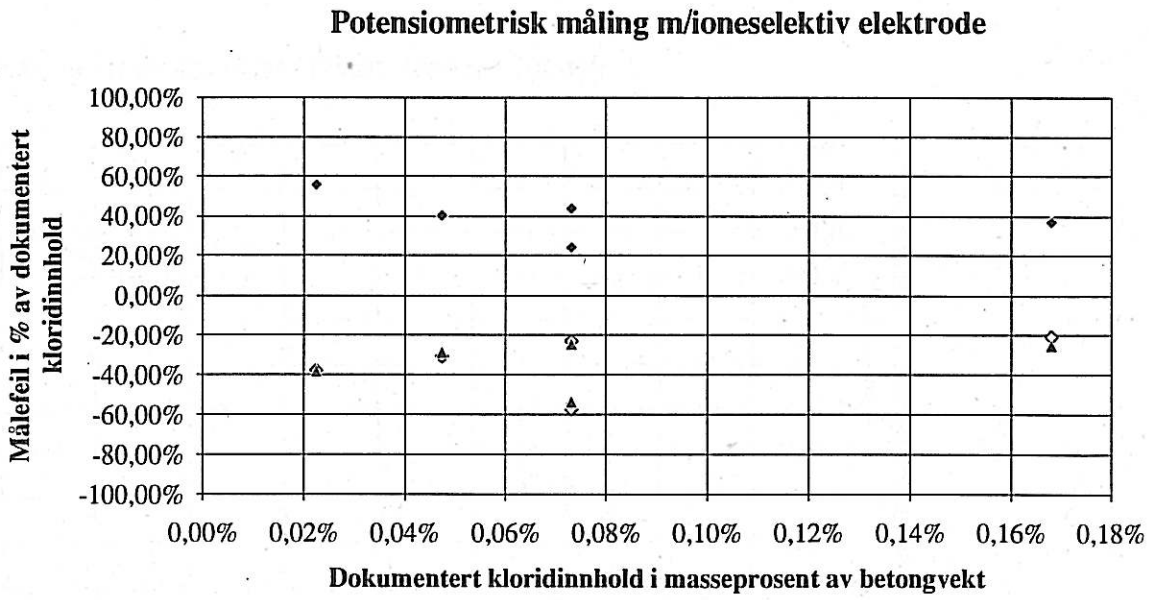

Fig. 16
Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode: Målefeil. En positiv målefeil viser at det er målt for lavt kloridinnhold.

5.6 Spektrofotometrisk måling

Analyseresultatene er vist i fig. 17 og 18, og listet i vedlegg 6. Målefeilen er vist i fig. 19. Tabell 8 inneholder statistiske data over analyseresultatene.

Tabell 8
Statistiske data over analyseresultatene for spektrofotometrisk måling

	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt			
	0,132 %	0,279 %	0,430 %	0,989 %
	Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt			
	0,0225 %	0,0474 %	0,0731 %	0,1681 %
Gjennomsnitt av målingene i masseprosent av betongvekt	0,0280 %	0,0540 %	0,0785 %	0,1860 %
Standardavvik	-	-	-	-

Regresjonskoeffisient, R^2	0,9983	Antall målinger pr. prøve
Regresjonslinjen: $y = a + b \cdot x$		1
a	0,0012 %	Antall firma
b	1,0903	1

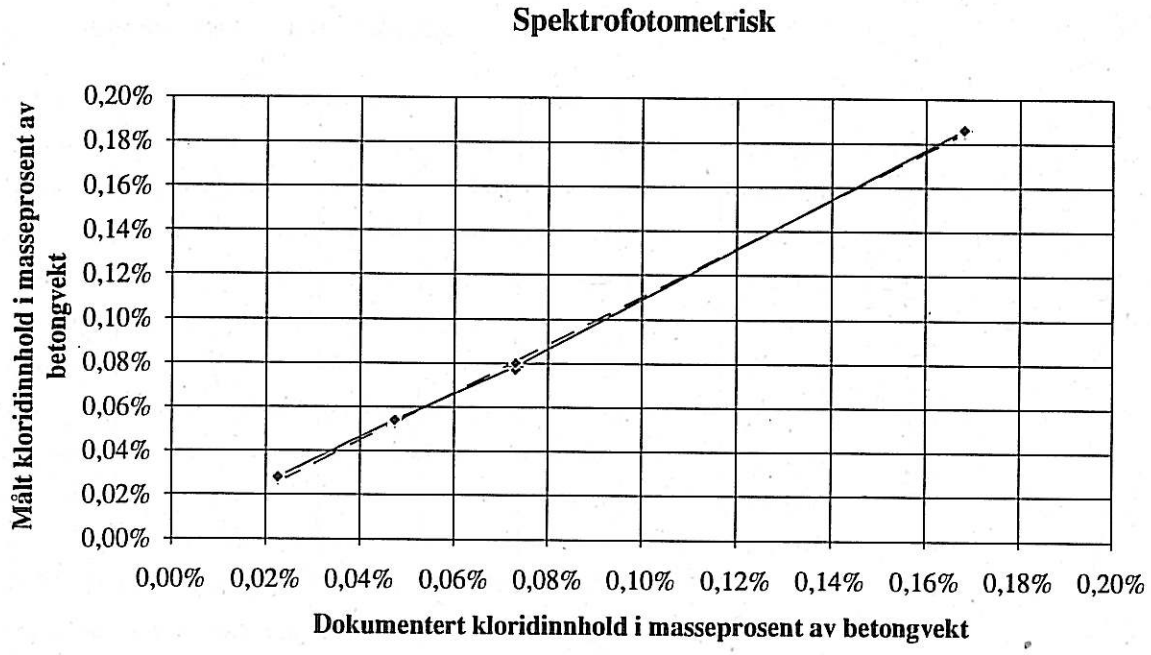

Fig 17
Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode: Målt kloridinnhold i masseprosent av betongvekt. Heltrukken linje viser gjennomsnittsverdiene, mens stipplet linje viser regresjonslinjen.

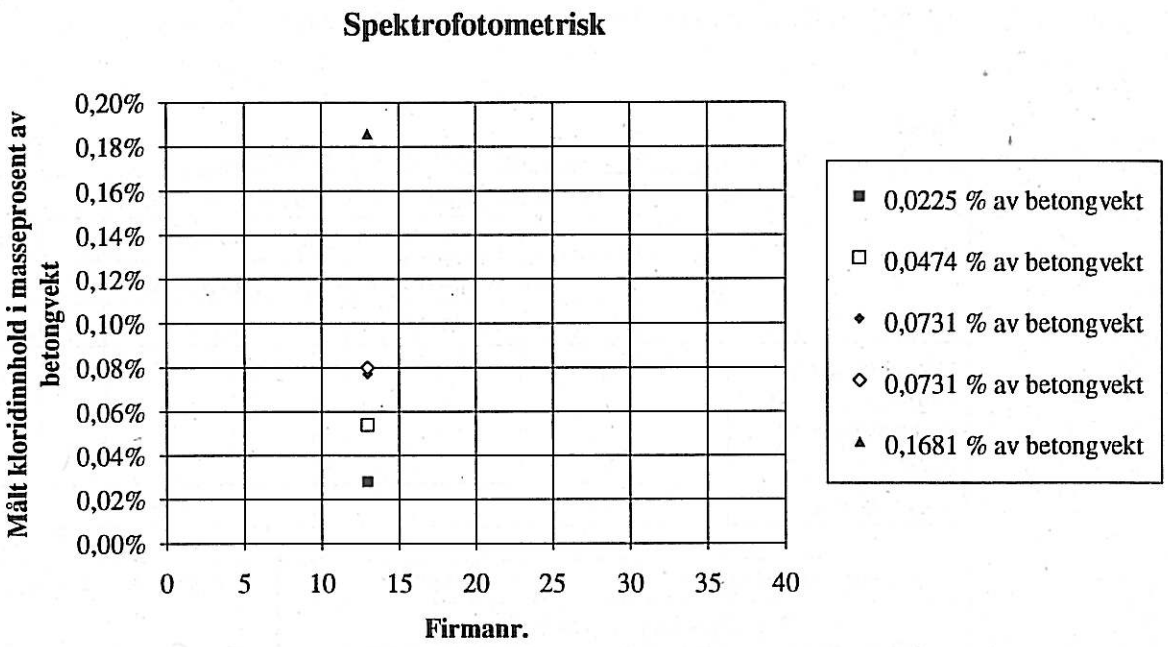

Fig 18
Spektrofotometrisk måling: Alle analyseresultatene som funksjon av firmanr.

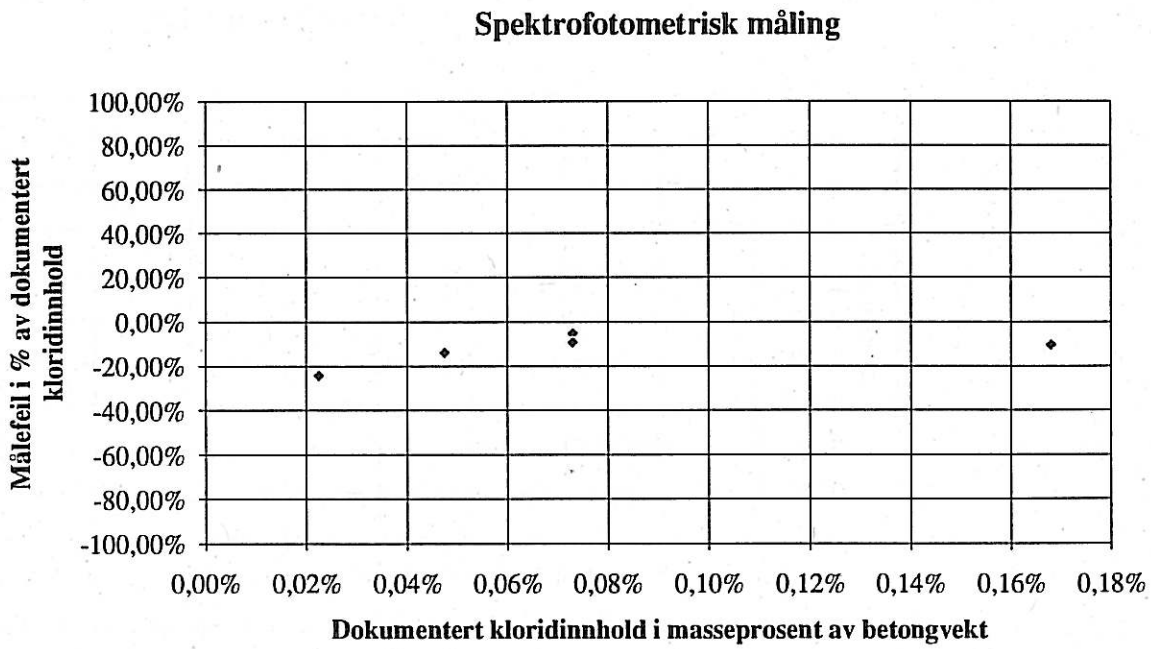

Fig. 19
Spektrofotometrisk måling: Målefeil. En positiv målefeil viser at det er målt for lavt kloridinnhold.

6. DISKUSJON AV ANALYSERESULTATER

6.1 RCT

RCT er en feltmetode. Analysene som ble utført i dette ringforsøket er alle utførte i lab. Det er derfor å forvente at spredningen i resultatene i praksis, når analysene utføres i felt, vil være større enn det de er her.

Spredningen i analyseresultatene er meget store. Kloridinnholdet, som måles med metoden, ligger under det virkelige kloridinnholdet og tendensen til å måle for lavt kloridinnhold øker med økende kloridkonsentrasjon, se tabell 3. Største relative målefeil var 60,0 %, 75,7 %, 59,0 % og 34,6 % ved hhv. kloridinnholdene 0,0225 masseprosent (0,132 masseprosent av sementvekt), 0,0474 masseprosent (0,279 masseprosent av sementvekt), 0,0731 masseprosent (0,430 masseprosent av sementvekt) og 0,1681 masseprosent (0,989 masseprosent av sementvekt) av betongvekten. Metoden gir større absolutt målefeil med økende kloridinnhold.

Halvparten av de deltagende firma klarer å reprodusere[2] analyseresultatene, dvs. de oppnår en brukbar grad av presisjon. Presisjonen[3] øker med økene kloridinnhold. Den store spredningen i analyseresultatene er delvis forårsaket av de store variasjonen i analyseresultatene mellom firmaene og delvis av at halvparten av firmaene ikke klarer å reprodusere analyseresultatene.

De fleste som deltok i ringforsøket med metoden, har erfaring med den.

I 26 av analyseseriene er betongstøvet målt opp vha. målebegeret som følger med RCT-utstyret. I 17 av analyseseriene er betongstøvet derimot vei opp med vekt. Betongstøvet er tørket før analyse i kun to av analyseseriene. Unøyaktighet i oppveiingen som følge av unøyaktighet i stamping i målebegeret, synest ikke å virke inn på analyseresultatene. Det er andre og større unøyaktigheter som dominerer. Mengden oppslutningsvæske i ampullene som leveres til metoden varierer. Kontrollmåling av et tilfeldig utvalg av åtte ampuller viste at differansen mellom største og minste oppslutningsvæskevolum utgjorde 6,9 % av det gjennomsnittlige væskevolumet.

I tabell 8 er effekten av en veiefeil på 0,1 g betongstøv på analyseresultatet vist. En veiefeil på 0,1 g er den veiefeilen som man må forvente når målebegeret benyttes.

Det ble rapportert om vanskeligheter med avlesningen som følge av at elektroden brukte lang tid på å stabilisere seg.

---

[2]Et analyseresultat er reprodusert dersom det samme resultatet oppnås når analysen repeteres, dvs. gjentas på eksakt samme måte som ved den første analysen.

[3]Presisjon uttrykker hvor nær analyseresultatene ligger hverandre når analysen repeteres. Nøyaktighet uttrykker hvor nær analyseresultatene ligger den sanne verdien.

Tabell 8
Effekt av veiefeil på analyseresultatene

Kloridinnhold, masseprosent av betongvekt (av sementvekt)	Absolutt feil når 0,1 g for mye eller for lite betongstøv veies inn	Relativ feil når 0,1 g for mye eller for lite betongstøv veies inn
0,0225 % (0,132 %)	±0,0015 %	±6,7 %
0,0474 % (0,279 %)	±0,0032 %	±6,7 %
0,0731 % (0,430 %)	±0,0049 %	±6,7 %
0,1681 % (0,989 %)	±0,0112 %	±6,7 %

6.2 Quantab

Quantab er en feltmetode. Analysene som ble utført i dette ringforsøket er alle utførte i lab. Det er derfor å forvente at spredningen i resultatene i praksis, når analysene utføres i felt, vil være større enn det de er her.

Spredningen i analyseresultatene er stor. Kloridinnholdet, som måles med metoden, ligger i gjennomsnitt svært nær opp til det dokumenterte kloridinnholdet i prøvene, se tabell 4. Største relative målefeil var 117,8 %, 58,2 %, 50,5 % og 17,9 % ved hhv. kloridinnholdene 0,0225 masseprosent (0,132 masseprosent av sementvekt), 0,0474 masseprosent (0,279 masseprosent av sementvekt), 0,0731 masseprosent (0,430 masseprosent av sementvekt) og 0,1681 (0,989 masseprosent av sementvekt) av betongvekten. Metoden gir ikke større absolutt målefeil med økende kloridinnhold.

I ringforsøket, som er rapportert i /1/, klarte Quantabtesten å gi tilfredsstillende nøyaktighet og presisjon for større kloridinnhold enn 0,1 masseprosent av betongvekt (0,8 masseprosent av sementvekt), mens den for lavere kloridinnhold ikke gav akseptable resultater.

Halvparten av de firmaer som har utført parallelle analyser klarer å reprodusere resultatene, dvs. det oppnås en brukbar grad av presisjon. Det synest som om det er enklere å reprodusere analyseresultatene for prøvene med et kloridinnhold på minst 0,0731 masseprosent av betongvekt (0,430 masseprosent av sementvekt). Presisjonen øker altså med økende kloridinnhold. Den store spredningen i analyseresultatene er altså delvis forårsaket av de store variasjonen i analyseresultatene mellom firmaene og delvis av at halvparten av firmaene ikke klarer å reprodusere analyseresultatene.

De fleste som deltok i ringforsøket med metoden, har erfaring med den.

I 7 av analyseseriene ble betongstøvet tørket før analyse. I 10 av analyseseriene ble betongstøvet derimot ikke tørket før analyse.

Kun et firma brukte Quantabtest 1174 for analyse av de fire prøvene som hadde lavest kloridinnhold (0,0225 (0,132) til 0,0731 (0,430) masseprosent av betongvekt (sementvekt)). Til analyse av alle de øvrige prøvene ble Quantabtest 1175 brukt.

Gyldighetsområdet for Quantabtest 1174 er fra 30 til 180 ppm. Cl^- (tilsvarer fra 0,03 til 0,18 masseprosent av betongvekt), mens Quantabtest 1175 har gyldighetsområde fra 30 til 600 ppm. Cl^- (tilsvarer fra 0,03 til 0,60 masseprosent av betongvekt). Quantabtest 1176 har gyldighetsområde fra 300 til 6000 ppm. (tilsvarer fra 0,3 til 6,00 masseprosent av betongvekt). Laveste kloridinnhold som kan måles med Quantabtesten er i området like under det NS 3420 setter som grenseverdi for tillat kloridinnhold i slakkarmerte konstruksjoner. Dette må ikke glemmes når Quantabtesten benyttes!

6.3 Volhard

Metoden måler i gjennomsnitt litt for lavt kloridinnhold, men resultatet er svært avhengig av utstyret som benyttes. Med godt og nøyaktig utstyr reduseres feilen til under 6 % for prøvene med et kloridinnhold på 0,0731 masseprosent av betongvekten eller høyere.

Kun fire firma deltok med metoden.

Alle firma så nært som et, klarer å reprodusere analyseresultatene. Spredningen i resultatene skyldes altså spredning i resultater mellom firmaene. Presisjonen øker med økende kloridinnhold. Spredningen i analyseresultatene er altså forårsaket av variasjonen i analyseresultatene mellom firmaene.

Et firma forbedret utstyret under analyseperioden og oppnådde en større nøyaktighet og presisjon i analyseresultatene.

I ringforsøket, som er rapportert i /1/, gav Volhard uakseptable resultater for kloridinnhold på 0,025 masseprosent av betongvekt (0,2 masseprosent av sementvekt) og lavere.

6.4 Potensiometrisk titrering

Metoden måler kloridinnhold svært nær opp til det dokumenterte kloridinnholdet.

Kun tre firma deltok med metoden.

Metoden betinger, for å gi resultater med stor nøyaktighet og presisjon, at opperatøren har utført analyser med metoden over en lengre tid og dermed har bygget opp kompetanse både med utstyret og metoden.

Alle firma klarer å reprodusere analyseresultatene. Spredningen i resultatene skyldes altså spredning i resultater mellom firmaene. Presisjonen øker ikke med økene kloridinnholdene. Spredningen i analyseresultatene er for prøven med det høyeste kloridinnholdet forårsaket av variasjon i analyseresultatene mellom firmaene.

6.5 Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode

Kun tre firma deltok med metoden. Analyseresultatene spriker svært i forhold til det dokumenterte kloridinnholdet i prøvene. Dette kan skyldes feil i referansekurven som er benyttet.

Denne metoden kom best ut i ringforsøket som er rapportert i /1/.

7. FORSLAG TIL ANALYSERUTINER

7.1 Generelt

I dette ringforsøket ble det analysert på et homogent betongstøv med dokumentert kloridinnhold.

Prøveuttaket i felt kan påvirke analyseresultatene. Prøveuttaksmetoden har innvirkning på nøyaktigheten og presisjonen i analyseresultatene. Dette er dokumentert i /3/ hvor uttak med kjernebor og med slagbor ble sammenliknet.

Denne effekten må i praksis tas hensyn til i tillegg til analysemetodens begrensninger mhp. nøyaktighet og presisjon.

7.2 Feilgrenser

Grensen for den feil, eller det avvik i analyseresultat fra den riktige verdien, må settes strengere for labmetoder enn for feltmetoder.

Forslag til feilgrense for labmetoder:

Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt	Måleavvik i % av kloridinnhold
< 0,40	10,0
≥ 0,40	5,0

Forslag til feilgrense for feltmetoder:

Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt	Måleavvik i % av kloridinnhold
< 0,40	25,0
≥ 0,40	15,0

7.3 RCT

Forslag til oppslutnings- og analyseprosedyre for analyser med RCT:

1. Elektroden kontrolleres ihht. oppgitt prosedyre i elektrodens manual. Denne kontrollen må utføres i lab. og med jevne mellomrom.

2. Utstyret tempereres før målingen begynner og temperaturen holdes konstant under hele måleperioden.

3. Elektrodens standardkurve bestemmes ved at væsker med kjent kloridinnhold. Fortrinnsvis benyttes fem forskjellige kloridkonsentrasjoner, f.eks.: 0,025, 0,050, 0,100, 0,200 og 0,500 masseprosent av betongvekt.. Elektroden rengjøres med destillert eller ionebyttet vann mellom hvert kalibreringsnivå. Kalibreringskurven tegnes opp.

4. Betongstøv fylles i målebegeret og stampes opp til indikatorlinjen for 1,5 g betongstøv.

5. Betongstøvet helles fra målebegeret og over i plastflasken med oppslutningsvæske. Plastflasken ristes i 5 min. Løsningen settes til side i 5 min.

6. Elektroden settes ned i den oppsluttede væsken. Når avlesningen på voltmeteret er stabil, leses verdien av. Elektroden rengjøres med destillert eller ionebyttet vann mellom hver avlesning. OBS! Må <u>ikke</u> tørkes av, skal kun spyles!

7. Elektrodens standardkurve bestemmes på ny for å korrigere for drift i løpet av målingene.

8. Kloridinnholdet bestemmes ved at den avleste spenningen plottes på standardkurven. Kloridinnholdet leses av direkte i masseprosent av betongvekt.

9. Elektrodens standardkurve skal være rettlinjet når den er plottet med en lineær spenningsskala og en logaritmisk kloridkonsentrasjonsskala.

10. Det skal legges inn prøver med kjent kloridinnhold, f.eks. referansestøv som /2/, blandt prøvene som skal analyseres. En referanseprøve pr. 10 prøver og minst to referanseprøver totalt. Analyseresultatene forkastes dersom referanseprøvene viser et avvik fra det oppgitte kloridinnholdet som er større enn det som er angitt i kap. 7.2.

7.4 Quantab

Forslag til oppslutnings- og analyseprosedyre for analyser med Quantab:

1. 5 g betongstøv veies inn i et beger.

2. 50 ml HNO_3 (salpetersyre) (7,5 %) tilsettes. Prøven røres om 3 ganger og hver gang i 10 sek. Mellom hver omrøring ventes det 2 til 3 min.

3. 5 g natriumkarbonat tilsettes og det røres om i 10 sek.

4. Et filterpapir brettes konisk og settes ned i begeret slik at filtratet trenger inn i filteret. Quantabstrippen plasseres i filtratet i filterpapiret.

5. Quantabstrippen leses av etter fargeomslag på indikatormerket. Kloridinnholdet (i ppm) i filtratet leses av i tabellen som fulgte med Quantabstrippen. Den målte kloridkonsentrasjonen kontrolleres mot Quantabstrippens gyldighetsområde. Dersom kloridkonsentrasjonen ligger utenfor gyldighetsområdet må enten en annen Quantabstripp velges eller forholdet mellom mengden betongstøv og oppslutningsvæske må endres slik at konsentrasjonen kommer innenfor gyldighetsområdet. Ekstreme masseforhold mellom betongstøvet og oppslutningsvæsken som fører til at det lages grøt, må unngås.

6. Kloridinnholdet i betongstøvet i masseprosent av betongveketen er, forutsatt at forholdet mellom mengde betongstøv og oppslutningsvæske er som beskrevet over:

$$\%Cl = \frac{Avlest\,Cl(ppm)\cdot 10(løsning)\cdot 100(\%)}{1.000.000} = Avlest\,Cl(ppm)\cdot 0,001$$

7. Det skal legges inn prøver med kjent kloridinnhold, f.eks. referansestøv som /2/, blandt prøvene som skal analyseres. En referanseprøve pr. 10 prøver og minst to referanseprøver totalt. Analyseresultatene forkastes dersom referanseprøvene viser et avvik fra det oppgitte kloridinnholdet som er større enn det som er angitt i kap. 7.2.

7.5 Volhard

Analysen utføres i hht. NS 3671.

Det bør velges byretter som gir mulighet for å måle finere enn de 25 ml byrettene som NS 3671 beskriver.

7.6 Potensiometrisk titrering

Forslag til oppslutnings- og analyseprosedyre for analyser utført med potensiometrisk titrering:

1. 5 g tørt betongstøv veies opp i et beger.
2. 20 ml destillert eller ionebyttet vann tilsettes. Det røres om.
3. 10 ml konsentrert HNO_3 (salpetersyre) tilsettes. Det røres om. Løsningen varmes opp til kokepunktet
4. Prøven filtreres og filteret vaskes med 10 % HNO_3.
5. Elektroden plasseres i filtratet og titrering med sølvnitratløsning begynner.
6. Titreringen stoppes når det er tydelig at ekvivalenspunktet er nådd.
7. Kloridinnholdet beregnes som masseprosent av massen av det tørkede betongstøvet.
8. Det skal legges inn prøver med kjent kloridinnhold, f.eks. referansestøv som /2/, blant prøvene som skal analyseres. En referanseprøve pr. 10 prøver og minst to referanseprøver totalt. Analyseresultatene forkastes dersom referanseprøvene viser et avvik fra det oppgitte kloridinnholdet som er større enn det som er angitt i kap. 7.2.

7.7 Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode

Det er her ikke mulig å gi noen anbefaling da grunnlaget i dette ringforsøket er for lite.

7.8 Spektrofotometrisk måling

Det er her ikke mulig å gi noen anbefaling da grunnlaget i dette ringforsøket er for lite.

8. KONKLUSJON

Alle analysemetoder har innebygde grenser for nøyaktighet og presisjon.

For å oppnå tilfredsstillende analyseresultater må følgende være tatt vare på:

- Operatøren må ha faste og utprøvde rutiner og erfaring for den aktuelle analysemetode.
- Utstyret som benyttes må være kalibrert og vedlikeholdt.

Det må utvises stor grad av nøyaktighet i utførelsen av analysene. Dette gjelder både for felt- og for labmetodene.

Utstyret må vedlikeholdes og kalibreres. Vedlikeholdsrutiner er beskrevet i manualene som følger utstyret.

Reproduserbarheten av resultatene er for ca. halvparten av de deltagende firma og vegkontorer brukbar, dvs. presisjonen i analyseresultatene er brukbar, men variasjonen mellom firmaene er stor. Det er derfor behov for rutiner for de forskjellige metodene som alle skal analysere etter. Videre er det behov for samkalibrering av de som utfører kloridanalyser.

For alle metodene gjelder at analyseresultatene må verifiseres og dokumenteres. Verifiseringen gjøres ved at det i analyseserien legges inn referanseprøver med kjent kloridinnhold. Disse bør helst analyseres som blindprøver. Slike referanseprøver gir, dersom de journalføres, også muligheten til å oppdage feil ved utstyr eller feil som følge av at oppslutnings- og analyserutinen endres.

Forskjellen i de resultatene som er rapporterte her og de som er rapporterte i /1/ viser hvor viktig det er å arbeide systematisk med analysemetoden for å eliminere feilkilder og for å samle erfaring.

Svært mange firma gjør analyser i lab med en feltmetode i stedet for en labmetode. Nøyaktigheten og presisjonen i disse analysene blir der etter. En feltmetode kan aldri gi den samme nøyaktigheten og presisjonen som en labmetode kan gi. Det er å foretrekke at labanalyser utføres med labmetoder, og at feltmetoder forbeholdes feltundersøkelser.

9. REFERANSER

/1/ H. Chr. Gran, Measurement of chlorides in concrete, An evaluation of three different analysis techniques, NBI-prosjektrapport nr. 110, Oslo 1992 (NORDTEST Technical Report 188)

/2/ A. M. Waters og A. T. Blake, Certificates of test. Chloride content of reference dust. 14 different certificates, Taylor Woodrow Research Laboratories, Taywood Engineering Ltd., 1991

/3/ T. Farstad, H. Chr. Gran og K. Reknes, Measurement of chlorides in concrete, Sampling techniques, NBI-prosjektrapport nr. 137, Oslo 1993

VEDLEGG

I tabellene er følgende koding benyttet for å angi om betongstøvet er tørket før analyse og om betongstøvet ble vei inn med vekt eller vha. målebeger:

Kode	Forklaring
j	ja
n	nei

RCT	vedlegg 1
Quantab	vedlegg 2
Volhard	vedlegg 3
Potensiometrisk titrering	vedlegg 4
Potensiomterisk måling med ioneselektiv elektrode	vedlegg 5
Spektrofotometrisk måling	vedlegg 6

RCT

Firmanr.	Analyse-nr.	Veld opp med vekt	Målt opp med målebeger	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
					Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefell i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik				0,0039%	0,0064%	0,0116%	0,0116%	0,0251%										
	Dokumentert				0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje				0,0137%	0,0353%	0,0575%	0,0575%	0,1395%										
	Gjennomsnitt				0,0165%	0,0361%	0,0546%	0,0546%	0,1416%										
3	1	j		j	0,0170%	0,0380%	0,0620%	0,0620%	0,1620%	0,0055%	0,0094%	0,0111%	0,0111%	0,0061%	24,4%	19,8%	15,2%	15,2%	3,6%
3	2	j		j	0,0180%	0,0380%	0,0620%	0,0630%	0,1610%	0,0045%	0,0094%	0,0111%	0,0101%	0,0071%	20,0%	19,8%	15,2%	13,8%	4,2%
6	1		j	n	0,0170%	0,0380%	0,0540%	0,0540%	0,1400%	0,0055%	0,0094%	0,0191%	0,0191%	0,0281%	24,4%	19,8%	26,1%	26,1%	16,7%
11	1		j	n	0,0230%	0,0440%	0,0640%	0,0620%	0,1500%	-0,0005%	0,0034%	0,0091%	0,0111%	0,0181%	-2,2%	7,2%	12,4%	15,2%	10,8%
11	2		j	n	0,0210%	0,0400%	0,0600%	0,0630%	0,1560%	0,0015%	0,0074%	0,0131%	0,0101%	0,0121%	6,7%	15,6%	17,9%	13,8%	7,2%
11	3		j	n	0,0220%	0,0370%				0,0005%	0,0104%				2,2%	21,9%			
12	1		j	n	0,0200%	0,0440%	0,0620%	0,0620%	0,1500%	0,0025%	0,0034%	0,0111%	0,0111%	0,0181%	11,1%	7,2%	15,2%	15,2%	10,8%
12	2		j	n	0,0200%	0,0410%	0,0540%	0,0620%	0,1700%	0,0025%	0,0064%	0,0191%	0,0111%	-0,0019%	11,1%	13,5%	26,1%	15,2%	-1,1%
14	1		j	n	0,0150%	0,0310%	0,0300%	0,0430%	0,1100%	0,0075%	0,0164%	0,0431%	0,0301%	0,0581%	33,3%	34,6%	59,0%	41,2%	34,6%
14	2		j	n	0,0140%	0,0310%	0,0300%	0,0480%	0,1250%	0,0085%	0,0164%	0,0431%	0,0251%	0,0431%	37,8%	34,6%	59,0%	34,3%	25,6%
17	1		j	n	0,0180%	0,0350%	0,0560%	0,0780%	0,1490%	0,0045%	0,0124%	0,0171%	-0,0049%	0,0191%	20,0%	26,2%	23,4%	-6,7%	11,4%
17	2		j	n	0,0180%	0,0370%	0,0570%	0,0790%	0,1530%	0,0045%	0,0104%	0,0161%	-0,0059%	0,0151%	20,0%	21,9%	22,0%	-8,1%	9,0%
17	3		j	n	0,0180%	0,0370%	0,0550%	0,0790%	0,1540%	0,0045%	0,0104%	0,0181%	-0,0059%	0,0141%	20,0%	21,9%	24,8%	-8,1%	8,4%
17	4		j	n	0,0180%	0,0380%	0,0520%		0,1570%	0,0045%	0,0094%	0,0211%		0,0111%	20,0%	19,8%	28,9%		6,6%
18	1	j		n	0,0120%	0,0340%	0,0525%	0,0540%	0,1500%	0,0105%	0,0134%	0,0206%	0,0191%	0,0181%	46,7%	28,3%	28,2%	26,1%	10,8%
18	2	j		n	0,0115%	0,0360%	0,0510%	0,0515%	0,1400%	0,0110%	0,0114%	0,0221%	0,0216%	0,0281%	48,9%	24,1%	30,2%	29,5%	16,7%
19	A 1	j		n	0,0150%	0,0320%	0,0500%	0,0500%	0,1200%	0,0075%	0,0154%	0,0231%	0,0231%	0,0481%	33,3%	32,5%	31,6%	31,6%	28,6%
19	A 2	j		n	0,0130%	0,0270%	0,0450%	0,0450%	0,1100%	0,0095%	0,0204%	0,0281%	0,0281%	0,0581%	42,2%	43,0%	38,4%	38,4%	34,6%
19	B 1	j		n	0,0140%	0,0340%	0,0500%	0,0500%	0,1200%	0,0085%	0,0134%	0,0231%	0,0231%	0,0481%	37,8%	28,3%	31,6%	31,6%	28,6%
19	B 2	j		n	0,0120%	0,0290%	0,0450%	0,0450%	0,1100%	0,0105%	0,0184%	0,0281%	0,0281%	0,0581%	46,7%	38,8%	38,4%	38,4%	34,6%
20	1		j	n	0,0130%	0,0190%	0,0320%	0,0360%	0,1100%	0,0095%	0,0284%	0,0411%	0,0371%	0,0581%	42,2%	59,9%	56,2%	50,8%	34,6%
20	2		j	n	0,0091%	0,0220%	0,0360%	0,0360%	0,1700%	0,0134%	0,0254%	0,0371%	0,0371%	-0,0019%	59,6%	53,6%	50,8%	50,8%	-1,1%
21	1		j	n	0,0250%	0,0370%	0,0500%	0,0560%	0,1400%	-0,0025%	0,0104%	0,0231%	0,0171%	0,0281%	-11,1%	21,9%	31,6%	23,4%	16,7%
21	2		j	n	0,0140%	0,0500%	0,0560%	0,0510%	0,1300%	0,0085%	-0,0026%	0,0171%	0,0221%	0,0381%	37,8%	-5,5%	23,4%	30,2%	22,7%
22	1	j		n	0,0210%	0,0410%	0,0560%	0,0590%	0,1350%	0,0015%	0,0064%	0,0171%	0,0141%	0,0331%	6,7%	13,5%	23,4%	19,3%	19,7%
22	2	j		n	0,0180%	0,0390%	0,0610%	0,0610%	0,1400%	0,0045%	0,0084%	0,0121%	0,0121%	0,0281%	20,0%	17,7%	16,6%	16,6%	16,7%
22	3		j	n	0,0180%	0,0410%	0,0590%	0,0630%	0,1400%	0,0045%	0,0064%	0,0141%	0,0101%	0,0281%	20,0%	13,5%	19,3%	13,8%	16,7%
22	4		j	n	0,0180%	0,0410%	0,0610%	0,0630%	0,1460%	0,0045%	0,0064%	0,0121%	0,0101%	0,0221%	20,0%	13,5%	16,6%	13,8%	13,1%
23	1	j		n	0,0100%	0,0290%	0,0480%	0,0490%	0,1250%	0,0125%	0,0184%	0,0251%	0,0241%	0,0431%	55,6%	38,8%	34,3%	33,0%	25,6%
23	2	j		n	0,0110%	0,0280%	0,0480%	0,0490%	0,1300%	0,0115%	0,0194%	0,0251%	0,0241%	0,0381%	51,1%	40,9%	34,3%	33,0%	22,7%
24	1		j	n	0,0230%	0,0410%	0,0570%	0,0640%	0,1550%	-0,0005%	0,0064%	0,0161%	0,0091%	0,0131%	-2,2%	13,5%	22,0%	12,4%	7,8%
24	2		j	n	0,0200%	0,0410%	0,0680%	0,0620%	0,1620%	0,0025%	0,0064%	0,0051%	0,0111%	0,0061%	11,1%	13,5%	7,0%	15,2%	3,6%
28	1		j	n	0,0130%	0,0320%	0,0420%	0,0420%	0,1100%	0,0095%	0,0154%	0,0311%	0,0311%	0,0581%	42,2%	32,5%	42,5%	42,5%	34,6%
31	1		j	n	0,0170%	0,0340%	0,0420%	0,0460%	0,1200%	0,0055%	0,0134%	0,0311%	0,0271%	0,0481%	24,4%	28,3%	42,5%	37,1%	28,6%
31	2		j	n	0,0170%	0,0320%	0,0410%	0,0460%	0,1100%	0,0055%	0,0154%	0,0321%	0,0271%	0,0581%	24,4%	32,5%	43,9%	37,1%	34,6%

RCT

Firmanr.	Analyse-nr.	Veid opp med vekt	Målt opp med målebeger	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
					Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefeil i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik				0,0039%	0,0064%	0,0116%	0,0116%	0,0251%										
	Dokumentert				0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje				0,0137%	0,0353%	0,0575%	0,0575%	0,1395%										
	Gjennomsnitt				0,0165%	0,0361%	0,0546%	0,0546%	0,1416%										
31	3		j	n	0,0190%	0,0310%	0,0460%	0,0450%	0,1200%	0,0035%	0,0164%	0,0271%	0,0281%	0,0481%	15,6%	34,6%	37,1%	38,4%	28,6%
31	4		j	n	0,0180%	0,0320%	0,0490%	0,0440%	0,1100%	0,0045%	0,0154%	0,0241%	0,0291%	0,0581%	20,0%	32,5%	33,0%	39,8%	34,6%
34	A	j		n	0,0190%	0,0444%	0,0815%	0,0791%	0,2130%	0,0035%	0,0030%	-0,0084%	-0,0060%	-0,0449%	15,6%	6,3%	-11,5%	-8,2%	-26,7%
34	B	j		n	0,0185%	0,0467%	0,0761%	0,0753%	0,2055%	0,0040%	0,0007%	-0,0030%	-0,0022%	-0,0374%	17,8%	1,5%	-4,1%	-3,0%	-22,2%
34	C	j		n	0,0189%	0,0480%	0,0779%	0,0770%	0,1974%	0,0036%	-0,0006%	-0,0048%	-0,0039%	-0,0293%	16,0%	-1,3%	-6,6%	-5,3%	-17,4%
36	1		j	n	0,0110%	0,0320%	0,0500%	0,0500%	0,1300%	0,0115%	0,0154%	0,0231%	0,0231%	0,0381%	51,1%	32,5%	31,6%	31,6%	22,7%
36	2	j		n	0,0090%	0,0370%	0,0500%	0,0500%	0,1300%	0,0135%	0,0104%	0,0231%	0,0231%	0,0381%	60,0%	21,9%	31,6%	31,6%	22,7%
36	3	j		n	0,0130%	0,0320%	0,0480%	0,0480%	0,1300%	0,0095%	0,0154%	0,0251%	0,0251%	0,0381%	42,2%	32,5%	34,3%	34,3%	22,7%

Vedlegg 1

Quantab

Firmanr. 9 er ikke tatt med pga. feil i resultater: 10erpotensfeil!

Firmanr.	Analyse-nr.	Quantab-test	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
				Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefeil i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik			0,0111%	0,0078%	0,0137%	0,0137%	0,0142%										
	Dokumentert			0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje			0,0260%	0,0494%	0,0736%	0,0736%	0,1629%										
	Gjennomsnitt			0,0243%	0,0501%	0,0745%	0,0745%	0,1622%										
2	1	1175	n	0,0000%	0,0500%	0,0770%	0,0770%	0,1960%	0,0225%	-0,0026%	-0,0039%	-0,0039%	-0,0279%	100,0%	-5,5%	-5,3%	-5,3%	-16,6%
3	1	1174	j	0,0490%	0,0430%	0,1100%	0,1100%		-0,0265%	0,0044%	-0,0369%	-0,0369%		-117,8%	9,3%	-50,5%	-50,5%	
3	2	1174	j	0,0180%	0,0540%	0,1050%	0,0970%		0,0045%	-0,0066%	-0,0319%	-0,0239%		20,0%	-13,9%	-43,6%	-32,7%	
3	3	1175	j					0,1540%					0,0141%					8,4%
3	4	1175	j					0,1810%					-0,0129%					-7,7%
4	1	1175	j	0,0160%	0,0430%	0,0670%	0,0700%	0,1700%	0,0065%	0,0044%	0,0061%	0,0031%	-0,0019%	28,9%	9,3%	8,3%	4,2%	-1,1%
5	1	1175	j	0,0150%	0,0380%	0,0580%	0,0670%	0,1480%	0,0075%	0,0094%	0,0151%	0,0061%	0,0201%	33,3%	19,8%	20,7%	8,3%	12,0%
10	1	1175	j	0,0180%	0,0500%	0,0800%	0,0800%	0,1380%	0,0045%	-0,0026%	-0,0069%	-0,0069%	0,0301%	20,0%	-5,5%	-9,4%	-9,4%	17,9%
10	2	1175	j	0,0210%	0,0530%	0,0700%	0,0700%	0,1720%	0,0015%	-0,0056%	0,0031%	0,0031%	-0,0039%	6,7%	-11,8%	4,2%	4,2%	-2,3%
10	3	1175	j	0,0210%	0,0460%	0,0800%	0,0860%	0,1720%	0,0015%	0,0014%	-0,0069%	-0,0129%	-0,0039%	6,7%	3,0%	-9,4%	-17,6%	-2,3%
13	A	1175	n	0,0220%	0,0450%	0,0620%	0,0580%	0,1450%	0,0005%	0,0024%	0,0111%	0,0151%	0,0231%	2,2%	5,1%	15,2%	20,7%	13,7%
13	B	1175	n	0,0220%	0,0450%	0,0620%	0,0580%	0,1500%	0,0005%	0,0024%	0,0111%	0,0151%	0,0181%	2,2%	5,1%	15,2%	20,7%	10,8%
15	1	1175	n	0,0300%	0,0540%	0,0730%	0,0730%	0,1620%	-0,0075%	-0,0066%	0,0001%	0,0001%	0,0061%	-33,3%	-13,9%	0,1%	0,1%	3,6%
15	2	1175	n	0,0300%	0,0540%	0,0730%	0,0730%	0,1620%	-0,0075%	-0,0066%	0,0001%	0,0001%	0,0061%	-33,3%	-13,9%	0,1%	0,1%	3,6%
15	3	1175	n	0,0300%	0,0540%	0,0730%	0,0730%	0,1620%	-0,0075%	-0,0066%	0,0001%	0,0001%	0,0061%	-33,3%	-13,9%	0,1%	0,1%	3,6%
25	1	1175	n	0,0230%	0,0530%	0,0630%	0,0740%	0,1690%	-0,0005%	-0,0056%	0,0101%	-0,0009%	-0,0009%	-2,2%	-11,8%	13,8%	-1,2%	-0,5%
27	1	1175	n	0,0290%	0,0540%	0,0830%	0,0840%	0,1750%	-0,0065%	-0,0066%	-0,0099%	-0,0109%	-0,0069%	-28,9%	-13,9%	-13,5%	-14,9%	-4,1%
27	2	1175	n	0,0500%	0,0750%	0,0790%	0,0730%	0,1660%	-0,0275%	-0,0276%	-0,0059%	0,0001%	0,0021%	-122,2%	-58,2%	-8,1%	0,1%	1,2%
30	1	1175	n	0,0290%	0,0540%	0,0840%	0,0780%	0,1660%	-0,0065%	-0,0066%	-0,0109%	-0,0049%	0,0021%	-28,9%	-13,9%	-14,9%	-6,7%	1,2%
34	1	1175	n	0,0200%	0,0450%	0,0570%	0,0600%	0,1410%	0,0025%	0,0024%	0,0161%	0,0131%	0,0271%	11,1%	5,1%	22,0%	17,9%	16,1%
34	3	1175	n	0,0180%	0,0410%	0,0610%	0,0520%	0,1520%	0,0045%	0,0064%	0,0121%	0,0211%	0,0161%	20,0%	13,5%	16,6%	28,9%	9,6%

Vedlegg 2

Volhard

Firmanr.	Analyse-nr.	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
			Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefeil i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik		0,0098%	0,0132%	0,0063%	0,0063%	0,0196%										
	Dokumentert		0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje		0,0180%	0,0423%	0,0674%	0,0674%	0,1602%										
	Gjennomsnitt		0,0189%	0,0403%	0,0681%	0,0681%	0,1601%										
13	1	j	0,0230%	0,0460%	0,0720%	0,0730%	0,1720%	-0,0005%	0,0014%	0,0011%	0,0001%	-0,0039%	-2,2%	3,0%	1,5%	0,1%	-2,3%
13	2	j	0,0220%	0,0450%	0,0720%	0,0710%	0,1730%	0,0005%	0,0024%	0,0011%	0,0021%	-0,0049%	2,2%	5,1%	1,5%	2,9%	-2,9%
16	1	j	0,0200%	0,0500%	0,0700%	0,0700%	0,1700%	0,0025%	-0,0026%	0,0031%	0,0031%	-0,0019%	11,1%	-5,5%	4,2%	4,2%	-1,1%
16	2	j	0,0200%	0,0500%	0,0700%	0,0700%	0,1700%	0,0025%	-0,0026%	0,0031%	0,0031%	-0,0019%	11,1%	-5,5%	4,2%	4,2%	-1,1%
16	11	j	0,0200%	0,0500%	0,0700%	0,0700%	0,1700%	0,0025%	-0,0026%	0,0031%	0,0031%	-0,0019%	11,1%	-5,5%	4,2%	4,2%	-1,1%
16	12	j	0,0200%	0,0500%	0,0700%	0,0700%	0,1600%	0,0025%	-0,0026%	0,0031%	0,0031%	0,0081%	11,1%	-5,5%	4,2%	4,2%	4,8%
26	1	j	0,0243%	0,0379%	0,0684%	0,0739%	0,0974%	-0,0018%	0,0095%	0,0047%	-0,0008%	0,0707%	-8,0%	20,0%	6,4%	-1,1%	42,1%
26	2	j	0,0265%	0,0556%	0,0616%	0,0740%	0,1698%	-0,0040%	-0,0082%	0,0115%	-0,0009%	-0,0017%	-17,8%	-17,3%	15,7%	-1,2%	-1,0%
33	1	j	0,0000%	0,0163%	0,0533%	0,0604%	0,1427%	0,0225%	0,0311%	0,0198%	0,0127%	0,0254%	100,0%	65,6%	27,1%	17,4%	15,1%
33	2	j	0,0018%	0,0149%	0,0516%	0,0605%	0,1490%	0,0207%	0,0325%	0,0215%	0,0126%	0,0191%	92,0%	68,6%	29,4%	17,2%	11,4%
33	3	j	0,0011%	0,0177%	0,0568%	0,0639%	0,1558%	0,0214%	0,0297%	0,0163%	0,0092%	0,0123%	95,1%	62,7%	22,3%	12,6%	7,3%
33	1 b	j	0,0284%	0,0433%	0,0692%	0,0745%	0,1709%	-0,0059%	0,0041%	0,0039%	-0,0014%	-0,0028%	-26,2%	8,6%	5,3%	-1,9%	-1,7%
33	2 b	j	0,0284%	0,0433%	0,0710%	0,0745%	0,1704%	-0,0059%	0,0041%	0,0021%	-0,0014%	-0,0023%	-26,2%	8,6%	2,9%	-1,9%	-1,4%
33	3 b	j	0,0285%	0,0439%	0,0709%	0,0749%	0,1704%	-0,0060%	0,0035%	0,0022%	-0,0018%	-0,0023%	-26,7%	7,4%	3,0%	-2,5%	-1,4%

Potensiometrisk titrering

Firmanr.	Analyse-nr.	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt					Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt					Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt				
			0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
			Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefeil i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik		0,0009%	0,0017%	0,0024%	0,0024%	0,0106%										
	Dokumentert		0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje		0,0206%	0,0478%	0,0759%	0,0759%	0,1798%										
	Gjennomsnitt		0,0221%	0,0485%	0,0742%	0,0742%	0,1809%										
13	a	n	0,0227%	0,0465%	0,0701%			-0,0002%	0,0009%	0,0030%			-0,9%	1,9%	4,1%		
13	b	n	0,0212%	0,0467%	0,0712%		0,1640%	0,0013%	0,0007%	0,0019%		0,0041%	5,8%	1,5%	2,6%		2,4%
32	1	n	0,0198%	0,0506%	0,0781%	0,0767%	0,1941%	0,0027%	-0,0032%	-0,0050%	-0,0036%	-0,0260%	12,0%	-6,8%	-6,8%	-4,9%	-15,5%
32	2	n	0,0231%	0,0508%	0,0782%	0,0748%	0,1933%	-0,0006%	-0,0034%	-0,0051%	-0,0017%	-0,0252%	-2,7%	-7,2%	-7,0%	-2,3%	-15,0%
32	3	n	0,0225%	0,0507%	0,0783%	0,0751%	0,1923%	0,0000%	-0,0033%	-0,0052%	-0,0020%	-0,0242%	0,0%	-7,0%	-7,1%	-2,7%	-14,4%
34	1	j	0,0221%	0,0473%	0,0729%	0,0732%	0,1766%	0,0004%	0,0001%	0,0002%	-0,0001%	-0,0085%	1,8%	0,2%	0,3%	-0,2%	-5,1%
34	2	j	0,0226%	0,0476%	0,0730%	0,0734%	0,1808%	-0,0001%	-0,0002%	0,0001%	-0,0003%	-0,0127%	-0,3%	-0,4%	0,2%	-0,5%	-7,6%
34	3	j	0,0223%	0,0476%	0,0729%	0,0726%	0,1736%	0,0003%	-0,0002%	0,0002%	0,0005%	-0,0055%	1,1%	-0,4%	0,3%	0,7%	-3,3%
34	4	j	0,0224%	0,0482%	0,0726%	0,0735%	0,1722%	0,0001%	-0,0008%	0,0005%	-0,0004%	-0,0041%	0,6%	-1,8%	0,7%	-0,6%	-2,4%

Potensiometrisk måling med ioneselektiv elektrode

Firmanr.	Analyse-nr.	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt 0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
			Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefeil i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik		0,0099%	0,0156%	0,0273%	0,0273%	0,0475%										
	Dokumentert		0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje		0,0279%	0,0532%	0,0793%	0,0793%	0,1759%										
	Gjennomsnitt		0,0240%	0,0505%	0,0841%	0,0841%	0,1730%										
14	1	n	0,0100%	0,0284%	0,0556%	0,0412%	0,1060%	0,0125%	0,0190%	0,0175%	0,0319%	0,0621%	55,6%	40,1%	23,9%	43,6%	36,9%
33	1	j	0,0310%	0,0620%	0,0900%	0,1150%	0,2030%	-0,0085%	-0,0146%	-0,0169%	-0,0419%	-0,0349%	-37,8%	-30,8%	-23,1%	-57,3%	-20,8%
33	2	j	0,0310%	0,0610%	0,0910%	0,1120%	0,2100%	-0,0085%	-0,0136%	-0,0179%	-0,0389%	-0,0419%	-37,8%	-28,7%	-24,5%	-53,2%	-24,9%

Spektrofotometrisk måling

Firmanr.	Analyse-nr.	Tørket	Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt					Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt					Kloridinnhold i masseprosent av sementvekt				
			0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%	0,1320%	0,2790%	0,4300%	0,4300%	0,9890%
			Kloridinnhold i masseprosent av betongvekt					Differanse: dokumentert - målt kloridinnhold					Målefeil i % av dokumentert kloridinnhold				
	Standardavvik																
	Dokumentert		0,0225%	0,0474%	0,0731%	0,0731%	0,1681%										
	Regresjonslinje		0,0258%	0,0529%	0,0809%	0,0809%	0,1845%										
	Gjennomsnitt		0,0280%	0,0540%	0,0785%	0,0785%	0,1860%										
13	1	n	0,0280%	0,0540%	0,0770%	0,0800%	0,1860%	-0,0055%	-0,0066%	-0,0039%	-0,0069%	-0,0179%	-24,4%	-13,9%	-5,3%	-9,4%	-10,6%