

# BETONGKONSTRUKSJONERS LIVSLØP

Et utviklingsprosjekt i samarbeid mellom offentlige byggherrer, industri og forskningsinstitutter



## Deltakere:

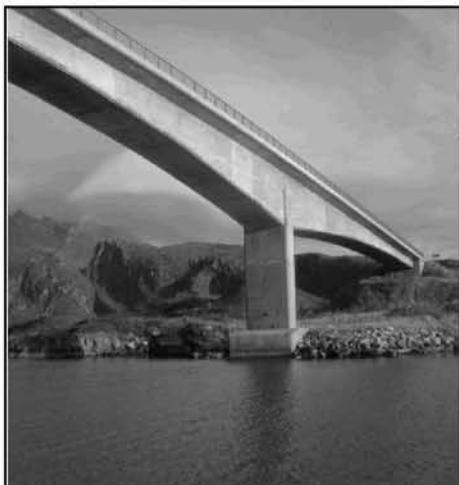
Statens vegvesen (prosjektleddelse), Forsvarsbygg, NORCEM A.S, Selmer Skanska AS, Sika Norge AS, Norges byggforskningsinstitutt, NTNU, SINTEF, NORUT Teknologi as

## Rapport nr. 4

### Kloridinntregning i ressurvennlig kvalitetsbetong Aktivitet DP1 A2

---

Prosjektet er støttet av BA-programmet i Norges forskningsråd



# BETONGKONSTRUKSJONERS LIVSLØP

## Rapport nr. 4

### Kloridinntrengning i ressursvennlig kvalitetsbetong

#### Aktivitet DP1 A2

Utgiver:  
Statens vegvesen, Vegdirektoratet  
Postadresse: Teknologiavdelingen  
Postboks 8142 Dep  
0033 OSLO  
Telefon: 22 07 35 00  
Telefaks: 22 07 37 68

INTERN RAPPORT NR.

GRADERING Åpen	ANTALL SIDER OG BILAG 14+16+13 bilag.
-------------------	--

RAPPORTNR./ ISBN.: 82-91228-09-4	DATO Januar 2003	PROSJEKTLEDERE: Finn Fluge og Bernt Jakobsen
-------------------------------------	---------------------	---

KORT SAMMENDRAG

FORFATTER(E):

Knut O. Kjellsen, NORCEM.  
Ola Skjølsvold, SINTEF

Rapporten presenterer de viktigste resultatene fra aktivitet "Ressursvennlig Kvalitetsbetong" i NFR prosjektet 'Betongkonstruksjoners Livsløp'. Deltagere i aktiviteten har vært SINTEF og NORCEM. En hovedmålsetting i aktiviteten har vært å undersøke dokumentere innvirkningen av bindemidler med flygeaske (ressursvennlige bindemidler) på kloridinntrengingsegenskaper. Det er gjennomført feltforsøk ved NORCEM og ved SINTEF. Her ble betongprøver utplassert i sjøen, og kloridinntrenging ble målt fra ca. 1 måned til 2 år. I tillegg er det utført akselererte kloridinntrengingstester. Laboratorieundersøkelsene omfatter også måling av elektrisk motstand.

Alle resultatene viser at betong med flygeaske eller Portland flygeaskesement (Norcem STD FA) har vesentlig større motstand mot kloridinntrenging enn betong med ren Portland sement. Det er oppnådd svært god sammenheng mellom akselererte kloridinntrengingstester (laboratorieforsøk) og forsøk med naturlig kloridinntrenging (feltforsøk). Økende flygeasketilsetning (0, 10, 20 og 35%) gir tydelig reduksjon av kloridinntrengingen ved både laboratorie- og feltforsøk. Den elektriske motstandsevnen forbedres, dvs. øker kraftig med økende mengde flygeaske.

STIKKORD	NORSK	ENGLISH
	Betongkonstruksjoner	Concrete structures
	Kloridinntrengning	Chloride diffusion

**Rapport**      **Nr. 4**      Kloridinnitrengning i ressursvennlig kvalitetsbetong.

**Prosjekt**      **Betongkonstruksjoners livsløp**  
Et utviklingsprosjekt i samarbeid mellom offentlige byggherrer, industri og forskningsinstitutter.

**Aktivitet**      **DP1 A2**      Levetidsprosjektering  
Datainnsamling  
Ressursvennlig kvalitetsbetong - kloridprofiler

**Deltagere**      Statens vegvesen (prosjektledelse),  
Forsvarsbygg,  
NORCEM A.S,  
Selmer-Skanska AS  
Sika Norge AS  
Norges byggforskningsinstitutt,  
NTNU,  
SINTEF,  
NORUT Teknologi as

Prosjektet er støttet av BA-programmet i  
Norges forskningsråd

ISSN 1502-2331  
ISBN 82-91228-09-4  
50 eksemplarer trykt av  
Statens vegvesen, Teknologiavdelingen

© Statens vegvesen 2003

**Adresse**      Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen  
Postboks 8142 Dep  
N-0033 Oslo, Norway

**Telefon**      + 47 22 07 35 00  
**Telefax**      + 47 22 07 37 68

**Emneord**      Betongkonstruksjoner  
Sement type CEM I og CEM II  
Flygeaske  
Kloridinnitrengning

**Key words**      Concrete structures  
Cement type CEM I and CEM II  
Fly ash  
Chloride diffusion

## FORORD

Fokus er i løpet av de senere årene flyttet fra bygging av nye konstruksjoner over mot forvaltning hvor det legges større vekt på problemstillinger knyttet til drift, vedlikehold og gjenbruk av eksisterende konstruksjoner.

Prosjektet "Betonkonstruksjoners livsløp" er knyttet opp mot denne typen utfordringer som en samlet bygg- og anleggsbransje står overfor. Kravene til bygg- og anleggskonstruksjoner er at de skal være funksjonelle og kostnadseffektive. Offentlige byggherrer forvalter og vedlikeholder et stort antall konstruksjoner som skal møte samfunnets krav til:

- sikkerhet
- kvalitet/økonomi
- miljø

Det ble de siste årene av 90-tallet lagt ned et betydelig arbeid i prosjektet "Bestandige betonkonstruksjoner". Av resultatene fra dette prosjektet og erfaringene fra prosjektet "OFU Gimsøystraumen" fremgår det klart at beslutningen om å bygge bestandige betonkonstruksjoner må tas tidlig i planleggingsfasen og at det er behov for enkelt å kunne verifisere prosjekteringsforutsetningene.

"Betonkonstruksjoners livsløp" bygger videre på forannevnte prosjekter. Hovedvekten er lagt på klart formulerte forskningsoppgaver som dels sammenfatter eksisterende kunnskap og dels fyller hull i kunnskapsgrunnlaget. Aktivitetene er valgt innenfor en ramme som omfatter alle faser fra planlegging til riving og gjenbruk.

Prosjektets hovedmålsetning har vært:

### **Kostnadseffektive og miljøgunstige betonkonstruksjoner**

med følgende delmål:

- Identifisere hovedparametre i levetidsmodellene og kalibrere dem mot feltefareninger
- System for vurdering av vedlikeholdstiltaks levetid
- System for instrumentell overvåkning av betonkonstruksjoners tilstandsutvikling
- Kunnskapsformidling gjennom normarbeid, kurs og internasjonale nettverk

Prosjektets sluttprodukter er:

- Grunnlag for veiledninger og regler for levetidsprosjektering
- Akseptkriterier for bedømmelse av betonkonstruksjoners bestandighet
- Datagrunnlag til bruk i standardiseringsarbeid og som inngangsdata til europeisk nettverksarbeid
- Kunnskap og kompetanse knyttet til sensor-teknologi, måleteknikk, "intelligent" instrumentell overvåkning, katodisk beskyttelse etc., hvor industripartnerne gis mulighet til å utnytte resultatene kommersielt

Prosjektet har bestått av flere større og mindre aktiviteter gruppert i følgende delprosjekter:

- DP1. Levetidsprosjektering
  - A. Datainnsamling
  - B. Levetidsmodeller
- DP2. Vedlikeholds- og oppgraderingsmetoder
  - A. Vedlikeholdsmetoder
  - B. Oppgraderingsmetoder
  - C. Rustfri armering
- DP3. Måleteknikk

Aktivitetene i prosjektet er basert på enkeltforslag fra prosjektdeltakerne. Hvor aktivitetene hadde fellestrekks, kunne leverere resultater til, eller benytte resultater fra andre aktiviteter ble dette identifisert ved oppstarten av prosjektet og nødvendig koordinering foretatt. Ellers er aktivitetene styrt meget selvstendig.

Prosjektet startet høsten 1999 og ble avsluttet høsten 2001. Prosjektet har vært støttet av BA-programmet i Norges forskningsråd med NOK 1 mill i hvert av årene 1999 og 2000.

I tillegg til støtten fra Norges forskningsråd har det vært ytet en betydelig egeninnsats fra deltakerne i form av personalinnsats og kjøp av FoU-tjenester. Prosjektkostnadene per 31-12-00 var NOK 7,25 mill, hvorav NOK 2,7 mill var benyttet til kjøp av FoU-tjenester fra forskningsinstitutter og NOK 0,5 mill fra konsulent. I år 2001 ble det kjøpt tjenester for NOK 1,7 mill som i sin helhet ble finansiert av prosjektdeltagerne. Samlede prosjektkostnader ved avslutningen av prosjektet er ca. NOK 9 mill.

Prosjektet har hatt følgende deltakere:

Statens vegvesen  
 Forsvarsbygg  
 NORCEM A.S  
 Selmer Skanska AS  
 NTNU  
 SINTEF  
 Sika Norge AS  
 Norges byggforskningsinstitutt  
 NORUT Teknologi as

I tillegg har prosjektet samarbeidet med Det Norske Veritas og ARMINOX, som begge har bidratt med egeninnsats.

Det er knyttet to dr. gradsstudenter til prosjektet.

Prosjektet mottok i juni 2000 et 3 års dr.grad stipendum. Stipendiatur ble tilsatt 01-01-2001.

Prosjektet har vært ledet av Vegdirektoratet. Prosjektleddelsen, som har bestått av Finn Fluge Vegteknisk avdeling, Vegdirektoratet og Bernt Jakobsen, Aadnesen a.s., har rapportert til en styringskomite som har bestått av representanter fra prosjektdeltakerne. Styringskomiteen har vært samlet to ganger årlig eller ved behov og har fastlagt mål og hovedstrategier.

## SUMMARY

This report deals with results obtained in the activity “Sustainable Concrete Production”.

In the test programme chloride ingress in concrete has been determined for different types of binders:

- Portland cement CEM I, different compositions
- Portland fly ash cement CEM II/A-V
- Fly ash, content and fineness, added during concrete mixing

The investigations comprise in total 12 test series of concrete in environmental class MA (Very aggressive environment), i.e. water/cement ratio  $\leq 0.45$  according to the Norwegian Code. The concretes have been manufactured using different types of NORCEM cement; three types Portland cement CEM I (named Standard-, Anlegg-, and Industri-cement); a Portland fly ash cement CEM II (named Standard FA); and a mix of Standard- and Anlegg-cement with ratio 1:3. This last cement combination has been mixed with fly ash of different fineness giving binders with fly ash content of 10 to 35 % of binder weight. The tests also comprise two concrete mixes with water/cement ratio 0.40, Standard FA cement and 0 and 4% silica fume of cement weight

Both NORCEM and SINTEF have performed field tests and recorded the chloride ingress in the concrete specimens after 35 days, 200 days, 1 year and 2 years of exposure in sea water. The test areas are located in Eidangerfjorden near the NORCEM plant Dalen and in Østmarkneset close to Trondheim.

NORCEM has used 100 mm cubes as test specimens. The outer 5 mm of the cubes were removed and the sawed surfaces exposed to chlorides. The test specimens were stored, 5 m below sea level. Salt content ( $\text{Cl}^-$ ) in the sea water was approx. 1.2 %.

SINTEF used cylinders Ø100/200 mm as test specimens. The cylinders were sawed lengthwise in two halves and exposed in the splash zone.

Chloride ingress was recorded on both the sawed surfaces and on the untreated end surfaces of the cylinders. In general, all the other were coated with epoxy.

SINTEF has in addition performed supplementary laboratory tests, to determine chloride ingress in concrete by the following accelerated methods:

- chloride ingress on immersed concrete specimens APM 302/NT Build 443
- salt spray testing according to SINTEF procedure KS 70116.

Chloride content was determined from powder grinded at intervals of 1.8 – 6 mm from the exposed concrete surface. The chloride profiles obtained form the basis for computing the chloride concentration on the concrete surface ( $C_o$ ), the diffusion coefficient ( $D$ ), the total chloride content of the concrete and the depth where chloride content by cement weight is equal 0.1% after one years exposure.

SINTEF has also measured electrical resistivity on concrete specimens cured under different exposure regimes, i.e. cubes and slices of cubes stored in water at 20°C for 6 respectively 24 months and slices of Ø100 mm cylinders exposed in the splash zone for 2 years.

The results indicate good agreement between accelerated testing performed in the laboratory and test on specimens exposed in the field. Concretes containing fly ash show greater resistance to chloride ingress than the corresponding values obtained in concrete with pure Portland cement.

The field tests show that the effect of fly ash is limited when evaluated at 35 days of exposure, while evaluation after one year and for two years of exposure shows a significant effect. The diffusion coefficient (D) is less for all concretes containing fly ash.

The resistivity values increase for increasing fly ash content.

Increasing content of fly ash in the concrete improve both chloride ingress and electrical resistance.

<b>Rapport nr.1:</b>	TITTEL:	Felldata for kloridinitiert armeringskorrosjon. Sammenstilling og kvalitetsvurdering av tilgjengelige data.
Aktivitet:	DP1 A1	
Utgiver:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Intern rapport nr. 2197.	
Forfattere:	Skjølvold, O., Jacobsen, S., Lahus, O., Lindgård, J., Hynne, T.	
ISSN	1502-2331	
ISBN	82-91228-04-3	
Sider:	12 + 9 +7 vedlegg + CD-ROM	
Dato:	Desember 2002	
<b>Rapport nr. 2:</b>	TITTEL:	Laboratoriedata for kloridinitiert armeringskorrosjon.
Aktivitet:	DP1 A1	
Utgiver:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport nr. STF22 A00732.	
Forfattere:	Hynne, T. og Lindgård, J.	
ISSN	1502-2331	
ISBN	82-91228-07-8	
Sider:	13+35+16 vedlegg	
Dato:	Januar 2003	
<b>Rapport nr. 3:</b>	TITTEL:	Gimsøystraumen bru. Spesialinspeksjon 1992-kloridprofiler. Vurdering av kloridbelastning og diffusjonskoeffisient
Aktivitet:	DP1 A1	
Utgiver:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Intern rapport nr. 2196.	
Forfattere:	Skjølvold, O.	
ISSN	1502-2331	
ISBN	82-91228-08-6	
Sider:	14+18+3 vedlegg + CD-ROM	
Dato:	Januar 2003	
<b>Rapport nr. 4:</b>	TITTEL:	Kloridinnitengning i ressursvennlig kvalitetsbetong.
Aktivitet:	DP1 A2	
Utgiver:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen NORCEM rapport	
Forfattere:	Kjellsen, K.O. og Skjølvold, O.	
ISSN	1502-2331	
ISBN	82-91228-09-4	
Sider:	14+16+13 vedlegg	
Dato:	Januar 2003	

<b>Rapport nr. 5:</b>	TITTEL:  Aktivitet: Utgiver:  Forfattere: ISSN ISBN Sider: Dato:	Statistisk beregning av levetid for betongkonstruksjoner utsatt for kloridinnitengning. DP1 B1 Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport nr. STF22 A01613. Hynne, T., Leira, B.J., Carlsen, J.E. og Lahus, O. 1502-2331 82-91228-10-8 Februar 2003
<b>Rapport nr. 6:</b>	TITTEL:  Aktivitet: Utgiver:  Forfattere: ISSN ISBN Sider: Dato:	Dimensjoneringsformat for kloridbestandighet. DP1 B1 Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport STF22 A02601. Leira, B.J. 1502-2331 82-91228-11-6 Februar 2003
<b>Rapport nr. 7:</b>	TITTEL:  Aktivitet: Utgiver:  Forfattere: ISSN ISBN Sider: Dato:	Pålitelighetsmetodikk ved bruk av FDV og levetidsberegninger. DP1 B2 Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Aas-Jakobsen. Rapp 6943-01. Larsen, R.M. 1502-2331 82-91228-12-4 Februar 2003
<b>Rapport nr. 8:</b>	TITTEL:  Aktivitet: Utgiver:  Forfattere: ISSN ISBN Sider: Dato:	Effekt av reparasjon på levetid: Eksempelstudie fra Gimsøystraumen. DP1 B3 Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport nr. STF22 A01607. Hynne, T. og Leira, B.J. 1502-2331 82-91228-13-2 Mars 2003

<b>Rapport nr. 9:</b>	TITTEL: Bestandighet og levetid av reparerte betongkonstruksjoner. Aktivitet: DP2 A2 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen NORUT Teknologi as rapport NTAS F2001-36. Forfattere: Arntsen, B. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-14-0 Sider: Dato: Mars 2003
<b>Rapport nr. 10:</b>	Restlevetid – Kai Sjursøya. Aktivitet: DP2 A3 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Selmer Skanska AS, rapport nr. B 01-01. Forfattere: Carlsen, J.E. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-15-9 Sider: Dato: Mars 2003
<b>Rapport nr. 11:</b>	Feltforsøk Sykkylven bru. Aktivitet: DP2 A4 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Selmer Skanska AS, rapport nr. B 01-02 Forfattere: Carlsen, J.E. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-16-7 Sider: Dato: Mars 2003
<b>Rapport nr. 12:</b>	Strengthening Prestressed Concrete Beams with Carbon Fiber Polymer Plates. Aktivitet: DP2 B1 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen NTNU, Institutt for konstruksjonsteknikk. Forfattere: Takacs, P.F. og Kanstad, T. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-17-5 Sider: Dato: Mars 2003

<b>Rapport nr. 13:</b>	TITTEL: Forsterking av betongsøyler med karbonfibervev. Aktivitet: DP2 B2 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport nr. STF22 A00718. Forfattere: Thorenfeldt, E. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-18-3 Sider: Dato: April 2003
<b>Rapport nr. 14:</b>	Forankringskapasitet av CFAP-bånd limt til betong. Aktivitet: DP2 B2 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport nr. STF22 A01618. Forfattere: Thorenfeldt, E. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-19-1 Sider: Dato: April 2003
<b>Rapport nr. 15:</b>	Nonlinear Finite Element Analysis of Deteriorated and Repaired RC Beams Aktivitet: DP2 B3 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen NORUT Teknologi as rapport NTAS F2001-31. Forfattere: Sand, B. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-20-5 Sider: Dato: Mai 2003
<b>Rapport nr. 16:</b>	Styrkeberegning ved korrosjonsskader. Aktivitet: DP2 B3 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen SINTEF. Rapport nr. STF22 A01619. Forfattere: Stemland, H. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-21-3 Sider: Dato: Mai 2003

<b>Rapport nr. 17:</b>	TITTEL: Korrosjonsegenskaper for rustfri armering. Aktivitet: DP2 C1 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen NTNU, Institutt for konstruksjonsteknikk. Forfattere: Rapport R-9-01. ISSN: Vennesland, Ø. ISBN: 1502-2331 Sider: 82-91228-22-1 Dato: Mai 2003
<b>Rapport nr. 18:</b>	Heftforhold for rustfritt armeringsstål. Aktivitet: DP2 C2 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen NTNU rapport. Forfattere: Hofsoy, A., Sørensen, S.I. og Markeset, G. ISSN: 1502-2331 ISBN: 82-91228-24-8 Sider: Dato: Mai 2003
<b>Rapport nr. 19:</b>	TITTEL: Service Life Design of Concrete Structures Aktivitet: DP1 B4 Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Helland, S., Maage, M., Smepllass, S., Fluge, F. Forfattere: 1502-2331 ISSN: 82-91228-25-6 ISBN: Sider: Dato: Juni 2003
<b>Rapport nr. 20:</b>	TITTEL: SLUTTRAPPORT Aktivitet: - Utgiver: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen Fluge, F. og Jakobsen, B. Forfattere: 1502-2331 ISSN: 82-91228-26-4 ISBN: Sider: Dato: November 2003

<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b>	xii
<b>FORORD</b>	iii
<b>SUMMARY</b>	v
<b>RAPPORTOVERSIKT</b>	vii
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b>	xii
<b>1. SAMMENDRAG</b>	xiii
<b>2. RAPPORt – innhold utgjøres av følgende vedlegg</b>	
NORCEM rapport, Januar 2001	
Kjellsen, K.O. og Skjølvold, O.	
"Kloridinntrengning i ressursvennlig kvalitetsbetong".	

## SAMMENDRAG

Aktiviteten er en videreføring av det kloridprogrammet som ble påbegynt i det NFR-støttede prosjektet ”Ressursvennlig kvalitetsbetong” (1996-1998).

Hovedmålsettingen med forsøkprogrammet har vært å fastlegge kloridinntrengningen i betong for ulik bindemiddelsammensetning:

- Portland cement CEM I, ulike typer.
- Portland flyeaskesement CEM II/A-V
- Flygeaske, mengde og malningsgrad, tilsatt under blandeprosessen

Undersøkelsene omfatter totalt 12 forsøkserier av betong i miljøklasse MA (meget aggressivt miljø), dvs. masseforhold  $\leq 0,45$  i henhold til Norsk Standard. Til betongene er det brukt ulike typer NORCEM sementer, 3 rene Portland sementer type CEM I (Standard-, Anlegg- og Industri-sement), en blandingssement, type CEM II (Standard FA) og en blanding av Standard- og Anlegg-sement i forholdet 1:3. I sistnevnte kombinasjon er flygeaske med ulik finhet innblandet i mengder på 0, 10, 20 og 35% av bindemiddelvekt. Forsøksserien omfatter i tillegg 2 betongblandingar med Standard FA og masseforhold 0,40 hvor silikastøv er tilsatt i mengder på 0 og 4% av sementvekt.

Både NORCEM og SINTEF har gjennomført feltforsøk med bestemmelse av kloridinntrengingen i betongen etter 35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 års eksponering i sjøvann ved feltstasjoner i Eidangerfjorden, utenfor NORCEM Dalen, og på Østmarkneset i Trondheim .

NORCEM benyttet 100 mm terninger som prøvestykker. De ytterste 5 mm av terningene, støpehuden, ble saget bort og sagflaten ble eksponert for klorider. Prøvestykkene ble lagret på 5 m dyp i sjøvann med saltinnhold på ca. 1,2%, som  $\text{Cl}^-$

SINTEF benyttet sylinder Ø100/200 mm som prøvestykker. Disse ble delt på langs og eksponert i tidevannssonen. Kloridinntrengingen ble målt både på sagflater og på endeflater med støpehud. Generelt gjelder at alle ikke eksponerte flater ble påført flere lag epoksy.

I tillegg til feltforsøkene har SINTEF gjennomført supplerende forsøk hvor kloridinntrengning i betong ble fastlagt ved følgende akselererte metoder:

- Neddykket kloridinntrengning, APM302 / NT Build 443 – tidligere kalt Bulk Diffusion
- Kloridpåsprøyting, SINTEFs interne prosedyre KS 70 116

Kloridinnholdet er målt på støv frest fra eksponert flate i sjikt på 1,8 – 6 mm. Resulterende kloridprofiler danner grunnlaget for beregning av kloridkonsentrasjon på betongoverflaten ( $C_o$ ), effektiv diffusjonskoeffisient (D), total mengde inntrengte klorider og dybde til kloridinnhold 0,1% etter 1 års eksponering.

SINTEF har i tillegg målt elektrisk motstand på prøvestykker herdet under ulike eksponeringsbetingelser, terninger og skiver av terninger vannlagret ved 20 °C i 6 henholdsvis 24 måneder samt skiver av Ø100 mm sylinder eksponert 2 år i skvalpesonen.

Resultatene viser at det er god sammenheng mellom akselererte prøver utført i laboratorium og naturlig kloridinntrengning fastlagt på feltekspонerte prøver. Betong med flygeaske har vesentlig større motstand mot kloridinntrengning enn tilsvarene verdier for betong fremstilt med rene Portlandsementer.

Ved korte eksponeringstider (35 døgn) viser feltforsøkene liten effekt av flygeasken, mens det kan påvises en betydelig effekt når eksponeringstiden øker til 1 henholdsvis 2 år. Diffusjonskoeffisienten ( $D$ ) blir vesentlig mindre i alle betonger som inneholder flygeaske, både blandinger med Standard FA cement og i betong hvor cement og flygeaske tilsettes i blandeprosessen. I betongprøver med flygeaske øker den elektriske motstanden.

Økende flygeaske tilsetning gir tydelig forbedring både med hensyn til kloridinntrengning og elektrisk motstand.

## **PROSJEKTRAPPORT**

Versjon: 17 desember 01

**PROSJEKT: BETONGKONSTRUKSJONERS LIVSLØP**

**DP1: LEVETIDSPROSJEKTERING**

**AKTIVITET DP1 A2: RESSURSVENNIG KVALITETS BETONG**

### **KLORIDINNTRENGING I RESSURSVENNIG KVALITETS BETONG**

Knut O. Kjellsen og Ola Skjølvold

#### **SAMMENDRAG**

Rapporten presenterer de viktigste resultatene fra aktivitet DP1 A2 'Ressursvennlig Kvalitetsbetong' i NFR prosjektet 'Betongkonstruksjoners Livsløp'. Deltagere i aktiviteten har vært SINTEF og Norcem. En hovedmålsetting i aktiviteten har vært å dokumentere innvirkningen av bindemidler med flygeaske (ressursvennlige bindemidler) på kloridinntrengingsegenskaper. Det er gjennomført feltforsøk ved Norcem og ved SINTEF. Her ble betongprøver utplassert i sjøen, og kloridinntrenging ble målt fra ca. 1 måned til 2 år. I tillegg er det utført akselererte kloridinntrengingstester. Elektrisk motstandsevne er også målt.

Alle resultatene viser at betong med flygeaske eller Portland flygeaskesement (Norcem STD FA) har vesentlig større motstand mot kloridinntrenging enn betong med ren Portland sement. Det er oppnådd svært god sammenheng mellom akselererte kloridinntrengingstester (laboratorieforsøk) og forsøk med naturlig kloridinntrenging (feltforsøk). Økende flygeasketilsetning (0, 10, 20 og 35%) gir tydelig reduksjon av kloridinntrengingen ved både laboratorie- og feltforsøk. Den elektriske motstandsevnen forbedres (dvs. øker) kraftig med økende mengde flygeaske.

## Innhold

1	INNLEDNING.....	4
2	MÅLSETTING, FORSØKSPROGRAM OG EKSPERIMENTELLE FORHOLD	
2.1	Målsetting.....	4
2.2	Materialer.....	4
2.3	Eksponeringsbetingelser og prøvemetoder.....	5
2.3.1	Kloridinntrenging – Feltforsøk.....	5
2.3.2	Kloridinntrenging - Akselererte metoder.....	6
2.3.3	Elektrisk motstand.....	6
2.3.4	Mikrostruktur.....	6
3	RESULTATER	
3.1	Kloridinntrenging – Feltforsøk.....	6
3.2	Kloridinntrenging - Akselererte metoder.....	12
3.3	Elektrisk motstand.....	13
4	KONKLUSJON.....	14
5	REFERANSER.....	15

## VEDLEGG

- VEDLEGG A1: Norcem rapport 9D4/R01016 (Kloridinntrenging i ressursvennlig kvalitetsbetong)
- VEDLEGG A2: SINTEF prøvingsrapport 70100/1 (Betongblandinger – materialsammensetning og data for fersk betong)
- VEDLEGG A3: SINTEF prøvingsrapport 70100/2 (Bestemmelse av 28 døgns trykkfasthet for herdnet betong)
- VEDLEGG A4: SINTEF rapport STF22 F00730 (Feltforsøk på Østmarkneset – vurdering av resultatene fram til 2 års eksponering)
- VEDLEGG A5: Statens Vegvesen notat av 2001-03-17 (Betong eksponert i skvalpesonen og neddykket i sjøvann – en sammenligning av resultatene etter 2 års eksponering)
- VEDLEGG A6: SINTEF prøvingsrapport 70100/11 (Akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltlösning i henhold til NT Build 443)
- VEDLEGG A7: SINTEF prøvingsrapport 70100/12 (Akselerert kloridinntrenging ved påsprøyting av sjøvann (KS70 116 modifisert))
- VEDLEGG A8: SINTEF prøvingsrapport 70100/3 (Bestemmelse av elektrisk motstandsevne for herdnet betong)
- VEDLEGG A9: SINTEF prøvingsrapport 70100/10 (Bestemmelse av elektrisk motstand etter 2 års vannlagring)

- VEDLEGG A10: SINTEF prøvingsrapport 70100/13R (Bestemmelse av porositet og elektrisk motstand etter 2 års eksponering i tidevannsonen)
- VEDLEGG A11: Statens vegvesen notat av 2001-03-22 (Elektrisk motstand – målinger over 2 år)
- VEDLEGG A12: SINTEF notat av 2001-04-05 (Mikrostruktur av betong eksponert for sjøvann i felt i 2 år)
- VEDLEGG A13: SINTEF notat av 2001-04-05 (Kloridbindings-og adsorpsjonsisoterm for vannlagrede prismaer)

## **1 INNLEDNING**

Den foreliggende rapport presenterer aktiviteten DP1 A2 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' i det NFR støttede prosjektet 'Betongkonstruksjoners Livsløp' (1998-2000). Aktivitet DP1 A2 har omfattet en videreføring av det kloridprogrammet som ble påbegynt i det NFR støttede prosjektet 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' (1996-1998), hvor Norcem hadde prosjektlederansvaret. Deltagere i DP1 A2 har vært Norcem og SINTEF. Denne rapporten begrenser seg til en kortfattet beskrivelse av forsøkene, samt en oppsummering av resultatene fra arbeidene til SINTEF og Norcem. De mest sentrale resultatrapportene fra aktiviteten DP1 A2 er gitt i denne rapportens VEDLEGG A1 til A13. Referanselisten gir en oversikt over de rapporter og notater som er framkommet i aktiviteten DP1 A2 samt i det forutgående kloridprogrammet i prosjektet 'Ressursvennlig kvalitetsbetong'.

## **2 MÅLSETTING, FORSØKSPROGRAM OG EKSPERIMENTELLE FORHOLD**

### **2.1 Målsetting**

Forsøksprogrammet (1) ble utarbeidet av Gudrun Lundevall og Terje F. Rønning ved Norcem. Hovedmålsettingen med forsøksprogrammet (1) var å undersøke og dokumentere:

- Betydning av sementsammensetning for kloridinntrenging i betong.
- Innvirkning av flygeaskesement (STD FA) på kloridinntrenging i betong.
- Innvirkning av mengde flygeaske (FA) og flygeaskens (FA) malningsgrad på kloridinntrengingen.

### **2.2 Materialer**

Materialmatrise for forsøksserien er gitt i Tabell 1. Følgende Norcem sementer har inngått i undersøkelsen: Standard (STD), Standard FA (STD FA), Anlegg (ANL) og Industri (IND). Tallene 710/468/1019 i Tabell 1 angir finheten på flygeasken (FA). Prosentsatsene angir mengde flygeaske (FA) i forhold til total bindemiddelmengde. Blandingene er i henhold til miljøklasse MA (Meget aggressivt miljø) i Norsk Standard. Blanding 12 er i tillegg i henhold til spesifikasjonen for SV-40 betong i Statens Vegvesen. Blanding 11 har samme vann/bindemiddel forhold som Blanding 12, men inneholder ikke silikastov.

Blandingene gitt i Tabell 1 ble utstøpt i prosjektet 'Ressursvennlig kvalitetsbetong'. Blandingene ble produsert både ved SINTEF og ved Norcem. Betongsammensetning og fersk betongegenskaper er nærmere beskrevet i VEDLEGG A1 og A2, for forsøkene ved henholdsvis Norcem og SINTEF. Sammensetningen til delmaterialene er gitt i VEDLEGG A1. Forhold som gjelder blanding, utstøping og herdebetingelser er gitt i VEDLEGG A1 for Norcem prøver, og i VEDLEGG A2 for SINTEF prøver. Fasthetsutviklingen for Norcem prøver er gitt i VEDLEGG A1, og i VEDLEGG A3 for SINTEF prøver.

Tabell 1: Materialmatrise for kloridprogrammet (1).

		Sement				
	VANN/ (SEM+FA+SF)	STD FA	STD/ANL 3/1	ANL	STD	IND
	0,45	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 1	Bl. 9	Bl. 10
FA (710) 10%	0,45		Bl. 4			
FA (710) 20%	0,45		Bl. 5			
FA (710) 35%	0,45		Bl. 6			
FA (468) 20%	0,45		Bl. 7			
FA (1019) 20%	0,45		Bl. 8			
	0,40	Bl. 11				
SF 4%	0,40	Bl. 12				

## 2.3 Eksponeringsbetingelser og prøvemetoder

### 2.3.1 Kloridinntrenging - Feltforsøk

Ved Norcem ble det etablert en feltstasjon ved Tangen kai utenfor Norcem Dalen fabrikker (Eidanger fjorden) for utplassering av prøvene. Prøvene ble nedsenket til et vanndyp av ca. 5 m. Saltholdigheten ( $[Cl^-]$ ) ble målt til ca. 1,2%. Prøvene hadde en alder av ca. 2 måneder ved utsetting i sjøvann. Støpehudene ble skåret av prøvene. Kloridinntrengingen i prøvene ble målt etter 35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 år eksponering for sjøvann. På grunnlag av de målte kloridprofiler ble det foretatt beregning av 'overflatekonsentrasijsn', 'effektiv diffusjonskoeffisient', 'total kloridinntrenging' og 'beregnet dybde for kloridinnhold 0,1% etter 1 år'. For ytterligere detaljer se VEDLEGG A1.

Ved SINTEF ble det gjennomført ulike tester. En serie prøver ble plassert i tidevannssonen (Østmarkneset feltstasjon, Trondheimsfjorden) etter en herdetid på 28 døgn i laboratoriet. Prøver med (støpehud) og uten støpehud (sagflate) ble utplassert. Kloridinntrengingen i prøvene fra Østmarkneset feltstasjon ble så målt etter 35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 år. På grunnlag av de målte kloridprofiler ble det foretatt beregning av 'overflatekonsentrasijsn', 'effektiv diffusjonskoeffisient', 'total kloridinntrenging' og 'beregnet dybde for kloridinnhold 0,1% etter 1 år'. For ytterligere detaljer se VEDLEGG A4.

### **2.3.2 Kloridinntrenging - Akselererte metoder**

Ved SINTEF ble kloridinntrengingsegenskapene til blandingene (Tabell 1) også målt ved hjelpe av akselererte metoder:

- Akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltløsning i henhold NT Build 443, VEDLEGG A6.
- Akselerert kloridinntrenging ved påsprøyting av sjøvann (KS70 116 modifisert), VEDLEGG A7.

Prøvene ble vannlagret i 6 måneder i laboratoriet før prøving ble gjennomført. Eksperimentelle forhold er nærmere beskrevet i VEDLEGG A6-A7.

### **2.3.3 Elektrisk motstand**

Ved SINTEF ble den elektriske motstandsevnen til betongene målt. Det er målt på følgende aldre og prøver:

- Prøver (100 mm terninger) vannlagret ved ca. 20°C til 6 måneders alder, VEDLEGG A8 og A11.
- Prøver (støpehudskiver og sagflateskiver av 100 mm terning) vannlagret ved ca. 20°C til 2 og 3 års alder, VEDLEGG A9 og A11.
- Prøver (18 mm skiver) tatt ut fra ikke kloridholdig sone av 100 mm sylinder eksponert i skvalpesonen ved Østmarkneset i 2 år, VEDLEGG A10 og A11.
- Prøver (40 mm skiver) tatt ut fra yttersjiktet av 100 mm sylinder eksponert i skvalpesonen ved Østmarkneset i 2 år, VEDLEGG A10 og A11.

Eksperimentelle forhold er nærmere beskrevet i VEDLEGG A8-A11.

### **2.3.4 Mikrostruktur**

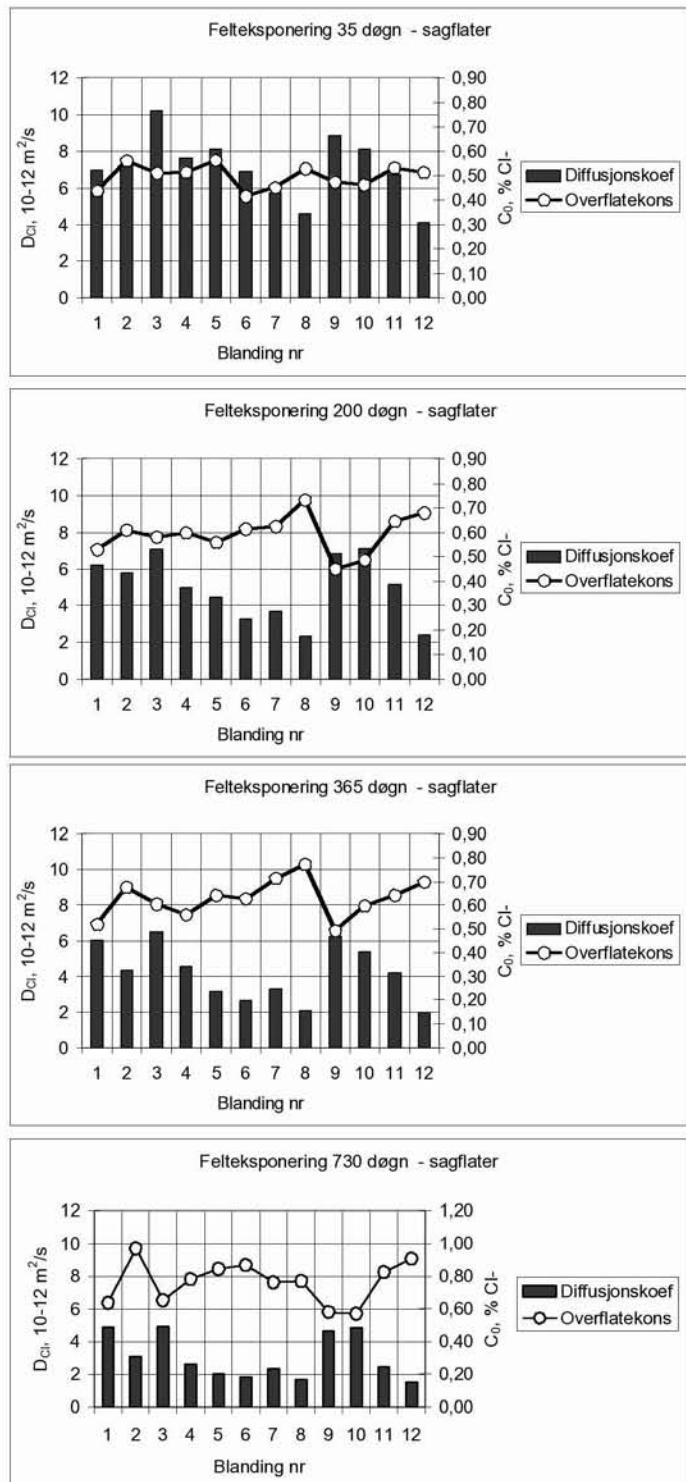
Ved SINTEF er gjort målinger av porositet (VEDLEGG A10), og det er fortatt noe mikroskopiering (VEDLEGG A12). SINTEF har videre gjort forsøk på å etablere kloridbindings- og adsorpsjonsisoterm for vannlagrede prisma (VEDLEGG A13).

## **3 RESULTATER**

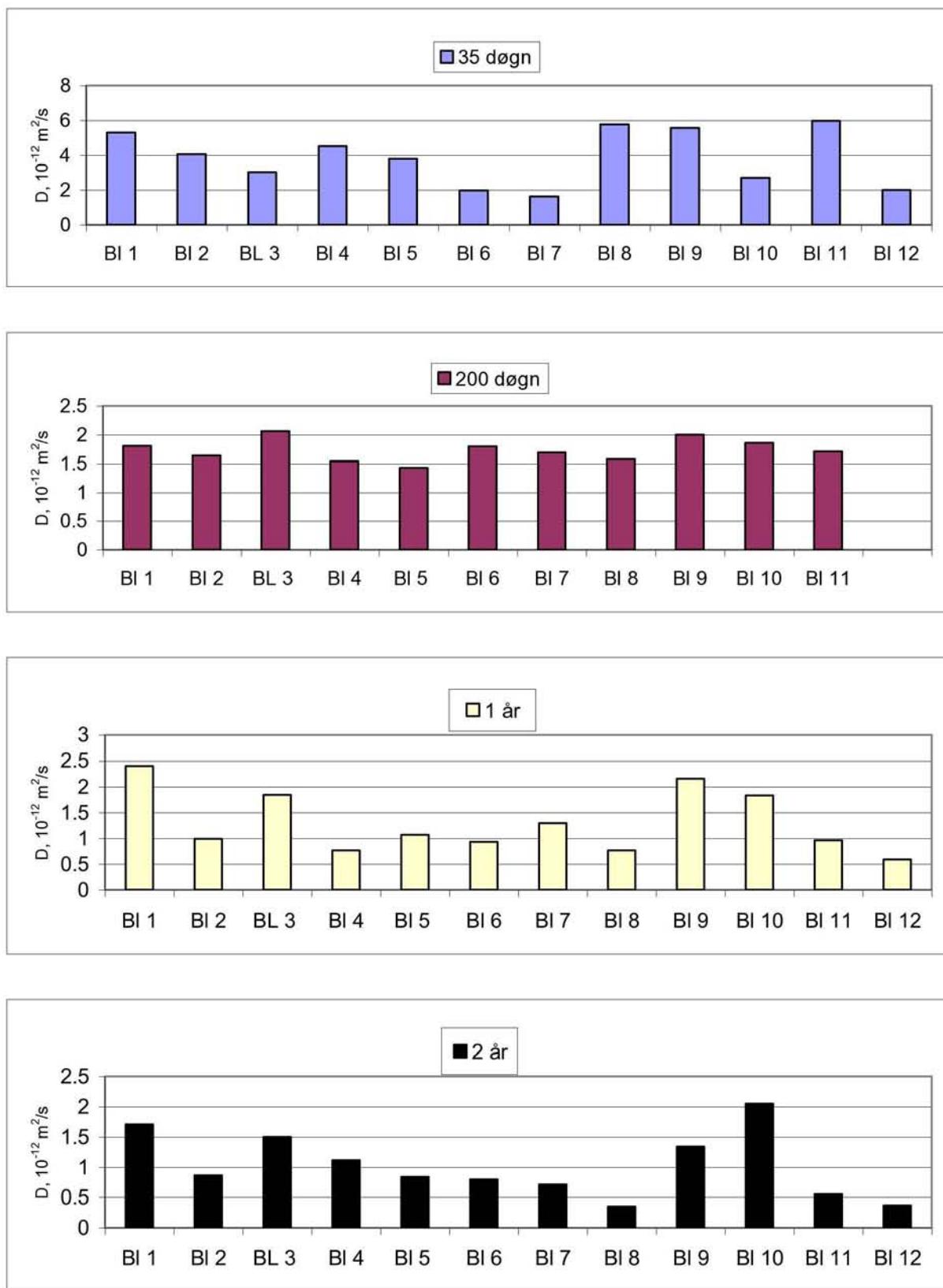
### **3.1 Kloridinntrenging - Feltforsøk**

Resultatene fra Norcems arbeider er gitt i VEDLEGG A1. De viktigste resultatene fra SINTEFs studier er gitt i VEDLEGG A4. Det er videre gitt en sammenligning av resultatene fra Norcem og SINTEF i VEDLEGG A5. Samtlige resultater er gitt i (6-9, 15, 18, 20-21).

Figur 1 viser beregnet diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for SINTEF prøvestykke med sagflate som eksponeringsflate. Figur 2 viser beregnet diffusjonskoeffisient for Norcem prøver. Ved korte eksponeringstider (særlig 35 døgn) er det ikke funnet noe klart bilde av innvirkningen av flygeaske på kloridinntrengingen. Blandingene med flygeaske (Bl.2, 4, 5, 6, 7 og 8) skiller seg ikke vesentlig ut fra øvrige blandinger (Bl.1, 3, 9, og 10) når det gjelder feks. diffusjonskoeffisienter. Som sees av Figur 1 og 2 oppnås imidlertid en tydelig virkning av flygeaske ved høyere eksponeringsalder (1 og 2 år).



Figur 1: Beregnet diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for prøvestykker med sagflate som eksponeringsflate, SINTEF forsøk (VEDLEGG A4).



Figur 2: Beregnet diffusjonskoeffisient for prøvestykker med sagflate som eksponeringsflate, Norcem forsøk (VEDLEGG A1).

Blandingene 4, 5 og 6 har økende tilsetning flygeaske (hhv. 10, 20 og 35%). Økende flygeasketilsetning gir reduksjon av kloriddiffusjonskoeffisienten (Figur 1 og 2). Blanding 7, 5 og 8 har konstant mengde flygeaske men forskjellig askefinhet (hhv. Umalt, 'finmalt 710' og 'finmalt 1019'). Økt finmalningsgrad ser ut til å redusere diffusjonskoeffisienten, men effekten er ikke helt klarlagt ved de gjennomførte forsøkene. Blandingen med ekstremt finmalt flygeaske (Bl.8, 'finmalt 1019') ser imidlertid ut til å gi lavere diffusjonskoeffisienter enn blandingene med umalt (Bl.7) eller mer moderat malt flygeaske (Bl.5).

Virkningen av flygeaske kan også sees fra Tabell 2. Ved 2 år er diffusjonskoeffisienten 1,5 til 3 ganger lavere i blandingene med flygeaske enn i blandingene uten. Dette kommer klart til utsyn ved beregning av såkalte  $\alpha$ -verdier (Tabell 2 og 3). Alfa ( $\alpha$ ) er et utsyn for hvordan diffusjonskoeffisienten endres med økende eksponeringstid. Gjennom å avsette beregnet diffusjonskoeffisient mot  $t/t_0$ , hvor  $t_0$  er herdetid før eksponering i sjøvann og  $t$  er eksponeringstid, i et dobbeltlogaritmisk skjema oppnås en lineær sammenheng. Helningen på denne sammenhengen er parameteren  $\alpha$ . Dersom  $\alpha$  er 0 betyr det at diffusjonskoeffisienten er konstant over tid. Jo større  $\alpha$  er jo mer vil diffusjonskoeffisienten ha blitt redusert over tid. En høy  $\alpha$ -verdi er gunstig da det innebærer at betongens motstandsevne mot kloridinntrenging øker med økende eksponeringstid. Det sees av Tabell 2 og 3 at blandingene med flygeaske har større  $\alpha$ -verdier enn blandingene uten. Det kan være relativt stor spredning i enkeltverdier, men samlet sett virker bildet klart (Tabell 3).

Tabell 2: Pastasammensetning og kloridinntrenging etter 2 års eksponering for prøver eksponert i hhv skvalpesonen (Østmarkneset) og neddykket i sjøvann (Brevik). (VEDL A5)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finnmalt 710				37	74	128						
	Umalt							73					
	Finnmalt 1019								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
V/b	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
Skvalpe- sone	k , mm	25,6	23,4	26,0	20,0	18,1	17,1	18,9	16,1	24,2	24,5	19,9	16,0
	Cl <sub>tot</sub> g/m <sup>2</sup>	305	381	315	297	277	241	264	224	272	272	292	256
	C <sub>0</sub> , %	0,64	0,97	0,65	0,79	0,85	0,87	0,76	0,77	0,58	0,57	0,83	0,91
Sagflater	D,10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	4,9	3,1	4,9	2,6	2,0	1,8	2,3	1,7	4,7	4,8	2,5	1,5
	$\alpha$ (28dg–2 år)	0,15	0,34	0,29	0,34	0,56	0,54	0,36	0,41	0,24	0,22	0,37	0,41
	$\alpha$ (200dg–2 år)	0,21	0,52	0,32	0,57	0,70	0,50	0,41	0,25	0,32	0,33	0,62	0,41
Skvalpe- sone	k , mm	18,1	20,0	20,7	20,4	17,4	15,9	17,3	15,3	22,6	19,9	15,5	7,4
	Cl <sub>tot</sub> g/m <sup>2</sup>	203	303	239	252	240	153	214	218	246	216	223	99
	C <sub>0</sub> , %	0,46	0,76	0,49	0,61	0,70	0,57	0,59	0,71	0,50	0,44	0,66	0,41
Støpehud	D,10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	3,2	2,7	4,0	3,3	2,1	2,1	2,4	1,6	4,6	4,0	1,8	0,6
	$\alpha$ (28dg–2 år)	0,21	0,47	0,31	0,58	0,46	0,62	0,49	0,44	0,15	0,23	0,46	0,80
	$\alpha$ (200dg–2 år)	0,55	0,39	0,28	0,56	0,76	0,61	0,37	0,38	0,15	0,16	0,69	0,41
Ned- dykket	k, mm	12,1	10,8	9,7	11,6	10,6	9,3	8,5	6,0	9,7	13,0	8,0	6,6
	Cl <sub>tot</sub> g/m <sup>2</sup>	121	145	87	148	145	101	100	70	86	126	98	77
	C <sub>0</sub> , %	0,40	0,68	0,30	0,59	0,66	0,50	0,48	0,48	0,33	0,38	0,55	0,55
	D,10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	1,71	0,86	1,50	1,11	0,84	0,80	0,71	0,35	1,34	2,05	0,55	0,37
	$\alpha$ (35dg–2 år)	0,43	0,65	0,28	0,65	0,62	0,39	0,30	1,13	0,55	0,13	0,97	0,68
	$\alpha$ (200dg–2 år)	0,06	0,53	0,27	0,24	0,44	0,66	0,73	1,25	0,35	-0,08	0,94	0,71

Blandingene uten flygeaske har gjennomsnittlige  $\alpha$ -verdier i området 0,14 til 0,31. For blandingene med flygeaske er gjennomsnittlige  $\alpha$ -verdier i området 0,38 til 0,75.

I Tabell 4 er vist målt kloridinntrengingsdybde ved kloridkonsentrasjonene 0,1 og 0,05%. Innrengingsdybden ved et konsentrasjonsnivå på 0,1%, eller kanskje særlig ved 0,05%, kan tas som et uttrykk for hvor langt de første klorider har trengt inn i prøvene. Resultatet viser at innrengingsdybden ved senere aldre er vesentlig lavere for blandingene som inneholder flygeaske.

Tabell 3: Gjennomsnittlige  $\alpha$ -verdier (snitt av skvalpesone (sag og støp) samt neddykket). Standardavvik i parentes. (Fra Tabell1).

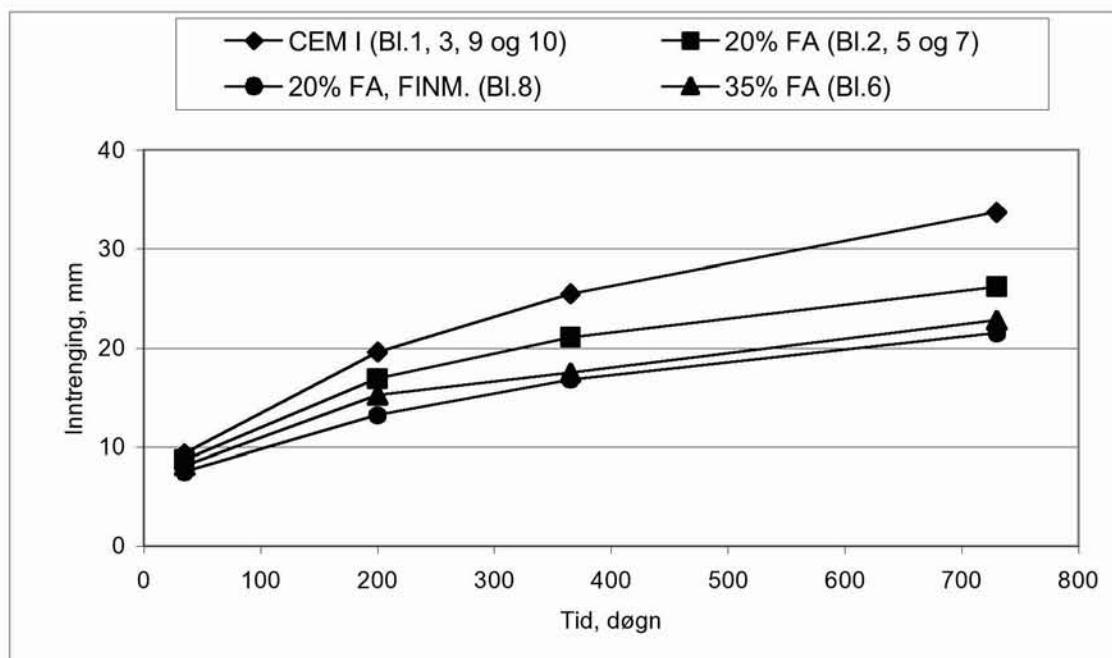
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finnmalt 710				37	74	128						
	Umalte							73					
	Finnmalt 1019								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
v/b		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
$\alpha$ (28 døgn – 2 år)		0,26 (0,15)	0,49 (0,16)	0,29 (0,02)	0,52 (0,16)	0,55 (0,08)	0,52 (0,12)	0,38 (0,09)	0,66 (0,41)	0,31 (0,21)	0,19 (0,05)	0,60 (0,32)	0,63 (0,19)
$\alpha$ (200 døgn – 2 år)		0,27 (0,25)	0,48 (0,08)	0,29 (0,03)	0,46 (0,19)	0,63 (0,17)	0,59 (0,08)	0,50 (0,19)	0,63 (0,54)	0,27 (0,11)	0,14 (0,21)	0,75 (0,17)	0,51 (0,17)

Tabell 4: Målt inntregingsdybde (x) ved henholdsvis 0,1% og 0,05% kloridkonsentrasjon for prøver (sag) eksponert i hhv skvalpesonen (Østmarkneset) og neddykket i sjøvann (Brevik) ved ulike aldre.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finnmalt 710				37	74	128						
	Umalte							73					
	Finnmalt 1019								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
v/b		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
x (mm) 35 døgn Skvalpesone (0,05%)	0,1%	8 (10)	9 (11)	11 (13)	9 (12)	10 (12)	8 (11)	8 (10)	8 (8)	9 (13)	9 (11)	9 (10)	7 (8)
x (mm) 200 døgn Skvalpesone (0,05%)	0,1%	20 (23)	20 (22)	21 (23)	19 (22)	17 (21)	15 (18)	14 (19)	14 (16)	19 (27)	19 (23)	18 (21)	13 (15)
x (mm) 1 år Skvalpesone (0,05%)	0,1%	25 (30)	22 (27)	28 (29)	23 (27)	20 (23)	18 (21)	21 (24)	17 (20)	25 (29)	25 (28)	22 (25)	15 (18)
x (mm) 2 år Skvalpesone (0,05%)	0,1%	35 (42)	30 (33)	35 (43)	29 (32)	25 (28)	23 (26)	25 (29)	22 (25)	32 (37)	33 (39)	25 (30)	21 (24)
x (mm) 1 år Neddykket (0,05%)	0,1%	13 (22)	7 (11)	11 (15)	7 (10)	10 (12)	10 (13)	10 (11)	7 (16)	10 (15)	10 (12)	9 (10)	7 (10)
x (mm) 2 år Neddykket (0,05%)	0,1%	18 (22)	15 (19)	15 (19)	16 (20)	15 (17)	13 (16)	13 (16)	9 (12)	14 (21)	19 (24)	11 (15)	9 (13)

Inntringsdybden er større i prøvene som har vært utplassert ved Østmarkneset enn for de som har ligget neddykket utenfor Brevik. Dette kan skyldes de forskjellige eksponeringsbetingelsene ved Østmarkneset og Brevik (skvalpesone kontra neddykket) samt den høyere kloridkonsentrasjonen i sjøvannet ved Østmarkneset i forhold til den ved Brevik.

I Figur 4 er avsatt gjennomsnittlig inntringsdybde ved en kloridkonsentrasjon på 0,1% for SINTEF blandingene med Portlandsement (Bl.1, 3, 9, og 10), for blandingene med 20% umalt eller moderat malt flygeaske (Bl.2, 5 og 7), for blandingen med 20% ekstremt finmalt flygeaske (Bl.8) og for blandingen med 35% moderat malt flygeaske (Bl.6). Ved tidlig alder er det liten forskjell i inntringsdybden for de ulike bindemidlene. Ved senere alder sees at forskjellen øker. Inntringsdybden blir da vesentlig mindre i prøvene med flygeaske enn i de uten flygeaske. Den gjennomsnittlige inntringsdybden ved et kloridinnhold på 0,1% etter 2 år er 34 mm for blandingene med Portlandsement, 26 mm for blandingene med 20% umalt og moderat malt flygeaske og 23 mm for blandingen med 35% moderat malt flygeaske. Prøvene med 20% ekstremt finmalt flygeaske ser ut til å ha likeverdig inntringsdybde med prøvene som inneholder 35% moderat malt flygeaske (22 mot 23 mm). En årsak til dette kan være at den ekstreme finheten har ført til en øket pozzolanisk aktivitet. Dvs. ved de undersøkte aldrene (opptil 2 år) vil en større del av flygeasken ha reagert pozzolanisk i blandingen med den ekstremt finmalt flygeasken i forhold til tilfellene med umalt eller moderat malt flygeaske. Å male flygeaske til høy finhet for praktisk bruk er nok urealistisk da kostnadene for slik maling ville bli svært høye. Hvis teorien om at den forskjellige kloridinntrengingen skyldes ulik pozzolanreaktivitet er riktig, vil ventelig forskjellen i kloridinntrenging mellom variantene med ulik malningsgrad utjevnes ved senere aldre enn 2 år.

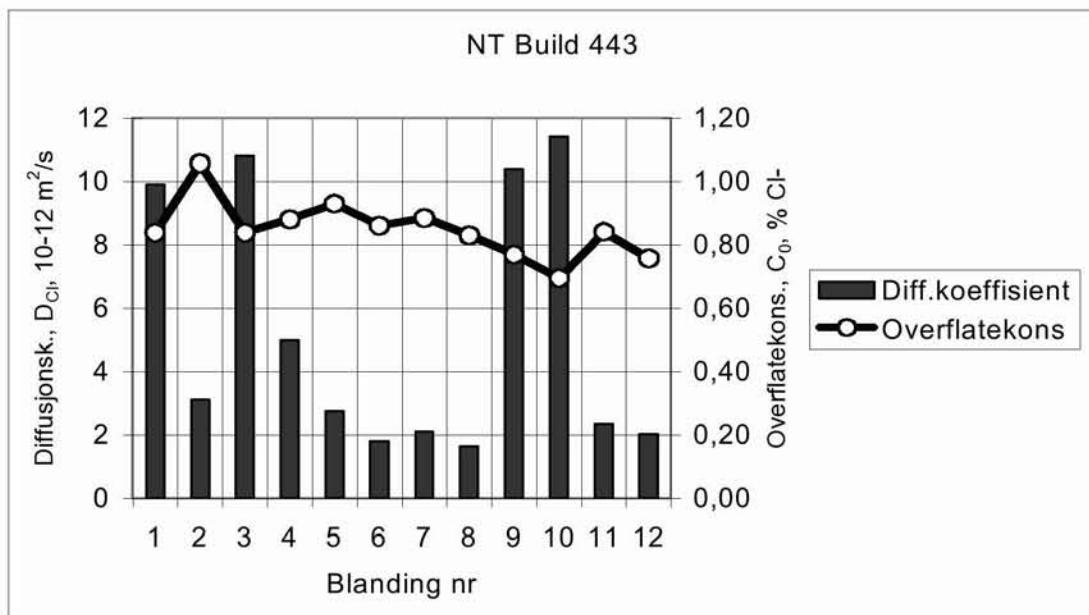


Figur 3: Målt inntringsdybde for neddykkede prøver (sag, Østmarkneset) ved en kloridkonsentrasjon på 0,1%. Gjennomsnittsverdier for blandingene med Portlandsementer (CEM I, Bl.1, 3, 9 og 10), blandingene med 20% umalt eller moderat malt flygeaske (20% FA, Bl.2, 5 og 7), blandingen med ekstremt finmalt flygeaske (20%FA, FINM., Bl.8) og for blandingen med 35% flygeaske (35% FA, Bl.6).

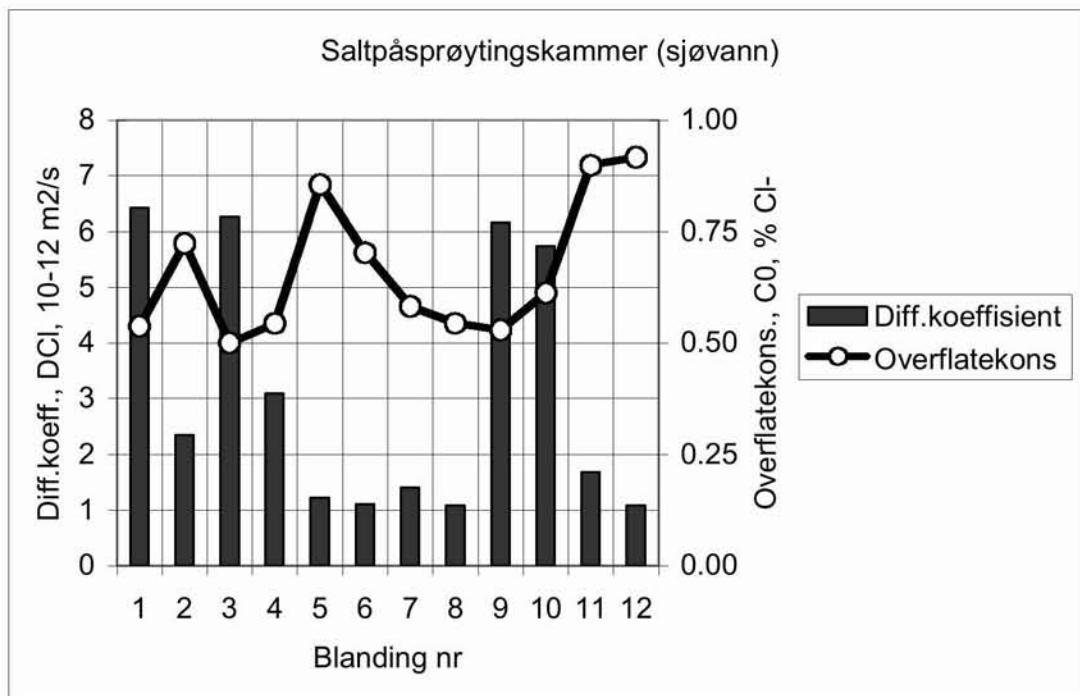
### 3.2 Kloridinntrenging - Akselererte metoder

Resultatene fra akselererte kloridinntrengingsforsøkene er redegjort for i VEDLEGG A6 og A7. Resultatene er gjengitt i Figurene 3 og 4. For de ulike blandingene med Portlandsement (Bl.1, 3, 9 og 10) er det praktisk talt ingen forskjell i diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon. Den store forskjellen er for blandingene med og uten flygeaske. For blandingene med 20% (Bl.2, 5, 7 og 8) eller 35% flygeaske (Bl.6) er diffusjonskoeffisienten hele 3 til 5 ganger lavere enn for blandingene uten flygeaske. Økt mengde flygeaske gir lavere diffusjonskoeffisient.

Den positive effekten av flygeaske på kloridinntrengingen er vesentlig større i de akselererte testene enn i feltforsøkene. En mulig årsak til dette kan være de gunstige herdebetingelsene prøvene til de akselererte testene ble gitt. Prøvene ble lagret i 20°C i 6 måneder før de ble testet. En ganske vesentlig del av flygeaskens pozzolanreaksjon vil ventelig være unnagjort i løpet av 6 måneder ved 20°C. Pozzolanreaksjonen vil sannsynligvis ha fortsett kapillærporosystemet i blandingene med flygeaske. Etter 1 og 2 års eksponering sees en tydelig positiv effekt av flygeaske på kloridinntrengingen i feltprovene (kap.3.1). Disse provene ble lagret ved 20°C i 1 måned ved SINTEF, og i 2 måneder ved Norcem før de ble eksponert for sjøvann. Gjennomsnittstemperaturen under feltforhold er ikke kjent, men vil kanskje ha vært et sted mellom 5 og 10°C. Ved såpass lave temperaturer skjer både cement og pozzolanreaksjonene svært langsomt. Med andre ord, en nærliggende årsak til at de akselererte testene har vist størst effekt av flygeasken kan være et en større del av flygeasken er reagert i disse prøvene. Flygeasken i feltprovene vil fortsette å reagere i flere år, og dermed fortette porestrukturen på lang sikt. Dette innebærer at feltprovene med flygeaske har et potensial til å oppnå ytterligere forbedringer av kloridinntrengingsegenskapene ved senere aldre enn 2 år.



Figur 3: Diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon bestemt ved NT Build 443 (VEDLEGG A6).



Figur 4: Diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon som følge av saltpåsprøyting (VEDLEGG A7).

### 3.3 Elektrisk motstand

Resultatene fra måling av elektrisk motstandsevne er gitt i VEDLEGG A8-A11, og gjengitt i Tabell 4. Det sees at flygeaske har en meget positiv effekt på ledningsevnen. Laboratorielagrede prøver med flygeaske har opptil 7 ganger høyere elektrisk motstand enn prøver uten flygeaske. Det er også interessant å se hvordan den elektriske motstandsevnen øker med økende herdetid. Fra 6 måneder til 2 år øker den elektrisk motstanden langt mer i blandingene med flygeaske enn i blandingene uten flygeaske. En årsak kan være flygeaskens pozzolan reaksjon, som vil fortette porestrukturen. Mens silikastøv er et hurtigreagerende pozzolan (reaksjonstid: måneder), reagerer flygeaske mye langsommere (reaksjonstid: år). Det kan sees at feltprøver med flygeaske har lavere elektrisk motstand enn laboratorieprøver. Igjen kan flygeaskens reaksjonsgrad være en viktig årsak til de observerte forskjeller. Flygeaske-reaksjonen vil ikke ha kommet så langt i feltprøvene som i laboratorieprøvene pga. lavere temperatur. Også for feltprøver som inneholder klorider kommer flygeaskeblandingene langt bedre ut enn blandingene uten flygeaske.

Tabell 4: Pastasammensetning og elektrisk motstand etter ulik lagring i inntil 2 år

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsement	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369								407	386	
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flygeaske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 710				37	74	128						
	Umalt							73					
	Finmalt 1019								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
v/b		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
Elektr. mots. $\Omega\text{m}$	6 mndi lab. (støpehud)	70	163	77	179	269	353	179	254	85	101	224	420
	2 år i lab. (sagflate)	88	443	93	298	597	962	516	593	103	99	608	917
	2 år i lab. (støpehud)	96	458	97	330	642	1019	516	618	115	112	631	943
	3 år i lab. (sagflate)	183	507	189	384	685	1017	584	671	159	149	672	950
	2 år i felt (sagfl. u/klorid)	150	284	147	237	415	504			155			
	2 år i felt (sag/hud m/klor)	113	181	116	191	285	347			111			

## 4 KONKLUSJON

Betonprøver med forskjellig bindemiddelsammensetning er undersøkt mhp. kloridinntrenging. En hovedmålsetting har vært å dokumentere innvirkningen av flygeaske på kloridinntrengingsegenskapene. Betongprøver ble nedsenket i sjøvann ved Norcem Dalen fabrikker (Eidangerfjorden). Ved SINTEF ble prøver utplassert ved Østmarkneset feltstasjon (Trondheimsfjorden). Kloridinntrenging er målt etter 35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 år. SINTEF har i tillegg målt kloridinntrenging vhja. akselererte kloridinntrengingsmetoder. SINTEF har også målt elektrisk motstandsevne og gjort noe mikrostrukturundersøkelser. Den foreliggende rapport gir en oppsummering av resultatene av undersøkelsene utført ved Norcem og SINTEF.

Det er oppnådd svært god sammenheng mellom resultatene fra laboratorieprøving (akselererte tester) og feltekspionering. Alle resultatene viser at betong med flygeaske har vesentlig større motstand mot kloridinntrenging enn betong med ren Portlandsement. Ved korte eksponeringstider (35 døgn) viser feltforsøkene at innvirkningen av flygeaske er liten. En grunn til dette kan være at flygeaskens pozzolanreaksjon er langsom. Ved korte eksponeringstider vil kun en liten del av flygeasken være reagert. Ved lengre eksponeringstider (1 og 2 år) blir innvirkningen av flygeaske helt tydelig.

Diffusjonskoeffisienten blir da vesentlig lavere i blandingene som inneholder flygeaske. Betongene med Portlandsementer viser en liten til moderat økning av motstandsevnen mot kloridinntrenging ved økende eksponeringstid. Sement med den undersøkte flygeasken (feks. Standard FA sement) medfører derimot en vesentlig økning av betongens motstandsevne mot kloridinntrenging ved høyere eksponeringsalder. En årsak til dette er høyst sannsynlig at en ganske vesentlig del av flygeasken har reagert etter såpass lang tid som ett til to år. Flygeaskens pozzolanreaksjon vil sannsynligvis ha fortsettet betongens struktur og dermed redusert kloridinntrengingen. Flygeaske forbedrer også betongens elektriske motstandsevne, ved at denne øker kraftig i prøver med flygeaske. Økende flygeasketilsetning (0, 10, 20 og 35%) gir tydelige forbedringer av både kloridinntrengingsegenskaper og elektrisk motstandsevne.

## 5 REFERANSER

1. Lundevall, G. 'Program, Kloridinntrengning'. Notat av 1997-10-27, Ressursvennlig Kvalitetsbetong (P596-4), Norcem FoU A.S, Brevik, 1997.
2. Skjølvold, O. 'Betongblanding - materialsammensetning og data for fersk betong. Del 1'. Prøvingsrapport 70100/1, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
3. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av 28 døgns trykkfasthet for herdnet betong. Del 2'. Prøvingsrapport 70100/2, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
4. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av elektrisk motstandsevne for herdnet betong. Del 3'. Prøvingsrapport 70100/3, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
5. Skjølvold, O. 'Porositet for herdnet betong bestemt ved kvikksølvsporsimetri. Del 4'. Prøvingsrapport 70100/4, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
6. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 35 døgn eksponeringstid. Del 5'. Prøvingsrapport 70100/5, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
7. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 200 døgn eksponeringstid. Del 6'. Prøvingsrapport 70100/6, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
8. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 365 døgn eksponeringstid. Del 7'. Prøvingsrapport 70100/7, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
9. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 730 døgn eksponeringstid. Del 8'. Prøvingsrapport 70100/8, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
10. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av migrasjonskoeffisient for klorider i henhold til NT Build 355 Del 9'. Prøvingsrapport 70100/9, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
11. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av elektrisk motstandsevne etter 2 års vannlagring'. Prøvingsrapport 70100/10, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
12. Skjølvold, O. 'Akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltløsning i henhold til NT Build 443. Del 11'. Prøvingsrapport 70100/11, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
13. Skjølvold, O. 'Akselerert kloridinntrenging ved påsprøyting av sjøvann (KS70 116 modifisert). Del 12'. Prøvingsrapport 70100/12, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
14. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av porositet og elektrisk motsand etter 2 års eksponering i tidevannssonen. Del 13'. Prøvingsrapport 70100/13R, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
15. Skjølvold, O. 'Feltforsøk på Østmarkneset - vurdering av resultater fram til 2 års eksponering'. Rapport STF22 F00730, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
16. Justnes, H. 'Mikrostruktur av betong eksponert for sjøvann i felt i 2 år'. Notat av 2001-04-05, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001.
17. Justnes, H. 'Kloridbindings- og adsorpsjonsisotemer for vannlagrede prisma'. Notat av 2001-04-05, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001.
18. Skjølvold, O. 'Betong eksponert i skvalpesonen og neddykket i sjøvann - en sammenligning av resultatene etter 2 års eksponering'. Notat av 2001-03-17, Statens vegvesen, Oslo, 2001.
19. Skjølvold, O. 'Elektrisk motstand - Målinger over 2 år'. Notat av 2001-03-22, Statens vegvesen, Oslo, 2001.
20. Rodum, E. 'Bestemmelse av kloridprofil for betongterninger fra prosjektet 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' etter eksponering neddykket i sjøvann i 2 år'. Prøvingsrapport 70165, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001.
21. Kjellsen, K.O. 'Betongkonstruksjoners livsløp: Kloridinntrenging i ressursvennlig kvalitetsbetong'. Rapport 9D4/R01016, Norcem A.S FoU, Brevik, 2001.

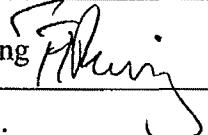
22. Lundevall, G. 'Ressursvennlig kvalitetsbetong, Bestandighet: Maling av flyveaske, finhetsmåling'. Rapport 9D4/R98001, Norcem A.S, Brevik. 1998.

**VEDLEGG A1:** Norcem rapport 9D4/R01016(Kloridinntrenging i ressursvennlig kvalitetsbetong)



**NORCEM A.S.  
FoU – Avd.**

Postboks 38  
3950 BREVIK  
Norge  
  
Tel: +47 35 57 20 00  
Fax: +47 35 57 04 00  
E-Mail: knut.kjellsen@norcem.scancem.com

RAPPORT NR. 9D4/R01016	PROSJEKT NR. P629	GRADERING Fortrolig
OPPDRAAG BETONGKONSTRUKSJONERS LIVSLØP: KLORIDINNTRENGING I RESSURSVENNLIG KVALITETSBETONG	DATO 14.12.01	
	SIDEANT./VEDL. 14/5	
	FORFATTER Knut O. Kjellsen	
	GODKJENT Terje F. Rønning	
OPPDRAAGSGIVER Prosjekt P629, Vegdirektoratet ved Finn Fluge	STIKKORD Kloridinntrenging Sjøvann Sementtype Flygeaske	

**SAMMENDRAG**

Rapporten presenterer Norcems resultater fra aktivitet DP1 A2 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' i NFR prosjektet P629 'Betongkonstruksjoners Livsløp'. Forsøkene som er rapportert ble startet innenfor NFR prosjektet P596 'Ressursvennlig kvalitetsbetong', og videreført i prosjekt P629.

I prosjekt P596 ble det igangsatt et kloridprogram. Hovedmålsettingen var å dokumentere hvordan sementsammensetningen påvirker kloridinntrengingen. Av særlig betydning var å dokumentere innvirkningen av flygeaske på kloridinntrengingen. Programmet omfattet utprøving av 12 betongblandinger med ulike kombinasjoner av bindemiddel. En serie av blandingene ble produsert ved SINTEF. Resultatene herfra er rapportert i egne rapporter. De 12 blandingene ble også produsert ved Norcem. Prøvene fra denne serien ble nedsenket i sjøen utenfor Norcem, Dalen fabrikker. Kloridinntrengingen er målt etter eksponering i sjøvann i henholdsvis 35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 år. Resultatene fra denne serien er gitt i den foreliggende rapport.

Resultatene viser at flygeaske er gunstig mhp. kloridinntrenging. Ved korte eksponeringstider (35 og 200 døgn) ser det ut til at innvirkningen av flygeaske er liten. Ved lengre eksponeringstider (1 og 2 år) blir innvirkningen av flygeaske tydelig. Diffusjonskoeffisienten blir da vesentlig lavere i blandingene som inneholder flygeaske. Betongene med Portland sementer derimot, viser ingen eller kun en moderat økning av motstandsevnen mot kloridinntrenging for økende eksponeringsalder. Cement med den undersøkte flygeasken (feks. Standard FA cement) gir derimot en vesentlig økning av betongens motstandsevne mot kloridinntrenging ved høyere eksponeringsaldre.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

### SAMMENDRAG

1	INNLEDNING	3
2	MÅLSETTING OG BESKRIVELSE AV FORSØKSPROGRAM	3
3	EKSPERIMENTELT	3
3.1	Delmaterialer	3
3.2	Betongsammensetning	4
3.3	Blanding, utstøping, herding og prøvebehandling	4
3.4	Feltstasjon og eksponeringsbetingelser	5
3.5	Prøveuttak og måling av kloridinnhold	6
3.6	Beregning av parametre for kloridinntrenging	7
4	RESULTATER	8
5	KONKLUSJONER	13
6	REFERANSER	13
	VEDLEGG A	15
	VEDLEGG B	26
	VEDLEGG C	29
	VEDLEGG D	35
	VEDLEGG E	38

## 1 INNLEDNING

Den foreliggende rapport presenterer en del av aktiviteten DP1 A2 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' i det NFR støttede prosjektet P 629 'Betongkonstruksjoners Livsløp' (1998-2000). Vegdirektoratet ved Finn Fluge har vært prosjektleder. Aktivitet DP1 A2 har omfattet en videreføring av det kloridprogrammet som ble påbegynt i prosjektet P 596 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' (1996-1998). Undertegnede har vært aktivitetsleder for DP1 A2. Deltagere har vært Norcem og SINTEF.

Forsøksprogrammet (1) ble utarbeidet av Gudrun Lundevall og Terje F. Rønning ved Norcem FoU. Undertegnede har vært ansvarlig for planlegging, gjennomføring og rapportering av forsøkene. Blandingene fra (1) ble utstøpt i prosjektet P 596. Det ble etablert en feltstasjon i tilknytning til Tangen kaia ved Norcem, Dalen fabrikker. Her ble de utstøpte betongprøvene neddykket i sjøvann. Kloridinntrengingen er så målt etter 35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 år. Det er videre planlagt å måle kloridinntrengingen etter 5 og 10 år. Den foreliggende rapport beskriver de utstøpte betongblandingene, feltstasjonen, testmetodene og resultatene. Betongblandingene er også produsert ved SINTEF (Bygg og Miljøteknikk). Ved SINTEF er prøver plassert i tidevannssonen (Østmarkneset feldstasjon). I tillegg er kloridinntrenging målt ved hjelpe ulike akselererte metoder for kloridinntrenging. Resultatene fra SINTEFs studier er gitt i referansene (2-19).

## 2 MÅLSETTING OG BESKRIVELSE AV FORSØKSPROGRAM

Hovedmålsettingen med forsøksprogrammet (1) har vært å undersøke og dokumentere:

- Betydning av sementsammensetning for kloridinntrenging i betong.
- Innvirkning av flygeaskesement (STD FA) på kloridinntrenging i betong.
- Innvirkning av mengde flygeaske (FA) og flygeaskens (FA) malningsgrad på kloridinntrengingen.

Materialmatrise for forsøksserien er gitt i Tabell 1. Tallene 710/468/1019 angir finheten på flygeasken. Prosentsatsene angir mengde flygeaske i forhold til total bindemiddelmengde. Materialsammensetningen er nærmere beskrevet i Kap. 3.

## 3 EKSPERIMENTELT

### 3.1 Delmaterialer

Følgende av Norcems sementer er brukt i undersøkelsen; Standard (STD), Standard FA (STD FA), Anlegg (ANL) og Industri (IND). Kjemiske og fysiske data er gitt i VEDLEGG A. Flyveaske (FA) er tilsatt en del blandinger separat. Det er brukt samme type flygeaske som brukes i STD FA sementen. Kjemisk og fysisk karakteristikk er gitt i VEDLEGG A. Flygeasken er tilsatt enten umalt eller malt. Den umalte kvaliteten hadde en Blaine finhet på  $468 \text{ m}^2/\text{kg}$ . Dette må betraktes som en relativt høy finhet for umalt flygeaske (kan variere fra leveranse til leveranse). Finheten til flygeaske i STD FA sement vil sannsynligvis være i størrelsesorden til den umalte kvaliteten. Det ble tatt fram 2 malte kvaliteter, med oppnådd Blaine finhet på henholdsvis 710 og  $1019 \text{ m}^2/\text{kg}$  (20). Kjemisk og fysisk karakteristikk er gitt i VEDLEGG A. Silikastøvet (SF) ble levert fra ILA smelteverk. Det ble brukt tilsetningsstoffer av typene; P, SP (Mighty 150) og D (demper). Stoffene ble levert av Scancem Chemicals.

Tabell 1: Materialmatrise for kloridprogrammet (1).

	VANN/ (SEM+FA+SF)	STD FA	STD/ANL 3/1	ANL	STD	IND
	0,45	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 1	Bl. 9	Bl. 10
FA (710) 10%	0,45		Bl. 4			
FA (710) 20%	0,45		Bl. 5			
FA (710) 35%	0,45		Bl. 6			
FA (468) 20%	0,45		Bl. 7			
FA (1019) 20%	0,45		Bl. 8			
	0,40	Bl. 11				
SF 4%	0,40	Bl. 12				

Som tilslag ble brukt 0-8 mm (NSBR) samt 2-8 mm (ØTC) fra Norstone A.S, Årdal.  
Siktekurver er gitt i VEDLEGG A. Fraksjonen 0-8 mm ble fuktet til et fuktnivå på omkring 3%.

### 3.2 Betongsammensetning

For blandingene 1 til 10 er brukt et vann/bindemiddel forhold ( $V/(SEM+FA+SF)$ ) på 0,45. I blandingene 11 og 12 er vann/bindemiddel forholdet 0,40. Blandingene 3 til 8 inneholder STD og ANL sement i forholdet 3 til 1. Dette representerer klinkerdelen til STD FA sementen ganske vel. En forskjell er at STD og ANL sementene inneholder noe kalkmel (opptil 5%), hvilket STD FA sementen ikke gjør. Finheten til klinkerdelen vil også kunne være noe forskjellig.

Blandingene 3 til 8 er tilsatt forskjellig mengde FA (10, 20 eller 35%). Finheten til FA er også en stort variabel i disse blandingene. Flygeasken er tilsatt på vekterstatningsbasis av det totale bindemiddelinneholdet. Tilsatt vann til betongblandingene er korrigert for vann i tilslag (fukt beregnet fra ovnstørt tilslag minus 0.7% absorbert fukt), samt fra vann i tilsetningsstoffene. Betongrezeptene er gitt i VEDLEGG B. Målt fasthetsutvikling er også gitt i VEDLEGG B.

### 3.3 Blanding, utstøping, herding og prøvebehandling

P- og D-stoffene ble fortynnet med deler av blandevannet, til henholdsvis 10 og 5% løsninger. Tilslag, sement og pozzolaner ble blandet tørt i 1 min. Deretter ble halvparten av vannet tilsatt, blanding pågikk i 30 sek. De fortynnede løsningene med P- og D-stoff ble tilsatt. Blanding fortsatte i 30 sek. Resterende vann ble tilsatt i løpet av 30 sek og blanding forsatt i 30 sek, før 2 min henstand. SP-stoffet ble tilsatt i løpet av 2 min. Sluttblandingen fortsatte i ytterligere 2 min. Tvangsblander av typen Eirich (50 l) ble benyttet. Synkmål, densitet og luftinnhold ble målt i henhold til Norsk Standard. Det ble støpt ut 24 stk 10 cm terninger for hver blanding. Terningene ble forsiktig komprimert på vibrobord. Prøvene ble herdet ved 100% RF fram til

avforming, som skjedde 24 timer etter blanding. Prøvene ble så vannlagret. All herding og lagring skjedde ved 20°C. Etter ca. 24 døgns herding ble prøvene for måling av kloridinntrenging tatt opp av herdekarene. Støpehudene (de ytterste 5 mm) på en sidekant av hver terning ble sagt av. Dette for å unngå randeffekter, og dermed kunne måle kloridinntrenging i 'bulk' betong.

Alle terningene for måling av kloridinntrenging ble tørket i laboratorieluft (RF ca. 50%) 3-4 døgn, før de ble malt med epoxymaling gjentatte ganger. Fem av seks sidekanter ble malt. Dette for å sikre at kloridinntrenging kun kan skje gjennom én av prøvens sidekanter (dvs endimensjonal kloridinntrenging). Etter at epoxyen var herdet ble terningene lagt tilbake i herdekarene, hvor de fikk stå ca. 3 uker for å oppnå vannmetning av prøvene før utplassering i sjøvann. I forbindelse med epoxymalingen stod prøvene totalt omkring 2 uker i laboratorieluft. Omkring 56 døgn etter utstøping ble 12 terninger fra hver blanding fullstendig neddykket i sjøvann.

### 3.4 Feltstasjon og eksponeringsbetingelser

Det ble etablert en feltstasjon ved Tangen kai utenfor Norcem Dalen fabrikker for utplassering av prøvene. Tangen kai i Eidangerfjorden tilhører Grenland Havnvesen som også ga tillatelse til feltstasjonen. Prøvestykkene ble plassert i spesiallagde stålrammer. Stålrammene ble malt med rusthindrende maling og påsatt offeranoder av sink for å hindre korrosjon på rammene. Stålrammene med betongprøver ble nedsenket fra midtre dykdalbe i kaianlegget til et vanndyp på ca. 5 meter. Rammene er forbundet til rekksverket på dykdalben med kjettinger. Rammene er fiksert slik at alle prøveflater er orientert i samme himmelretning. Tre ganger i året er rammene og prøvene rengjort for begroing. Saltholdigheten ( $[Cl^-]$ ) i vannet omkring prøvene er målt til ca. 1.2%.

### 3.5 Prøveuttag og måling av kloridinnhold

Ved oppnådd eksponeringstid (35 døgn, 200 døgn, 1 år og 2 år) ble prøver tatt opp og plassert i plastsekker med sjøvann. For å hindre uttørking ble prøvene oppbevart i sekkene fram til prøveuttag. Ved prøveuttag ble det suksessivt frest ut sjikt i økende dybde fra betongoverflaten. Fresing ble utført på eksponeringsflate (dvs saget fri flate). De freste sjiktdybden varierte med prøvenes eksponeringstid og er angitt i VEDLEGG C. Betongstøvet fra hvert sjikt ble samlet opp, og analysert for totalt kloridinnhold.

For prøvene eksponert for sjøvann i 2 år ble fresingen og den påfølgende måling av kloridinnhold utført ved SINTEF (21). For de øvrige prøvealdrene ble fresing og bestemmelse av kloridinnhold utført ved Norcem FoU. SINTEF har bestemt kloridinnholdet ved spektrofotometrisk analysemетодe som totalt innhold av  $Cl^-$  i % av tørr betongvekt. Norcem har målt kloridinnhold i henhold til metode beskrevet i Norcem forskrift 9D/FRS-40 (Analyse av Total Klor i Sement). Da dette er en sement prøvningsmetode (NS-EN 196-21, Bestemmelse av Klorid-, Karbondioksid- og Alkaliinnholdet i Sement) er det gjort visse endringer. Prøvemengden som er brukt er 10 gram tørket betong. Det utfreste betongstøvet ble tørket til konstant vekt ved 105°C før deretter å bli mortlet slik at største partikelstørrelse var 0.1 mm. Mens suspensjonen av prøve, destillert vann og  $HNO_3$  filtreres i original metoden, ble suspensjonen sentrifugert i den modifiserte 'betong' metoden. Dette var nødvendig for å oppnå en helt klar løsning for videre bearbeiding.

Det ble utført to kontrollserier for å undersøke om den valgte metoden ga rimelige resultater. I kontrollserie I ble det tilslatt gitte mengder NaCl til tørket betong. Det ble brukt tørket nedmalt betong (Bl. 1) som ikke hadde vært eksponert for sjøvann. Det ble også utført 0-målinger på betong ikke tilslatt klorider. Det ble lagt til 4 omganger med prøver. I omgang 1 ble tilslatt henholdsvis 0,025, 0,060, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 og 0,5% Cl<sup>-</sup>. I omgang 2, 3 og 4 ble det tilslatt 0,025, 0,1 og 0,5% Cl<sup>-</sup>. Resultatene fra kontrollserie I er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: Resultater av kontrollserie I. Kloridanalyser utført ved Norcem FoU på betong (Bl. 1) som ikke har vært i kontakt med sjøvann, men som er tilslatt kontrollerte mengder NaCl. Mengde Cl<sup>-</sup> er angitt i % av tørr betong.

Kontrollserie I				
Tilsatt mengde Cl <sup>-</sup> (%)	Målt mengde Cl <sup>-</sup> (%)			
	Omgang 1	Omgang 2	Omgang 3	Omgang 4
0	0,025	0,007	0,016	0,024
0,025	0,048	0,028	0,039	0,033
0,060	0,083	-	-	-
0,1	0,118	0,097	0,106	0,102
0,2	0,237	-	-	-
0,3	0,313	-	-	-
0,4	0,414	-	-	-
0,5	0,515	0,445	0,461	0,419

I kontrollserie II ble det utført en del parallelle analyser ved SINTEF og Norcem FoU for å undersøke om metodene for å måle kloridinnhold ved de to laboratoriene ga overstemmende resultater. Analysene ble utført på utvalgte prøver eksponert for sjøvann i 35 døgn. Resultatene fra disse undersøkelsene er gitt i Tabell 3.

Med bakgrunn i tidligere undersøkelser (22, 23) når det gjelder nøyaktighet av målemetoder for bestemmelse av kloridinnhold i betong må resultatene for kontrollserie I og II sies å være tilfredstillende. Det sees av Tabell 2 og 3 at ved svært lave konsentrasjoner av klorider kan den relative feil i målt konsentrasjon være stor. Dette er også kjent fra tidligere undersøkelser (22, 23). Ved beregning av parametrene for kloridinntrenging (Kap. 3.6) er valgt en bakgrunnsverdi på 0,010 % for kloridinnhold basert på erfaring og et større antall målinger fra prøver uten inntrengte eller tilslatte klorider.

Tabell 3: Resultater av kontrollserie II. Sammenligning mellom kloridanalyser utført ved Norcem FoU og SINTEF. Analysene er utført på utvalgte prøver eksponert for sjøvann i 35 døgn. Mengde Cl<sup>-</sup> er angitt i % av tørr betong.

Kontrollserie II				
Blanding	Sjikt (mm)	% Cl <sup>-</sup> NORCEM	% Cl <sup>-</sup> SINTEF (SPEKTRO) <sup>i</sup>	% Cl <sup>-</sup> SINTEF (NS3671) <sup>ii</sup>
1	0-2	0,080	0,073	-
1	16,4-18,3	0,014	0,012	-
2	10,5-12,9	0,012	0,012	-
2	19,6-21,8	0,005	0,017	-
3	0-2	0,047	0,047	-
3	2-4	0,034	0,038	-
4	4-6	0,046	0,043	0,042
5	2,5-4,4	0,039	0,036	-
5	16,2-18,2	0,014	0,010	-
6	4,2-6	0,027	0,043	-
7	4,6-6,6	0,018	0,025	-
8	0-2,1	0,072	0,063	-
8	2,1-4,3	0,043	0,041	-
9	0-2	0,058	0,078	-
9	2-4	0,051	0,052	0,053
9	6-8	0,019	0,018	-
9	18-20	0,011	0,027	-

<sup>i</sup>) Analyse utført med spektrofotometrisk metode (ref).

<sup>ii</sup>) Analayse utført ved SINTEF i henhold til NS 3671.

### 3.6 Beregning av parametre for kloridinnntrenging

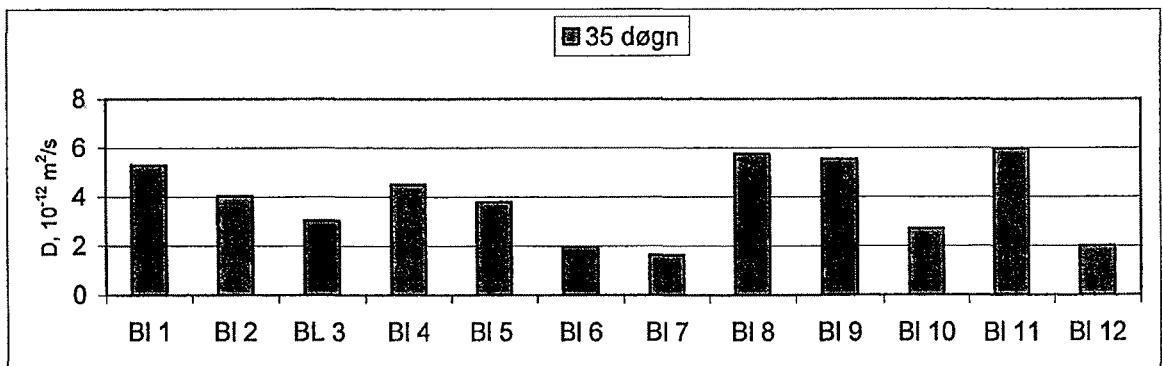
Det målte kloridinnholdet i ulike sjikt gir et kloridprofil, dvs. kloridkonsentrasjonen avsettes som funksjon av dybde fra betongoverflaten. Med utgangspunkt i de målte kloridprofiler er det foretatt beregning av overflatekonsentrasjon ( $C_0$ ), effektiv diffusjonskoeffisient (D), total kloridinnntrenging ( $Cl_{tot}$ ) og beregnet dybde for kloridinnholdet 0.1% etter 1 år (k). Beregningene er foretatt av Ola Skjølvold ved SINTEF med EXEL regneark 'Cl-solv.xls' vers 1998.06.30. Beregningene er basert på Fick's andre lov for diffusjon. Det er i beregningene valgt en bakgrunnsverdi for kloridinnholdet på 0.010 %.

Det er videre undersøkt hvordan diffusjonskoeffisienten endres med økende eksponeringstid. Dette er gjort gjennom beregning av  $\alpha$ -verdier. Gjennom å avsette beregnet

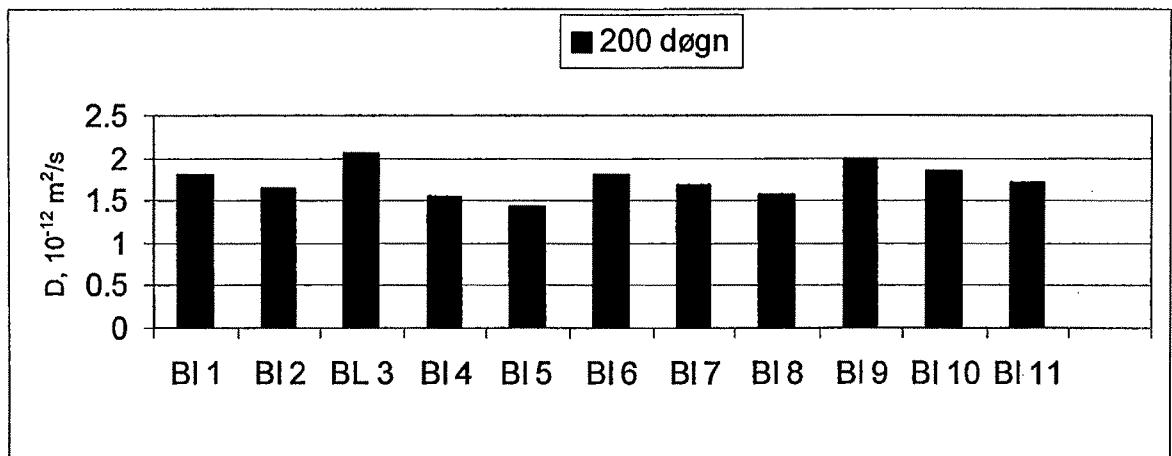
diffusjonskoeffisient mot  $t_0/t$ , hvor  $t_0$  er herdetid før eksponering i sjøvann og  $t$  er eksponeringstid, i et dobbeltlogaritmisk diagram oppnås en lineær sammenheng. Helningen på denne sammenhengen er beregnet ved lineær regresjonsanalyse, og uttrykt ved parameteren  $\alpha$ . Alfa er et uttrykk for hvor raskt diffusjonskoeffisienten avtar med økende eksponeringstid. Dersom  $\alpha$  er 0 betyr det at diffusjonskoeffisienten er konstant over tid. Jo større  $\alpha$  er jo mer vil diffusjonskoeffisienten reduseres over tid. En høy  $\alpha$ -verdi vil være gunstig da det innbærer at betongens motstand mot kloridinnretning øker med økende eksponeringstid. Det er foretatt beregning av to ulike  $\alpha$ -verdier, med og uten 35 døgns resultatene. Grunnen til dette er at de målte kloridprofilene etter 35 døgns eksponeringstid kan være noe mer usikre enn de for senere aldre pga. det lave kloridinnholdet (jmfr. Kap. 3.5).

#### 4 RESULTATER

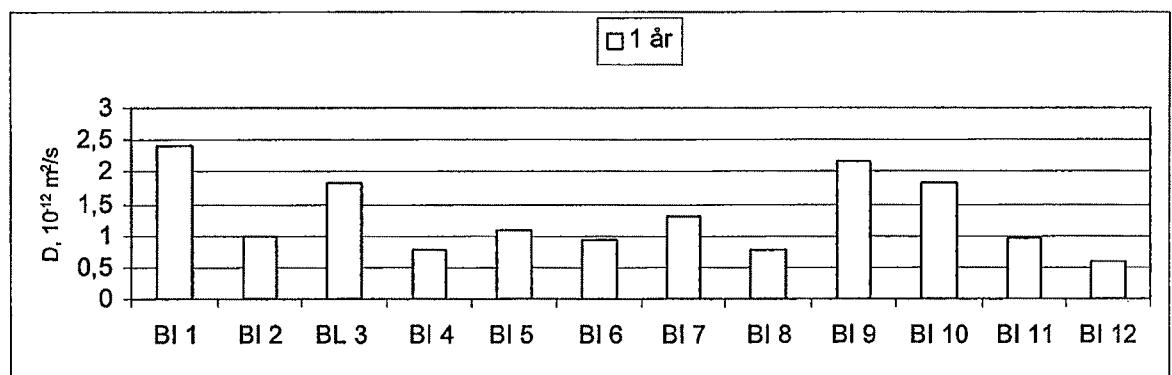
De målte kloridprofilene er gitt i tabellform i VEDLEGG C. De beregnede kloridinnretningsparametrene er gitt i tabellform i VEDLEGG D. Målte og beregnede kloridprofiler er vist i figurform i VEDLEGG E. De beregnede kloriddiffusjonskoeffisientene er vist i Figurene 1 til 5. Diffusjonskoeffisientene ved 35 og 200 døgn viser inget klart bilde av innvirkningen av flygeaske. Flygeaske tilsetning (Bl. 2, 4, 5, 6, 7 og 8) ser ikke ut til å ha noen vesentlig innvirkning på kloridinnretningen ved korte eksponeringstider. Årsaker til dette kan være de lave konsentrasjonene av klorider pga. den korte eksponeringstiden. Små kloridmengder gir som tidligere diskutert mer usikre målinger og dermed også noe mer usikre beregninger av kloridinnretningsparametrene. Ved disse korte eksponeringstidene er prøvenes alder noen få måneder. Pozzolanreaksjonen mellom flygeaske og kalsiumhydroksid vil ikke ha kommet særlig langt i løpet av denne herdetiden. Etter ett og to år vil ventelig en ganske vesentlig del av flygeasken ha reagert gjennom pozzolanreaksjonen, og dermed fortsettet porestrukturen. Virkningen av flygeasken blir da også tydelig ved de høyere eksponeringsaldrene. Dette kan sees av Figur 3 og 4. Flygeaske tilsetning innebærer at kloriddiffusjonkoeffisienten generelt er mer enn halvert ved de høyere eksponeringstidene. Den gunstige effekten av flygeaske på utviklingen av kloriddiffusjonskoeffisienten ved økende eksponeringstid kan også sees av Figur 6. Figur 6 viser beregnede  $\alpha$ -verdier for de ulike blandingene. Blandingene uten flygeaske har  $\alpha$ -verdier i området 0,08 til 0,35, mens blandingene med 20% flygeaske eller mer viser  $\alpha$ -verdier i området 0,53 til 1,25. Som nevnt i foregående kapittel er det gunstig med høye  $\alpha$ -verdier da dette gjenspeiler en kraftig økning av betongens motstandsevne mot kloridinnretning ved økende eksponeringstid.



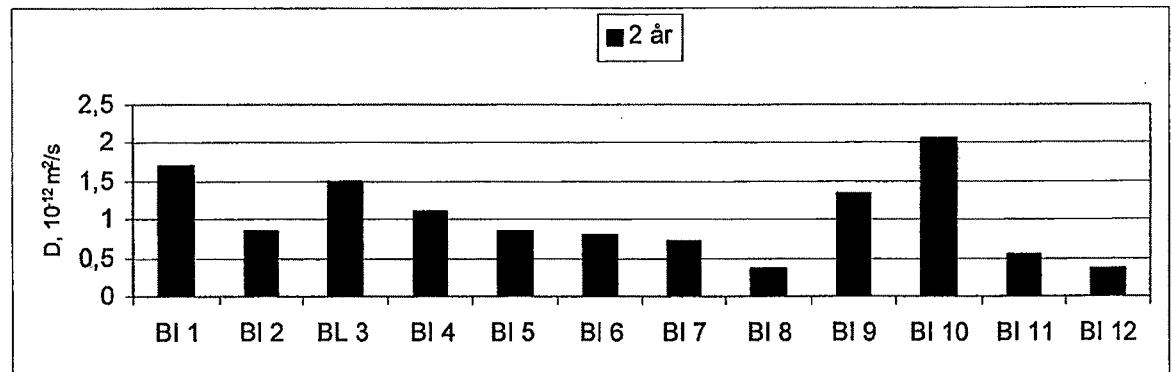
Figur 1: Beregnet kloriddiffusjonskoeffisient etter 35 døgns eksponeringstid.



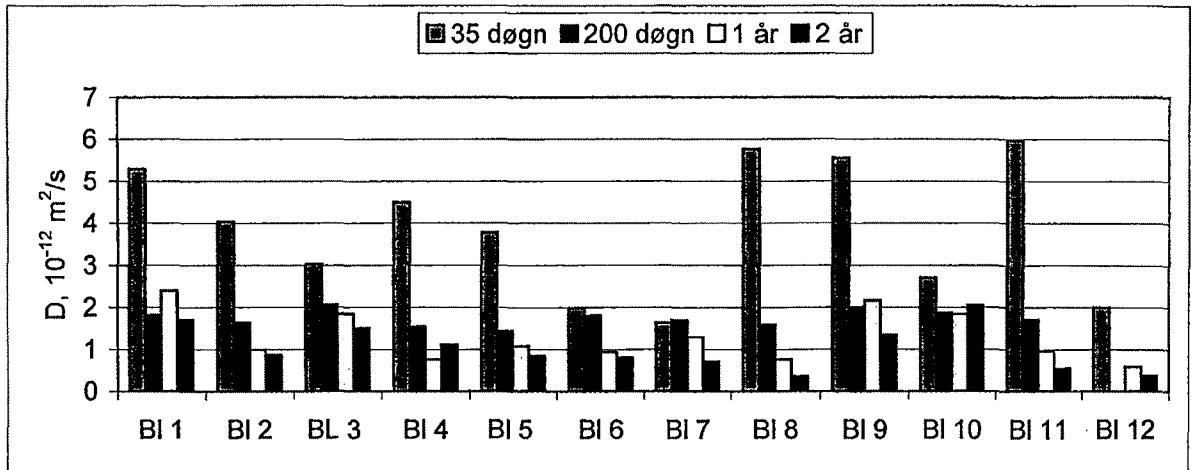
Figur 2: Beregnet kloriddiffusjonskoeffisient etter 200 døgns eksponeringstid.



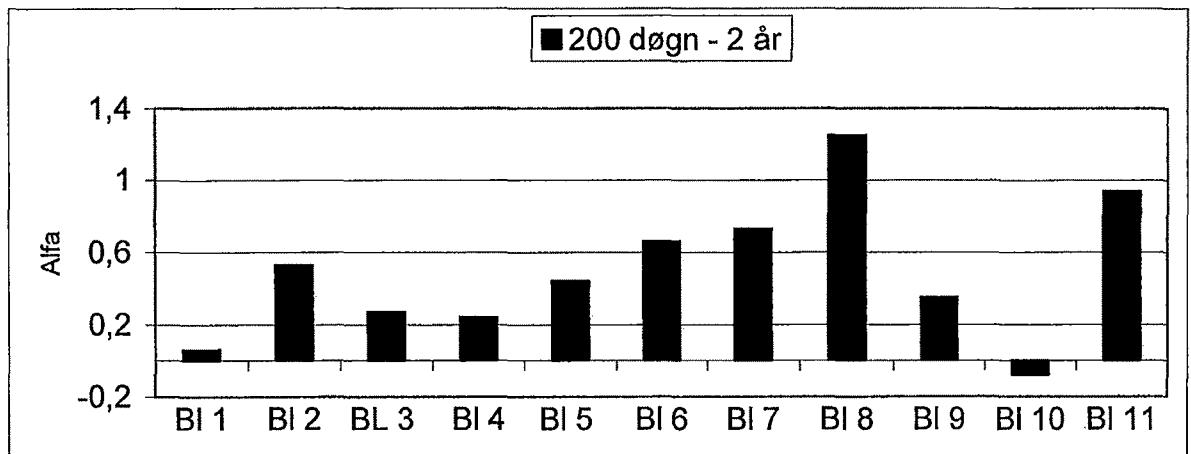
Figur 3: Beregnet kloriddiffusjonskoeffisient etter 1 års eksponeringstid.



Figur 4: Beregnet kloriddiffusjonskoeffisient etter 2 års eksponeringstid.



Figur 5: Beregnet kloriddiffusjonskoeffisient etter 35 døgns, 200 døgns, 1 års og 2 års eksponeringstid. Figuren er en sammenstilling av Figurene 1-4.



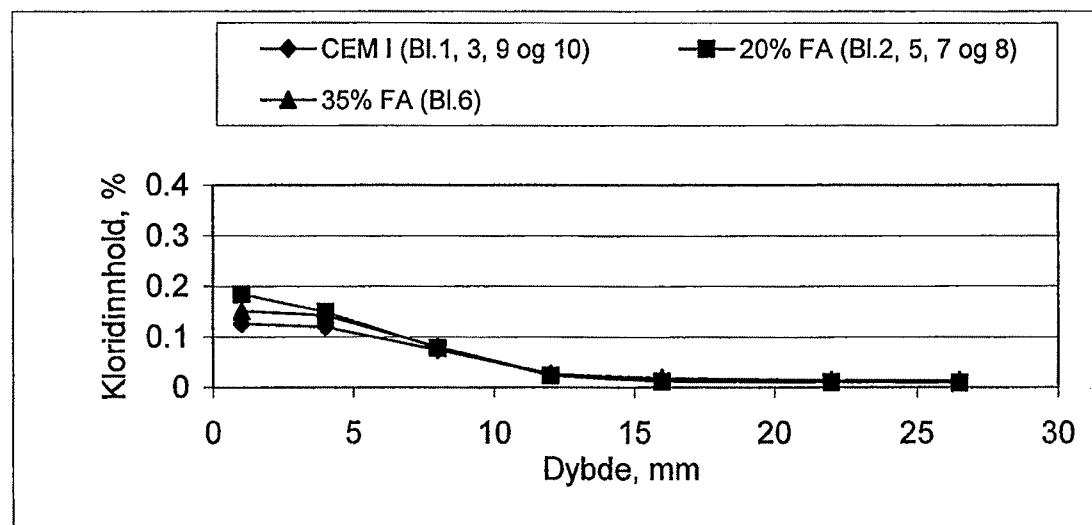
Figur 6: Beregnet  $\alpha$ -verdier for eksponeringsperioden, 200 døgn til 2 år.

Det ser ut til at økende flygeaskedosering er gunstig. En dosering på 20% (Bl. 2 (STD FA sement)) og Bl. 5) gir bedre kloridinnrenningsparametere enn en dosering på 10% (Bl. 4). Videre gir 35% FA innblanding (Bl. 6) noe bedre kloridinnrenningsparametere enn en dosering på 20% (Bl. 2 og Bl. 5). Dette kan sees av Fig. 6. En eventuell innvirkningen av finheten på flygeasken er vanskelig å finne fra de foreliggende forsøk. Når det gjelder innvirkningen av flygeaske dosering og finhet konkluderer SINTEF med følgende i sin undersøkelse (15): 'Økt finmalningsgrad for flygeaska ser ut til å ha en positiv effekt på kloridinnrenningen, men effekten er relativt liten. Økende flygeasketilsetning gir tydelig reduksjon av kloridinnrenningen ved både laboratorie- og feltforsøk.'

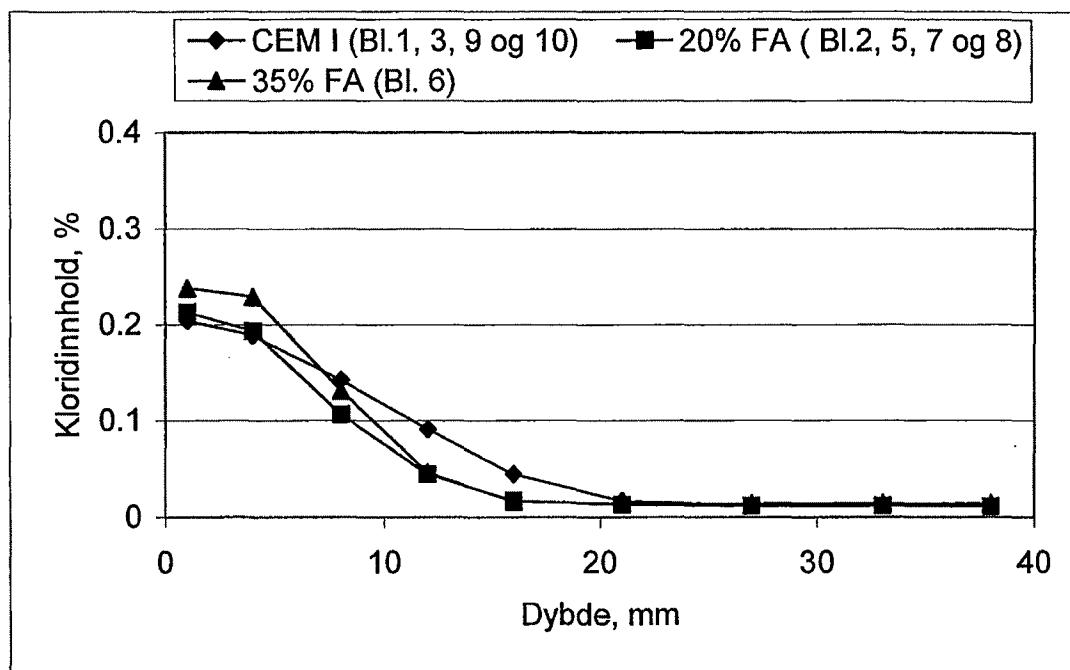
I Figurene 7 til 9 er kloridinnhold avsatt mot dybde i prøvene eksponert i 200 døgn (Fig. 7), 1 år (Fig. 8) og 2 år (Fig. 9). For å få et mer representativt bilde av effekten av flygeaske på kloridinnrenningen er brukt gjennomsnittsverdier av kloridinnhold for blandingene uten flygeaske (CEM I, snitt av Bl. 1, 3, 9 og 10), blandingene med 20% flygeaske (20% FA, snitt av

Bl. 2, 5, 7, 8) og blandingen med 35% flygeaske (35% FA, Bl. 6). Ved en tidlig eksponeringstid (200 døgn) er kloridinnholdet relativt jevnt avtagende (Fig. 7). Kloridinnholdet er noe forhøyet i yttersjiktet (ytterste 4 mm) til blandingene med flygeaske. Ved høyere eksponeringsalder blir kloridprofilene for blandingen med og uten flygeaske vesentlig mer forskjellig. Mens kloridprofilet for blandingene med Portlandsement (CEM I) fortsatt er nær lineær, har profilene for blandingene med flygeaske fått en utpreget kurveform, med den konvekse siden mot origo. Ved 2 års eksponeringstid (Fig. 9) er kloridinnholdet i de ytterste ca. 6 mm noe høyere når blandingene inneholder flygeaske. Lenger inn i prøvene er kloridinnholdet vesentlig lavere når blandingene inneholder flygeaske. Ved en dybde 15 til 20 mm er kloridinnholdet ved 2 års eksponering omkring 0,1% i blandingene uten flygeaske, mens den er omkring 0,02% i blandingene med flygeaske. Med andre ord, mens det i blandingene uten flygeaske er skjedd en betydelig kloridinntrengning til omkring 20 mm er det i blandingene med flygeaske svært lite klorider som har trengt så langt inn som 20 mm. Årsakene til de observerte forskjellene kan ha sammenheng med følgende forhold: Den forhøyde mengden klorider i de ytre sjiktene i blandingene med flygeaske kan skyldes at reaksjonsproduktene fra pozzolanreaksjonen mellom flygeaske og kalsiumhydroksid har en øket evne til å binde klorider kjemisk (24). Den lavere mengden klorider lengre inn i betongen kan ha sammenheng med den fortettende effekten av flygeaskens pozzolanreaksjon.

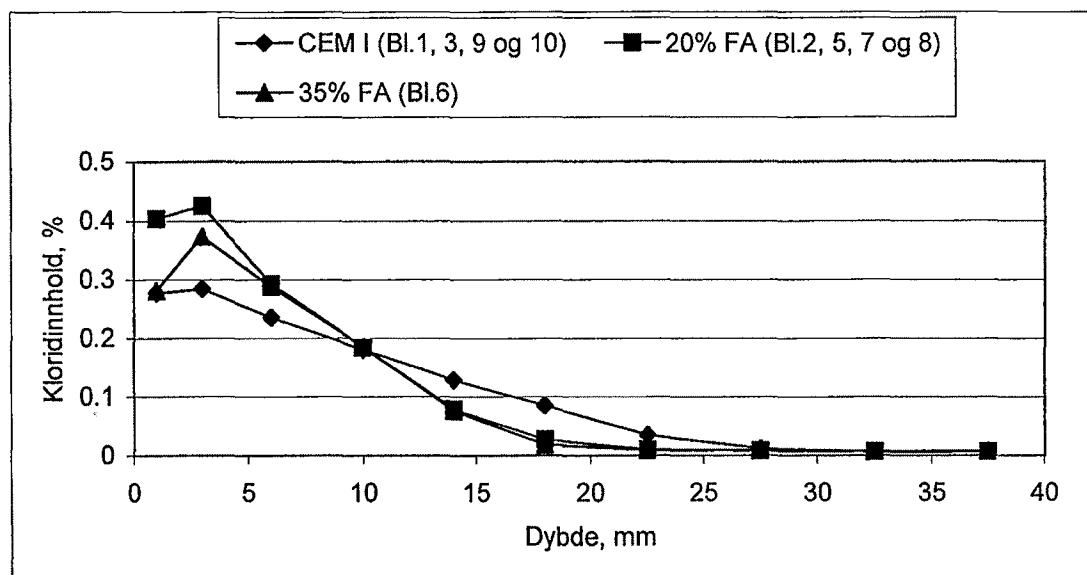
Ved en eksponeringstid på 2 år er det for blandingen med 35% flygeaske (Fig. 9) en viss tendens til at kloridinnholdet er noe lavere helt i yttersjiktet (1 mm) enn noe lenger inn (3 mm). Dette er også observert i forsøkene utført ved SINTEF (15, 16), hvor mulige årsaker også er diskutert (16)



Figur 7: Kloridinnhold etter 200 døgns eksponeringstid avsatt mot dybde. Gjennomsnittlig kloridinnhold i blandingene med Portlandsementer (CEM I, Bl. 1, 3, 9 og 10), gjennomsnittlig kloridinnhold i blandingene med 20% flygeaske (20% FA, Bl. 2, 5, 7 og 8) og kloridinnhold i blandingen med 35% flygeaske (35% FA, Bl. 6).



Figur 8: Kloridinnhold etter 1 års eksponeringstid avsatt mot dybde. Gjennomsnittlig kloridinnhold i blandingene med Portlandsementer (CEM I, Bl. 1, 3, 9 og 10), gjennomsnittlig kloridinnhold i blandingene med 20% flygeaske (20% FA, Bl. 2, 5, 7 og 8) og kloridinnhold i blandingen med 35% flygeaske (35% FA, Bl. 6).



Figur 9: Kloridinnhold etter 2 års eksponeringstid avsatt mot dybde. Gjennomsnittlig kloridinnhold i bladingene med Portlandsementer (Bl. 1, 3, 9 og 10), gjennomsnittlig kloridinnhold i bladingene med 20% flygeaske (20% FA, Bl. 2, 5, 7 og 8) og kloridinnhold i bladingen med 35% flygeaske (35% FA, Bl. 6).

## 5 KONKLUSJONER

Betongprøver med forskjellig bindemiddelsammensetning ble nedsenket i sjøvann utenfor Norcem, Dalen fabrikker. Kloridinntrengningen er så målt ved ulike eksponeringstider i sjøvann, fra 35 døgn til 2 år. En hovedmålsetting har vært å dokumentere innvirkningen av flygeaske på kloridinntrengningsegenskapene. Basert på målte kloridprofiler er ulike innetrengingsparametar, som bla. diffusjonskoeffisienten, beregnet.

Resultatene viser at flygeaske er gunstig mhp. kloridinntrenging. Ved korte eksponeringstider (35 og 200 døgn) ser det ut til at innvirkningen av flygeaske er liten. En grunn til dette kan være at flygeaskens pozzolanreaksjon er langsom. Ved korte eksponeringstider vil kun en liten del av flygeasken være reagert. Ved lengre eksponeringstider (1 og 2 år) blir innvirkningen av flygeaske tydelig. Diffusjonskoeffisienten blir da vesentlig lavere i blandingene som inneholder flygeaske. Betongene med Portlandsementer derimot, viser ingen eller kun en moderat økning av motstandsevnen mot kloridinntrenging. Cement med den undersøkte flygeasken (feks. Standard FA cement) medfører derimot en vesentlig økning av betongens motstandsevne mot kloridinntrenging ved høyere eksponeringsalder. En årsak til dette er høyst sannsynlig at en ganske vesentlig del av flygeasken har reagert etter såpass lang tid som ett til to år. Flygeaskens pozzolanreaksjon vil sannsynligvis ha fortettet betongens struktur og dermed redusert kloridinntrengingen.

## 6 REFERANSER

1. Lundevall, G. 'Program, Kloridinntrengning'. Notat av 1997-10-27, Ressursvennlig Kvalitetsbetong (P596-4), Norcem FoU A.S, Brevik, 1997.
2. Skjølvold, O. 'Betongblanding - materialsammensetning og data for fersk betong. Del 1'. Prøvingsrapport 70100/1, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
3. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av 28 døgn trykkfasthet for herdnet betong. Del 2'. Prøvingsrapport 70100/2, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
4. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av elektrisk motstandsevne for herdnet betong. Del 3'. Prøvingsrapport 70100/3, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
5. Skjølvold, O. 'Porositet for herdnet betong bestemt ved kvikksølvsporsimetri. Del 4'. Prøvingsrapport 70100/4, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
6. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 35 døgn eksponeringstid. Del 5'. Prøvingsrapport 70100/5, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
7. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 200 døgn eksponeringstid. Del 6'. Prøvingsrapport 70100/6, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
8. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 365 døgn eksponeringstid. Del 7'. Prøvingsrapport 70100/7, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
9. Skjølvold, O. 'Kloridinntrenging ved feltekspionering - 730 døgn eksponeringstid. Del 8'. Prøvingsrapport 70100/8, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
10. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av migrasjonskoeffisient for klorider i henhold til NT Build 355 Del 9'. Prøvingsrapport 70100/9, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
11. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av elektrisk motstandsevne etter 2 års vannlagring'. Prøvingsrapport 70100/10, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
12. Skjølvold, O. 'Akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltløsning i henhold til NT Build 443. Del 11'. Prøvingsrapport 70100/11, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.

13. Skjølvold, O. 'Akselerert kloridinnntrenging ved påsprøyting av sjøvann (KS70 116 modifisert). Del 12'. Prøvingsrapport 70100/12, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1999.
14. Skjølvold, O. 'Bestemmelse av porositet og elektrisk motstand etter 2 års eksponering i tidevannssonen. Del 13'. Prøvingsrapport 70100/13R, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
15. Skjølvold, O. 'Feltforsøk på Østmarkneset – vurdering av resultater fram til 2 års eksponering'. Rapport STF22 F00730, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2000.
16. Justnes, H. 'Mikrostruktur av betong eksponert for sjøvann i felt i 2 år'. Notat av 2001-04-05, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001.
17. Justnes, H. 'Kloridbindings- og adsorpsjonsisotermer for vannlagrede prismaer'. Notat av 2001-04-05, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001.
18. Skjølvold, O. 'Betong eksponert i skvalpesonen og neddykket i sjøvann – en sammenligning av resultatene etter 2 års eksponering'. Notat av 2001-03-17, Statens vegvesen, Oslo, 2001.
19. Skjølvold, O. 'Elektrisk motstand – Målinger over 2 år'. Notat av 2001-03-22, Statens vegvesen, Oslo, 2001.
20. Lundevall, G. 'Ressursvennlig kvalitetsbetong, Bestandighet: Maling av flyveaske, finhetsmåling'. Rapport 9D4/R98001, Norcem A.S, FoU, Brevik, 1998
21. Rodum, E. 'Bestemmelse av kloridprofil for betongterninger fra prosjektet 'Ressursvennlig kvalitetsbetong' etter eksponering neddykket i sjøvann i 2 år'. Prøvingsrapport 70165, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001.
22. Gran, H.C. 'Measurements of chlorides in concrete. An evaluation of three different analysis techniques'. Prosjektrapport 110-1992, BYGGFORSK, Oslo, 1992.
23. Luping, T. 'Measurement of chloride content in concrete with blended cement – an evaluation of repeatability and reproducibility of the commonly used test methods'. Report 1998:27, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1998.
24. Justnes, H. 'Kloridbinding i sementbaserte systemer' Rapport STF22 F96833, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1996.

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for STD sement.



PRØVNINGSSRAPPORT

Oppdragsgiver : NORCEM A.S Markedsavdelingen  
Prøvetype : CEM I 42.5R / Prøvings sement  
Fra dato : 02.07.98  
Prøve mottatt : 02.07.98  
Prøven merket : Norcem STD sement for forsendelse til Olafur H. Wallevik, Island.  
Prøvekode : BP 2-98 (Resten til prøvningssement.)

KJEMISK ANALYSE

Glødetap	2.35 %
Svoveltrioksyd	3.27 %

FINHET

Sp. overflate, Blaine	352 m <sup>2</sup> /kg
-----------------------	------------------------

NORMAL KONSISTENS

Vannbehov	26.8 %
-----------	--------

VOLUMBESTANDIGHET

Le Chatelier	1.0 mm.
--------------	---------

BINDETID

Størkning begynt	130 min.
------------------	----------

TRYKKFASTHET

1 døgn	18.5 MPa
2 døgn	29.6 MPa
7 døgn	41.3 MPa
28 døgn	50.3 MPa

Norcem A.S Fo 4-Sep-98

tn/*P*

  
Laboratorieleder

NORCEM A.S R&D

Address:  
Settreveien 2  
P.O. Box 38  
NO-2050 Ørland

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:  
6200 00 00000

Head Office:  
Ruseløkkvn. 14  
P.O. Box 1386  
NO-0200 OSLO

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for STD sement forte.



## PRØVNINGSRAPPORT

Oppdragsgiver: NORCEM A.S. Markedsavdelingen  
 Prøvetype: CEM I 42.5R / Prøvings sement  
 Fra Dato: 02.07.98  
 Prøve mottatt: 02.07.98  
 Prøven merket: Norcem STD sement for forsendelse til Olafur H. Wallevik, Island  
 Prøve kode: BP 2-98 (Resten til prøvningssement.)

### KJEMISK ANALYSE

### FYSIKALSK PRØVNING EN 196

Glødetap	2.35 %	FINHET		
Kiselsyre (SiO <sub>2</sub> )	20.12 %	Sikteanalyse	+90my	1.2 %
Aluminiumoksyd (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4.72 %	" "	+64my	3.5 %
Jernoksyd (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.28 %	" "	-24my	64 %
Kalsiumoksyd (CaO)	61.69 %	" "	-30 my	73.4 %
Magnesiumoksyd (MgO)	2.39 %	Sp. overflate	Blaine	352 m <sup>2</sup> /kg
Soveltrioksyd	3.27 %			
Fri kalk	1.06 %	NORMAL KONSISTENS		
Kaliumoksyd (K <sub>2</sub> O)	0.99 %	Vannbehov		26.8 %
Natriumoksyd (Na <sub>2</sub> O)	0.41 %			
Alkali	1.06 %	VOLUMBESTANDIGHET		
Krom	5.00 mg/kg	Le Chatlier		1 mm
Karbon	0.40 %			
		BINDETIDER		
		Størkning begynt		130 min.
		Størkning slutt		150 min.
		TRYKKFASTHET		
		1 døgn		18.5 MPa
		2 døgn		29.6 MPa
		7 døgn		41.3 MPa
		28 døgn		50.3 MPa

tn.

Norcem A.S FoU, 13-Nov-98

Laboratorieleder

### NORCEM A.S R&D

Address:  
Sætreveien 2  
P.O. Box 38  
N-3950 Brevik  
Norway

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:  
8200 01 86739

Head Office:  
Ruseløkkvn. 14  
P.O. Box 1386  
N-0114 Oslo

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for STD FA sement.

**NORCEM**

*Member of the Scancem Group*

**PRØVNINGSRAPPORT**

Oppdragsgiver : NORCEM A.S Markedsavdelingen  
Prøvetype : Prøvings sement  
Fra dato : 06.07.98  
Prøve mottatt : 06.07.98  
Prøven merket : Norcem STFA prøvings sement utt. 06.07.98  
Prøvekode : AI 3-98

**KJEMISK ANALYSE**

Glødetap	1.46 %
Soveltrioksyd	2.66 %

**FINHET**

Sp. overflate, Blaine	430 m <sup>2</sup> /kg
-----------------------	------------------------

**NORMAL KONSISTENS**

Vannbehov	29.1 %
-----------	--------

**VOLUMBESTANDIGHET**

Le Chatelier	0 mm.
--------------	-------

**BINDETID**

Størkning begynt	135 min.
------------------	----------

**TRYKKFASTHET**

1 døgn	22.5 MPa
2 døgn	30.5 MPa
7 døgn	40.5 MPa
28 døgn	53.3 MPa

Norcem A.S Fo 6-Aug-98

  
Laboratorieleder

**NORCEM A.S R&D**

Address:  
Settreveien 2  
P.O. Box 38  
NO 2000 Stavanger

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:

Head Office:  
Ruselokkvn. 14  
P.O. Box 1386

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for STD FA sement forte.



*Member of the Scancem Group*

REPORT ON QUALITY TEST

In commission from: NORCEM A.S Markedsavdelingen  
 Received Date: 06.07.98  
 Sample marked: Norcem STFA prøvnings sement utt. 06.07.98  
 Our Ref.: AI00003-98

CHEMICAL ANALYSES		PHYSICAL TEST EN 196		
Loss on ignition	(L.O.I.)	1.46 %	FINENESS	
Silica	(SiO <sub>2</sub> )	- %	Sieve analyse: +90 mic.	0.1 %
Alumina	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	- %	" " +64 mic.	0.5 %
Ferric Oxide	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	- %	" " -24 mic.	79.1 %
Lime	(CaO)	- %	" " -30 mic.	87.2 %
Magnesia	(MgO)	- %	Sp.surface, Blaine	430 m <sup>2</sup> /kg
Sulphur Trioxide		2.66 %		
Insoluble Residue		- %	Whiteness	- %
Potassium Oxide	(K <sub>2</sub> O)	- %		
Sodium Oxide	(Na <sub>2</sub> O)	- %	STANDARD CONSISTENCY	
Free Lime		0.98 %	Temperate climate 20°C	29.1 %
Chloride		- %		
Alkali	(Na <sub>2</sub> O Eq.)	- %	SOUNDNESS	
Lime Saturation Factor		- %	Le Chatelier expansion	0.0 mm
MINERAL COMPOSITION		SETTING TIME		
C <sub>2</sub> S		- %	Initial	135 min.
C <sub>3</sub> S		- %	Final	160 min.
C <sub>3</sub> A		- %		
C <sub>4</sub> AF		- %	COMPRESSIVE STRENGTH	
Mineral addition		1 days		
		- %	2 days	22.5 MPa
			7 days	30.5 MPa
			28 days	40.5 MPa
				53.3 MPa
Norcem A.S R&D, 15.jun.01				
po. <i>po</i>				
_____ Laboratory Manager				

NORCEM A.S R&D

Address:  
 Setreveien 2  
 P.O. Box 38  
 N-3950 Brevik  
 Norway

Telephone: +47 35 57 20 00  
 Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
 NO 934 949 145 VAT  
 Bank Account:  
 8200 D1 86739

Head Office:  
 Ruseløkkvn. 14  
 P.O. Box 1386  
 N-0114 Oslo  
 Norway

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for ANL sement



PRØVNINGSRAPPORT

Oppdragsgiver : NORCEM A.S Markedsavdelingen  
Prøvetype : CEM I 52,5R-LA / Diverse  
Fra dato : 22.07.98  
Prøve mottatt : 27.07.98  
Prøven merket : Norcem ANL sement pakket på Sjursøya 22.07.98 1 palle til FoU.  
Prøvekode : EZ 10-98

KJEMISK ANALYSE

Glødetap	2.3 %
Soveltrioksyd	2.79 %

FINHET

Sp. overflate, Blaine	364 m <sup>2</sup> /kg
-----------------------	------------------------

NORMAL KONSISTENS

Vannbehov	26.4 %
-----------	--------

VOLUMBESTANDIGHET

Le Chatelier	1.0 mm.
--------------	---------

BINDETID

Størkning begynt	130 min.
------------------	----------

TRYKKFASTHET

1 døgn	18.0 MPa
2 døgn	29.3 MPa
7 døgn	43.4 MPa
28 døgn	- MPa

Norcem A.S Fo 6-Aug-98

  
Laboratorieleder

NORCEM A.S R&D

Address:  
Sætreveien 2  
P.O. Box 38

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:

Head Office:  
Ruselokkvn. 14  
P.O. Box 1386

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for ANL sement forts.

**NORCEM**

*Member of the Scancem Group*

**P R Ø V N I N G S R A P P O R T**

Oppdragsgiver: NORCEM A.S. Markedsavdelingen  
 Prøvetype: CEM I 52,5R-LA / Diverse  
 Fra Dato: 22.07.98  
 Prøve mottatt: 27.07.98  
 Prøven merket: Norcem ANL sement pakket på Sjursøya 22.07.98, 1 palle til FoU.  
 Prøve kode: EZ 10-98

**KJEMISK ANALYSE**

**FYSIKALSK PRØVNING EN 196**

Glødetap	2.30 %	FINHET	
Kiselsyre (SiO <sub>2</sub> )	21.57 %	Sikteanalyse	+90my 0.6 %
Aluminiumoksyd (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4.19 %	" "	+64my 1.8 %
Jernoksyd (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.41 %	" "	-24my 69.8 %
Kalsiumoksyd (CaO)	64.24 %	" "	-30 my 79.6 %
Magnesiumoksyd (MgO)	1.75 %	Sp. overflate	Blaine 364 m <sup>2</sup> /kg
Soveltrioksyd	2.79 %		
Fri kalk	0.76 %	NORMAL KONSISTENS	
Kaliumoksyd (K <sub>2</sub> O)	0.45 %	Vannbehov	26.4 %
Natriumoksyd (Na <sub>2</sub> O)	0.22 %		
Alkali	0.52 %	VOLUMBESTANDIGHET	
Krom	0.10 mg/kg	Le Chatlier	1 mm
Karbon	0.38 %		
		BINDETIDER	
		Størkning begynt	130 min.
		Størkning slutt	155 min.
		TRYKKFASTHET	
		1 døgn	18.0 MPa
		2 døgn	29.3 MPa
		7 døgn	43.8 MPa
		28 døgn	58.6 MPa

tn. J.

Norcem A.S FoU, 13-Nov-98

  
Laboratorieleder

NORCEM A.S R&D

Address:  
Setreveien 2  
P.O. Box 38  
N-3950 Brevik  
Norway

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:  
8200 01 86739

Head Office:  
Ruselokkvn. 14  
P.O. Box 1386  
N-0114 Oslo

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for IND sement.

**NORCEM**

*Member of the Scancem Group*

PRØVNINGS RAPPORT

Oppdragsgiver : NORCEM A.S Markedsavdelingen  
Prøvetype : Prøvings sement  
Fra dato : 17.07.98  
Prøve mottatt : 17.07.98  
Prøven merket : Norcem IND prøvings sement utt. 17.07.98(1 palle)  
Prøvekode : CL 4-98

KJEMISK ANALYSE

Glødelap	2.18 %
Svoveltrioksyd	3.19 %

FINHET

Sp. overflate, Blaine	514 m <sup>2</sup> /kg
-----------------------	------------------------

NORMAL KONSISTENS

Vannbehov	31 %
-----------	------

VOLUMBESTANDIGHET

Le Chatelier	0.5 mm.
--------------	---------

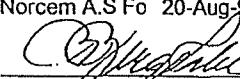
BINDETID

Størkning begynt	115 min.
------------------	----------

TRYKKFASTHET

1 døgn	34.1 MPa
2 døgn	41.8 MPa
7 døgn	49.3 MPa
28 døgn	56.8 MPa

Norcem A.S Fo 20-Aug-98

  
Laboratorieleder

NORCEM A.S R&D

Address:  
Sætreveien 2  
P.O. Box 38  
N-3050 Brønsvik

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:  
8000 01 06720

Head Office:  
Ruselokkvn. 14  
P.O. Box 1386  
NO-0114 Oslo

VEDLEGG A: Prøvingsrapport for IND sement forte.

**NORCEM**

*Member of the Scancem Group*

**P R Ø V N I N G S R A P P O R T**

Oppdragsgiver: NORCEM A.S. Markedsavdelingen  
 Prøvetype: Provnings sement  
 Fra Dato: 17.07.98  
 Prøve mottatt: 17.07.98  
 Prøven merket: Norcem IND prøvnings sement utt. 17.07.98(1 palle)  
 Prøve kode: CL 4-98

**KJEMISK ANALYSE**

**FYSIKALSK PRØVNING EN 196**

Glødetap	2.18 %	FINHET	
Kiselsyre (SiO <sub>2</sub> )	19.71 %	Sikteanalyse	+90my 0 %
Aluminiumoksyd (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4.94 %	" "	+64my 0.1 %
Jernoksyd (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.25 %	" "	-24my 86.5 %
Kalsiumoksyd (CaO)	62.00 %	" "	-30 my 93.3 %
Magnesiumoksyd (MgO)	2.51 %	Sp. overflate	Blaine 514 m <sup>2</sup> /kg
Soveltrioksyd	3.19 %		
Fri kalk	1.04 %	NORMAL KONSISTENS	
Kaliumoksyd (K <sub>2</sub> O)	1.12 %	Vannbehov	31 %
Natriumoksyd (Na <sub>2</sub> O)	0.42 %		
Alkali	1.16 %	VOLUMBESTANDIGHET	
Karbon	0.43 %	Le Chatlier	0.5 mm
<b>BINDETIDER</b>			
		Størkning begynt	115 min.
		Størkning slutt	135 min.
<b>TRYKKFASTHET</b>			
		1 døgn	34.1 MPa
		2 døgn	41.8 MPa
		7 døgn	49.3 MPa
		28 døgn	56.8 MPa

tn. *H.*

Norcem A.S FoU, 13-Nov-98

*Dagfinn Hauge*  
Laboratoreleder

**NORCEM A.S R&D**

Address:  
Setreveien 2  
P.O. Box 38  
N-3950 Brevik  
Norway

Telephone: +47 35 57 20 00  
Telefax: +47 35 57 04 00

Ent. No.:  
NO 934 949 145 VAT  
Bank Account:  
8200 01 86739

Head Office:  
Ruselokkvn. 14  
P.O. Box 1386  
N-0114 Oslo  
Norway



D A G L H G R A P P O R T F O R K J E M I S K - L A B

160/98

Kjelsøn

Dato

18/8-28

Sia

## VEDLEGG A: Fysiske data for flygeaske.

D A G L I G R A P P O R T F O R E N E R G I - L A B.



K. Kjeldsen

Dato: 7/8-98

rape

## VEDLEGG A: Fysiske data for flygeaske.

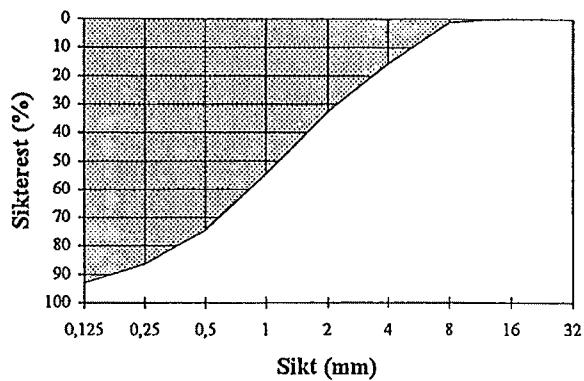
## VEDLEGG A: Sikteturver for tilslag.

Fraksjon\_I

### Fraksjon I

Type:	NSBR (0-8 mm) Norstone, Ardal
Dato:	Uttatt 11.06.98
FM =	3,13

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
16	0	0	0,0
8	1,4	1,4	1,4
4	16	16	15,8
2	33	33	33,2
1	55	55	54,8
0,5	75	75	74,6
0,25	87	87	86,6
0,125	93	93	93,2
Bunn	100	100	

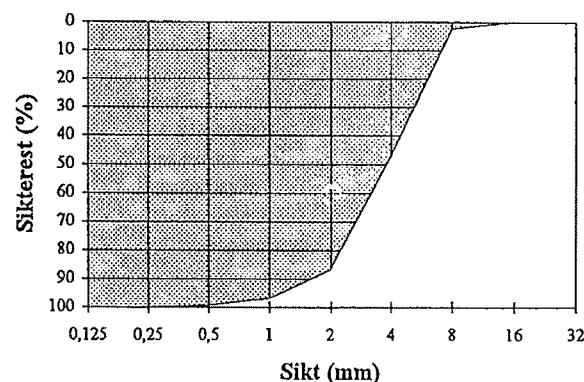


Fraksjon\_II

### Fraksjon II

Type:	OTC (2-8 mm) Norstone, Ardal
Dato:	Uttatt: 13.08.98
FM =	3,13

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
16	0	0	0,0
8	2,4	2,4	2,4
4	47	47	47,3
2	87	87	86,9
1	97	97	96,9
0,5	99	99	99,4
0,25	100	100	99,9
0,125	100	100	100,0
Bunn	100	100	



VEDLEGG B: Betongresepter for Bl. 1 – Bl. 4.

	Virkelig betongsammensetning				
	Enhet	Bl. 1	Bl. 2	Bl. 3	Bl. 4
STD Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	-	276	248
STD FA Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	361	-	-
ANL Cement	kg/m <sup>3</sup>	371	-	92	82
IND Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Flyveaske (468 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Flyveaske (710 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	37
Flyveaske (1019 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Silikastøv	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Vann/bindemiddel	-	0,45	0,45	0,45	0,45
Total vann	kg/m <sup>3</sup>	167	162	166	165
P-stoff	kg/m <sup>3</sup>	2,00	1,90	2,00	1,90
SP-stoff	kg/m <sup>3</sup>	3,37	3,93	3,50	3,87
D-stoff	kg/m <sup>3</sup>	0,15	0,15	0,15	0,15
Tilslag; 0-8mm	kg/m <sup>3</sup>	1080	1060	1074	1072
Tilslag; 2-8mm	kg/m <sup>3</sup>	720	707	716	714
Densitet (NS 3660)	kg/m <sup>3</sup>	2345	2296	2331	2321
Luft (NS 3659)	%	4,3	5,9	4,6	4,6
Synkmål (NS 3662)	mm	150	160	150	150
Trykkfasthet, 1 døgn	MPa	17,9	21,7	26,6	22,1
Trykkfasthet, 28 døgn	MPa	68,5	57,5	64	63,8
Trykkfasthet, 273 døgn	MPa	82,6	81	77,2	85,8

VEDLEGG B: Betongresepter for Bl. 5 – Bl. 8.

	Virkelig betongsammensetning				
	Enhet	Bl. 5	Bl. 6	Bl. 7	Bl. 8
STD Cement	kg/m <sup>3</sup>	219	176	218	217
STD FA Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
ANL Cement	kg/m <sup>3</sup>	73	59	73	72
IND Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Flyveaske (468 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	73	-
Flyveaske (710 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	73	127	-	-
Flyveaske (1019 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	72
Silikastøv	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Vann/bindemiddel	-	0,45	0,45	0,45	0,45
Total vann	kg/m <sup>3</sup>	164	164	164	162
P-stoff	kg/m <sup>3</sup>	1,90	1,90	1,90	1,90
SP-stoff	kg/m <sup>3</sup>	3,77	3,62	3,87	3,50
D-stoff	kg/m <sup>3</sup>	0,15	0,15	0,15	0,15
Tilslag; 0-8mm	kg/m <sup>3</sup>	1066	1061	1066	1060
Tilslag; 2-8mm	kg/m <sup>3</sup>	712	707	711	707
Densitet (NS 3660)	kg/m <sup>3</sup>	2313	2299	2311	2297
Luft (NS 3659)	%	4,8	4,7	4,4	5,1
Synkmål (NS 3662)	mm	130	150	150	140
Trykkfasthet, 1 døgn	MPa	17,6	11,0	16,4	17,7
Trykkfasthet, 28 døgn	MPa	61,4	56,4	58,3	63
Trykkfasthet, 273 døgn	MPa	84,2	84,3	82,2	82,5

VEDLEGG B: Betongresepter for Bl.9 – Bl. 12.

	Virkelig betongsammensetning				
	Enhet	Bl. 9	Bl. 10	Bl. 11	Bl. 12
STD Cement	kg/m <sup>3</sup>	367	-	-	-
STD FA Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	-	402	384
ANL Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
IND Cement	kg/m <sup>3</sup>	-	368	-	-
Flyveaske (468 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Flyveaske (710 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Flyveaske (1019 m <sup>2</sup> /kg)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Silikastøv	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	16
Vann/bindemiddel	-	0,45	0,45	0,40	0,40
Total vann	kg/m <sup>3</sup>	166	165	161	160
P-stoff	kg/m <sup>3</sup>	1,90	1,90	2,10	2,10
SP-stoff	kg/m <sup>3</sup>	4,75	4,60	5,35	5,05
D-stoff	kg/m <sup>3</sup>	0,15	0,15	0,15	0,15
Tilslag; 0-8mm	kg/m <sup>3</sup>	1073	1078	1047	1042
Tilslag; 2-8mm	kg/m <sup>3</sup>	715	719	698	695
Densitet (NS 3660)	kg/m <sup>3</sup>	2328	2336	2316	2304
Luft (NS 3659)	%	4,9	4,6	5,3	5,6
Synkmål (NS 3662)	mm	90	130	145	120
Trykkfasthet, 1 døgn	MPa	26,3	38,3	27,3	27,9
Trykkfasthet, 28 døgn	MPa	59,7	63,6	64,9	73,3
Trykkfasthet, 273 døgn	MPa	74,0	76,5	91,1	91,3

VEDLEGG C: Målt kloridinnhold (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) i ulike sjikt for Bl. 1 og Bl. 2.

Bl. 1							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (med mer)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,080	0-2	0,101	0-2	0,222	0-2	0,324
2-4	0,053	2-4	0,092	2-6	0,207	2-4	0,333
4-6,1	0,053	4-6	0,092	6-10	0,160	4-8,5	0,256
6,1-8,4	0,014	6-8	0,053	10-14	0,108	8,5-12,5	0,200
8,4-10,2	0,014	8-10	0,053	14-18	0,062	12,5-16,5	0,143
10,2-12,1	0,017	10-12	0,023	18-24	0,021	16,5-20,5	0,096
12,1-14	0,011	12-14	0,023	24-30	0,012	20,5-25	0,041
14-16,4	0,019	14-16	0,011	30-36	0,011	25-30	0,011
16,4-18,3	0,014	16-19	0,011	36-40	0,011	30-35	0,005
18,3-20,2	0,007	19-22	0,009	-	-	35-40	0,006
-	-	22-25	0,009	-	-	-	-
-	-	25-28	0,009	-	-	-	-

Bl. 2							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (med mer)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,080	0-2	0,149	0-2	0,168	0-2	0,420
2-4	0,050	2-4	0,110	2-6	0,144	2-4	0,516
4-6,1	0,050	4-6	0,110	6-10	0,078	4-8	0,391
6,1-8,5	0,011	6-8	0,053	10-14	0,039	8-12	0,242
8,5-10,5	0,011	8-10	0,053	14-18	0,018	12-16	0,115
10,5-12,9	0,012	10-12	0,027	18-24	0,012	16-20	0,055
12,9-14,9	0,011	12-14	0,027	24-30	0,009	20-25	0,020
14,9-17,4	0,011	14-16	0,012	30-36	0,009	25-30	0,008
17,4-19,6	0,005	16-19	0,012	36-40	0,009	30-35	0,007
19,6-21,8	0,005	19-22	0,009	-	-	35-40	0,005
-	-	22-25	0,009	-	-	-	-
-	-	25-28	0,009	-	-	-	-

VEDLEGG C: Målt kloridinnhold (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) i ulike sjikt for Bl. 3 og Bl. 4.

Bl. 3							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,041	0-2	0,160	0-2	0,200	0-2	0,245
2-4	0,034	2-4	0,154	2-6	0,179	2-4	0,245
4-6	0,018	4-6	0,154	6-10	0,131	4-8	0,205
6-8,3	0,018	6-8	0,097	10-14	0,080	8-12	0,149
8,3-10,9	0,011	8-10	0,097	14-18	0,035	12-16	0,114
10,9-12,9	0,011	10-12	0,035	18-24	0,016	16-20	0,062
12,9-14,8	0,011	12-14	0,035	24-30	0,014	20-25	0,017
14,8-17,3	0,012	14-16	0,014	30-36	0,014	25-30	0,007
17,3-19,4	0,012	16-19	0,014	36-40	0,012	30-35	0,007
19,4-21,4	0,011	19-22	0,011	-	-	35-40	0,007
-	-	22-25	0,011	-	-	-	-
-	-	25-28	0,011	-	-	-	-

Bl. 4							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,058	0-2	0,193	0-2	0,190	0-2	0,463
2-4	0,046	2-4	0,149	2-6	0,150	2-4	0,468
4-6	0,046	4-6	0,149	6-10	0,076	4-8	0,348
6-8	0,017	6-8	0,076	10-14	0,027	8-12	0,255
8-10,2	0,012	8-10	0,076	14-18	0,012	12-16	0,146
10,2-12,2	0,012	10-12	0,023	18-24	0,012	16-20	0,076
12,2-14,1	0,009	12-14	0,023	24-30	0,011	20-25	0,017
14,1-16	0,011	14-16	0,011	30-36	0,009	25-30	0,008
16-18	0,009	16-19	0,011	36-40	0,009	30-35	0,007
18-20,6	0,014	19-22	0,009	-	-	35-40	0,008
-	-	22-25	0,009	-	-	-	-
-	-	25-28	0,009	-	-	-	-

VEDLEGG C: Målt kloridinnhold (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) i ulike sjikt for Bl. 5 og Bl. 6.

Bl. 5							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2,5	0,073	0-2	0,246	0-2	0,252	0-2	0,491
2,5-4,4	0,039	2-4	0,165	2-6	0,220	2-4	0,502
4,4-6,3	0,039	4-6	0,165	6-10	0,136	4-8	0,373
6,3-8,3	0,011	6-8	0,085	10-14	0,053	8-12	0,259
8,3-10,5	0,011	8-10	0,085	14-18	0,018	12-16	0,115
10,5-12,2	0,011	10-12	0,016	18-24	0,014	16-20	0,023
12,2-14,3	0,011	12-14	0,016	24-30	0,012	20-25	0,008
14,3-16,2	0,014	14-16	0,009	30-36	0,011	25-30	0,008
16,2-18,2	0,014	16-19	0,009	36-40	0,011	30-35	0,010
18,2-20,1	0,014	19-22	0,007	-	-	35-40	0,010
-	-	22-25	0,007	-	-	-	-
-	-	25-28	0,007	-	-	-	-

Bl. 6							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,090	0-2	0,151	0-2	0,238	0-2	0,281
2-4,2	0,077	2-4	0,142	2-6	0,229	2-4	0,373
4,2-6	0,027	4-6	0,142	6-10	0,131	4-8	0,288
6-8	0,027	6-8	0,080	10-14	0,046	8-12	0,185
8-10	0,016	8-10	0,080	14-18	0,016	12-16	0,076
10-12,1	0,009	10-12	0,025	18-24	0,014	16-20	0,019
12,1-14,2	0,009	12-14	0,025	24-30	0,014	20-25	0,009
14,2-16	0,011	14-16	0,018	30-36	0,014	25-30	0,009
16-18,2	0,011	16-19	0,018	36-40	0,014	30-35	0,007
18,2-20,2	0,007	19-22	0,014	-	-	35-40	0,008
-	-	22-25	0,014	-	-	-	-
-	-	25-28	0,014	-	-	-	-

VEDLEGG C: Målt kloridinnhold (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) i ulike sjikt for Bl. 7 og Bl. 8.

Bl. 7							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2,9	0,070	0-2	0,140	0-2	0,238	0-2	0,382
2,9-4,6	0,044	2-4	0,133	2-6	0,229	2-4	0,367
4,6-6,6	0,018	4-6	0,133	6-10	0,131	4-8	0,235
6,6-8,6	0,018	6-8	0,073	10-14	0,046	8-12	0,159
8,6-10,4	0,009	8-10	0,073	14-18	0,016	12-16	0,072
10,4-12,8	0,009	10-12	0,025	18-24	0,014	16-20	0,023
12,8-14,5	0,009	12-14	0,025	24-30	0,014	20-25	0,006
14,5-16,9	0,009	14-16	0,011	30-36	0,014	25-30	0,007
16,9-18,5	0,009	16-19	0,011	36-40	0,014	30-35	0,006
18,5-20,5	0,012	19-22	0,011	-	-	35-40	0,007
-	-	22-25	0,011	-	-	-	-
-	-	25-28	0,011	-	-	-	-

Bl. 8							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2,1	0,072	0-2	0,200	0-2	0,193	0-2	0,319
2,1-4,3	0,043	2-4	0,188	2-6	0,179	2-4	0,313
4,3-6,3	0,043	4-6	0,188	6-10	0,080	4-8	0,173
6,3-8,2	0,016	6-8	0,099	10-14	0,039	8-12	0,074
8,2-10,3	0,016	8-10	0,099	14-18	0,016	12-16	0,014
10,3-12,1	0,014	10-12	0,025	18-24	0,011	16-20	0,008
12,1-14,4	0,012	12-14	0,025	24-30	0,011	20-25	0,007
14,4-16,1	0,012	14-16	0,012	30-36	0,011	25-30	0,008
16,1-18,1	0,012	16-19	0,012	36-40	0,009	30-35	0,005
18,1-20	0,012	19-22	0,012	-	-	35-40	0,006
-	-	22-25	0,012	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

**VEDLEGG C: Målt kloridinnhold (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) i ulike sjikt for Bl. 9 og Bl. 10.**

Bl. 9							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,058	0-2	0,111	0-2	0,195	0-2	0,230
2-4	0,051	2-4	0,105	2-6	0,180	2-4	0,237
4-6	0,051	4-6	0,105	6-10	0,136	4-8	0,212
6-8	0,019	6-8	0,071	10-14	0,089	8-12	0,153
8-10	0,019	8-10	0,071	14-18	0,046	12-16	0,098
10-12	0,012	10-12	0,023	18-24	0,018	16-20	0,068
12-14,1	0,013	12-14	0,023	24-30	0,014	20-25	0,022
14,1-16	0,012	14-16	0,011	30-36	0,012	25-30	0,008
16-18	0,012	16-19	0,011	36-40	0,011	30-35	0,007
18-20	0,011	19-22	0,012	-	-	35-40	0,007
-	-	22-25	0,012	-	-	-	-
-	-	25-28	0,011	-	-	-	-

Bl.10							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2,1	0,041	0-2	0,130	0-2	0,198	0-2	0,309
2,1-4,1	0,046	2-4	0,124	2-6	0,188	2-4	0,320
4,1-6	0,034	4-6	0,124	6-10	0,142	4-8	0,265
6-8	0,012	6-8	0,074	10-14	0,087	8-12	0,218
8-10,3	0,012	8-10	0,074	14-18	0,035	12-16	0,159
10,3-12,1	0,005	10-12	0,025	18-24	0,012	16-20	0,115
12,1-14,1	0,005	12-14	0,025	24-30	0,009	20-25	0,060
14,1-16	0,011	14-16	0,014	30-36	0,009	25-30	0,021
16-18	0,009	16-19	0,014	36-40	0,009	30-35	0,006
18-20,2	0,007	19-22	0,011	-	-	35-40	0,005
-	-	22-25	0,011	-	-	-	-
-	-	25-28	0,009	-	-	-	-

**VEDLEGG C: Målt kloridinnhold (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) i ulike sjikt for Bl. 11 og Bl. 12.**

Bl. 11							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (med mer)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,045	0-2	0,175	0-2	0,246	0-2	0,350
2-4	0,035	2-4	0,167	2-6	0,216	2-4	0,393
4-6	0,035	4-6	0,167	6-10	0,110	4-8	0,270
6-8	0,019	6-8	0,080	10-14	0,053	8-12	0,120
8-10,1	0,012	8-10	0,080	14-18	0,025	12-16	0,061
10,1-12	0,014	10-12	0,035	18-24	0,012	16-20	0,023
12-14	0,009	12-14	0,035	24-30	0,012	20-25	0,010
14-16	0,014	14-16	0,018	30-36	0,011	25-30	0,007
16-18	0,014	16-19	0,018	36-40	0,009	30-35	0,007
18-20,3	0,009	19-22	0,012	-	-	35-40	0,006
-	-	22-25	0,012	-	-	-	-
-	-	25-28	0,007	-	-	-	-

Bl.12							
35 dg eksponering		200 dg eksponering		1 års eksponering		2 års eksponering	
Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)	Sjikt (mm)	[Cl <sup>-</sup> ] (%)
0-2	0,032	-	-	0-2	0,223	0-2	0,313
2-4	0,028	-	-	2-6	0,170	2-4	0,366
4-6	0,018	-	-	6-10	0,071	4-8	0,210
6-8,1	0,013	-	-	10-14	0,023	8-12	0,084
8,1-10,1	0,004	-	-	14-18	0,012	12-16	0,029
10.1-12	0,009	-	-	18-24	0,011	16-20	0,006
12-14,2	0,009	-	-	24-30	0,011	20-25	0,002
14,2-16,1	0,007	-	-	30-36	0,011	25-30	0,002
16,1-18,1	0,007	-	-	36-40	0,011	30-35	0,001
18,1-20,4	0,009	-	-	-	-	35-40	0,001
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

VEDLEGG D: Beregnede kloridinntrengnings parametar. For Bl. 1 – Bl. 4.

Bl. 1				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,09	0,14	0,28	0,40
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	5,29	1,81	2,40	1,71
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	11	20	72	121
k (mm)	-	4,2	12,0	12,1
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,43				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,06				

Bl. 2				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,09	0,17	0,23	0,68
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	4,03	1,64	0,99	0,86
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	9	25	39	145
k (mm)	-	5,8	6,5	10,8
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,65				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,53				

Bl. 3				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,06	0,23	0,25	0,30
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	3,03	2,06	1,84	1,50
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	5	36	58	87
k (mm)	-	9,5	9,7	9,7
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,28				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,27				

Bl. 4				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,08	0,24	0,26	0,59
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	4,50	1,54	0,76	1,11
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	7	34	40	148
k (mm)	-	8,3	6,4	11,6
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,65				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,24				

VEDLEGG D: Beregnede kloridinntrengnings parametere for Bl. 5 – Bl. 8.

Bl. 5				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,08	0,27	0,35	0,66
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	3,78	1,43	1,07	0,84
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	8	39	62	145
k (mm)	-	8,9	9,2	10,6
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,62				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,44				

Bl. 6				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,19	0,22	0,38	0,50
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	1,98	1,80	0,93	0,80
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	11	33	61	101
k (mm)	7,4	8,3	8,9	9,3
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,39				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,66				

Bl. 7				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,15	0,21	0,29	0,48
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	1,63	1,69	1,29	0,71
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	7	29	57	100
k (mm)	5,0	7,6	8,8	8,5
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,30				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,73				

Bl. 8				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,07	0,30	0,31	0,48
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	5,76	1,58	0,76	0,35
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	9	41	45	70
k (mm)	-	10,1	7,2	6,0
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 1,13				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 1,25				

VEDLEGG D: Beregnede kloridinntrengings parametrer for Bl. 9 – Bl. 12.

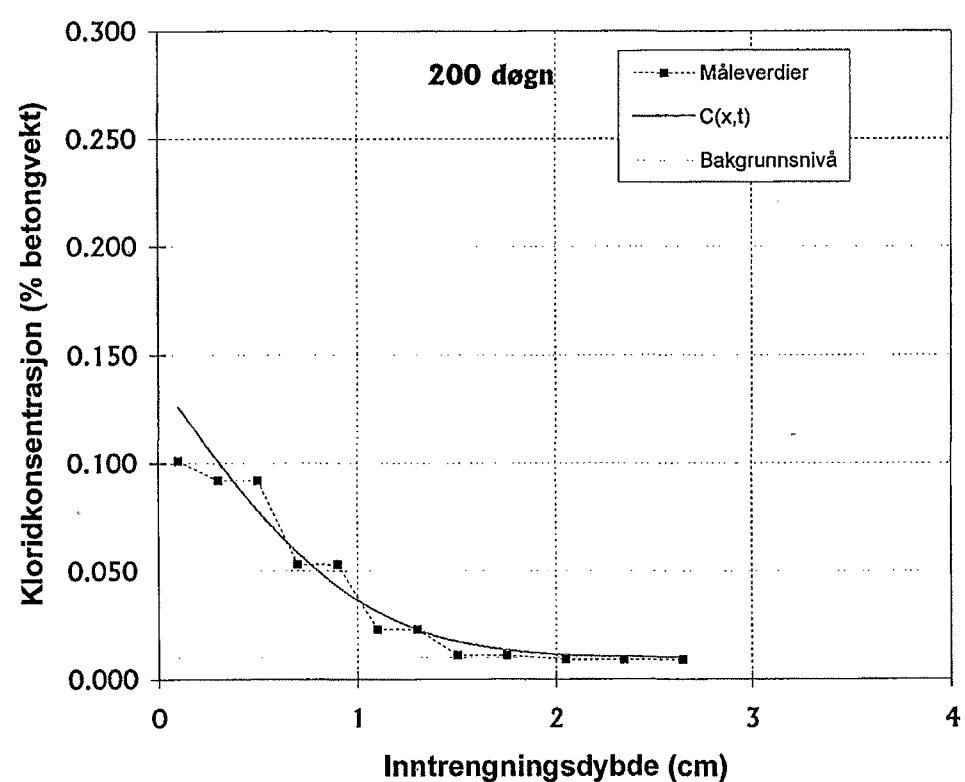
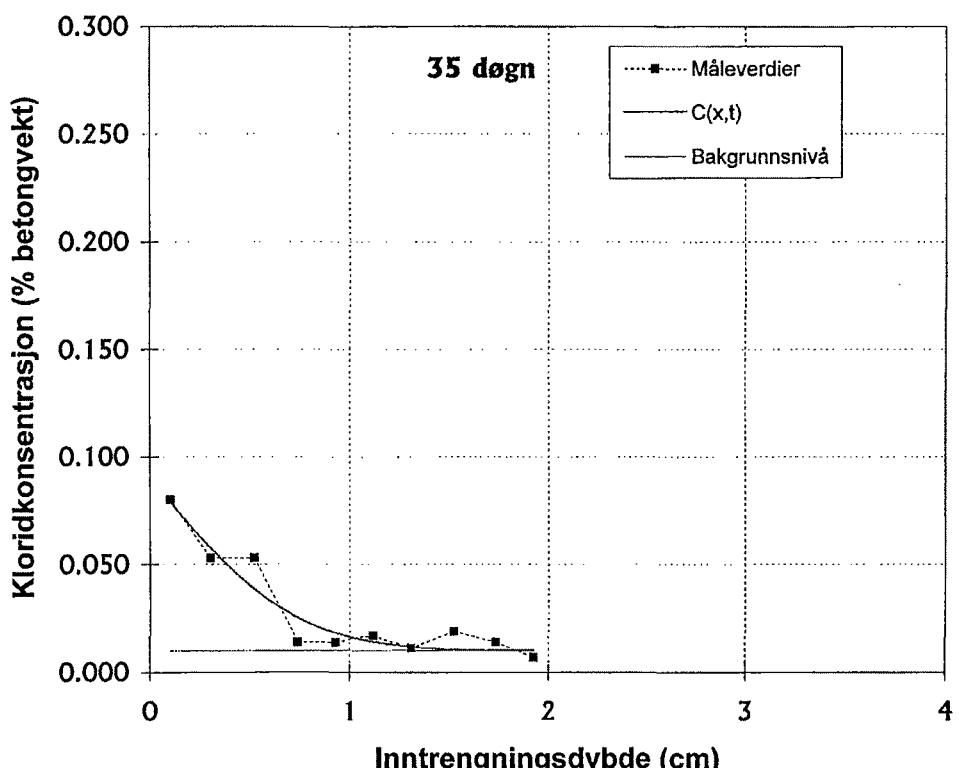
Bl. 9				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,08	0,16	0,25	0,33
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	5,55	2,00	2,16	1,34
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	9	24	60	86
k (mm)	-	5,9	10,3	9,7
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,55				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,35				

Bl. 10				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,09	0,19	0,27	0,38
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	2,70	1,86	1,83	2,05
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	5	28	59	126
k (mm)	-	7,3	10,1	13,0
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,13				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = -0,08				

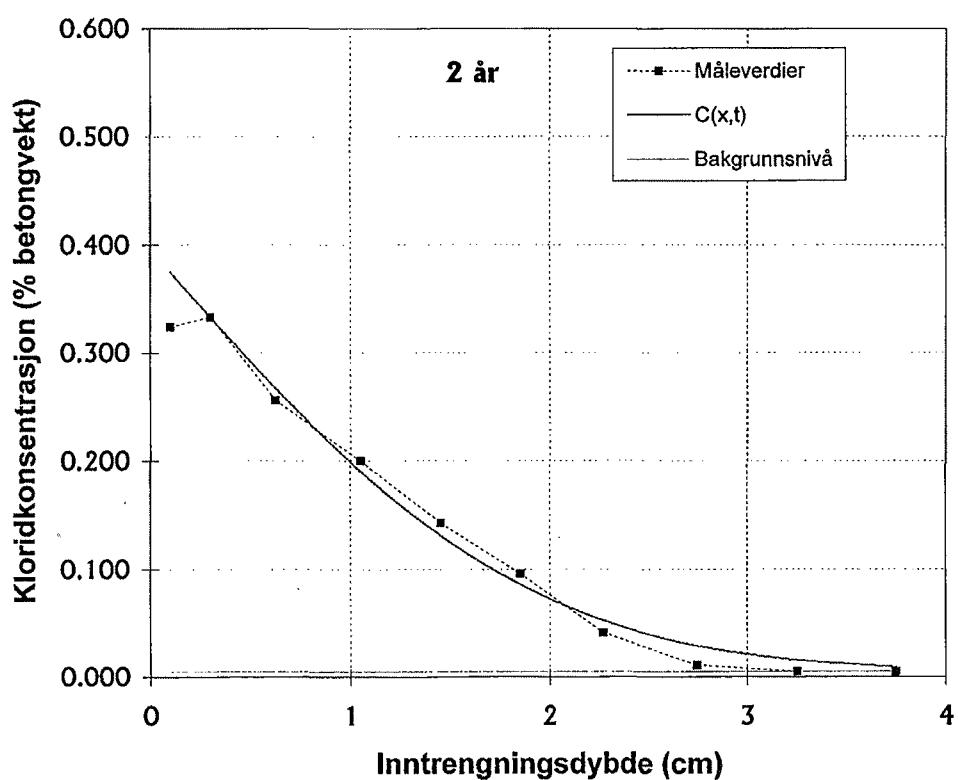
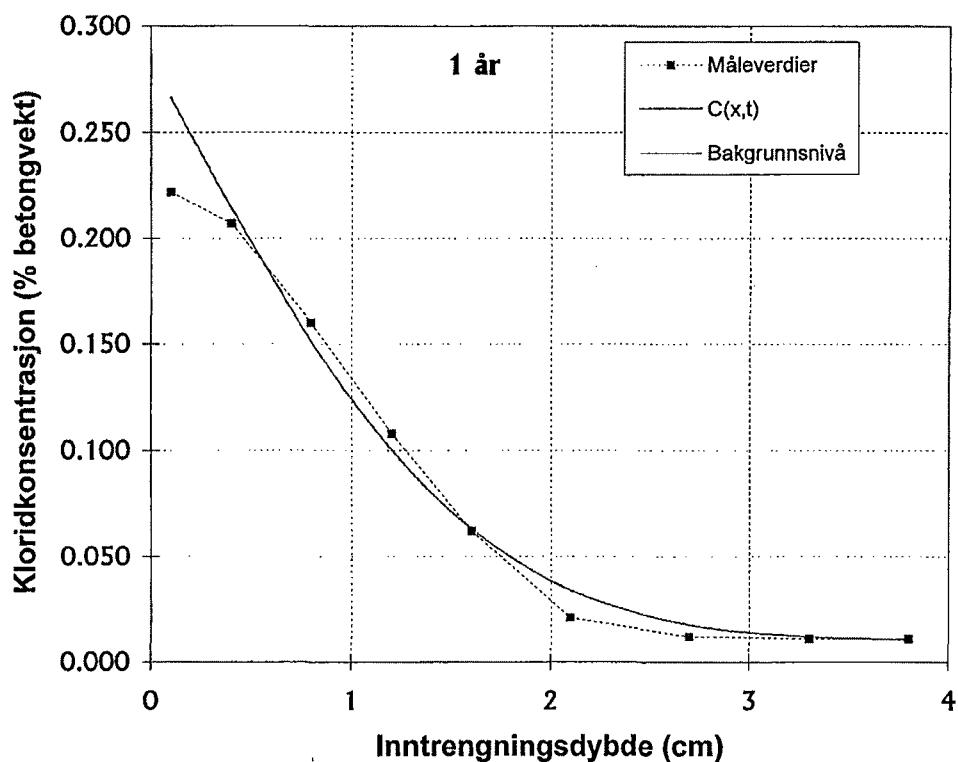
Bl. 11				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,05	0,26	0,35	0,55
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	5,97	1,71	0,96	0,55
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	6	37	59	98
k (mm)	-	9,3	8,6	8,0
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,97				
$\alpha$ (200 dg-2 år) = 0,94				

Bl. 12				
	35 dg eksponering	200 dg eksponering	1 år eksponering	2 år eksponering
C <sub>0</sub> (%)	0,06	-	0,32	0,55
D, 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	2,00	-	0,59	0,37
Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )	2	-	44	77
k (mm)	-	-	6,4	6,6
$\alpha$ (35 dg-2 år) = 0,68				

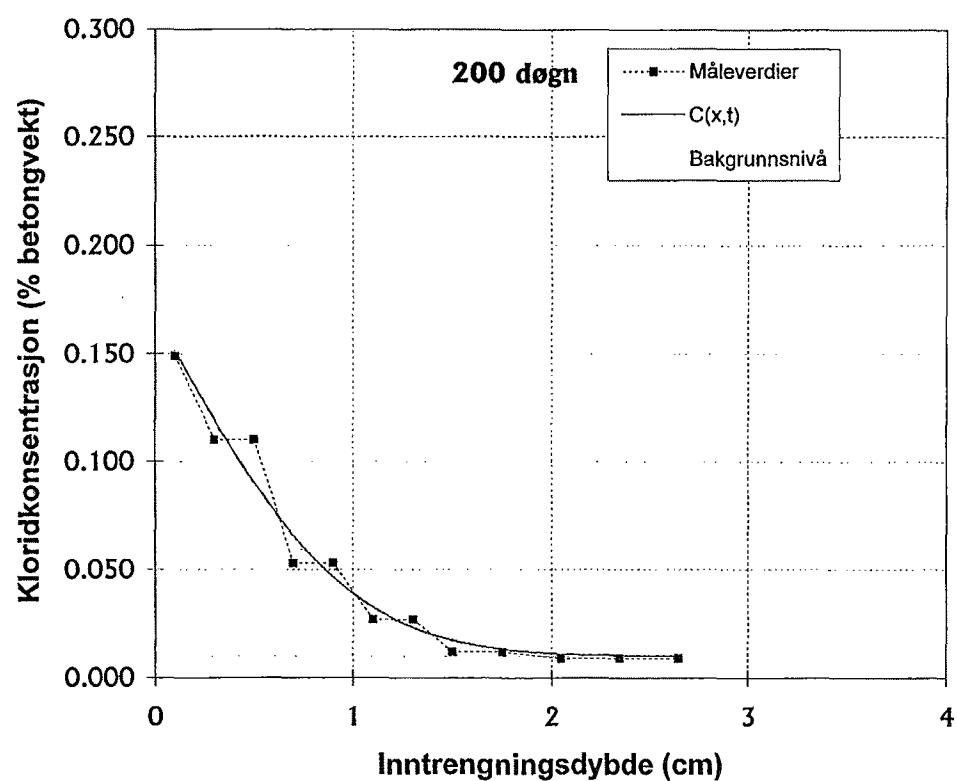
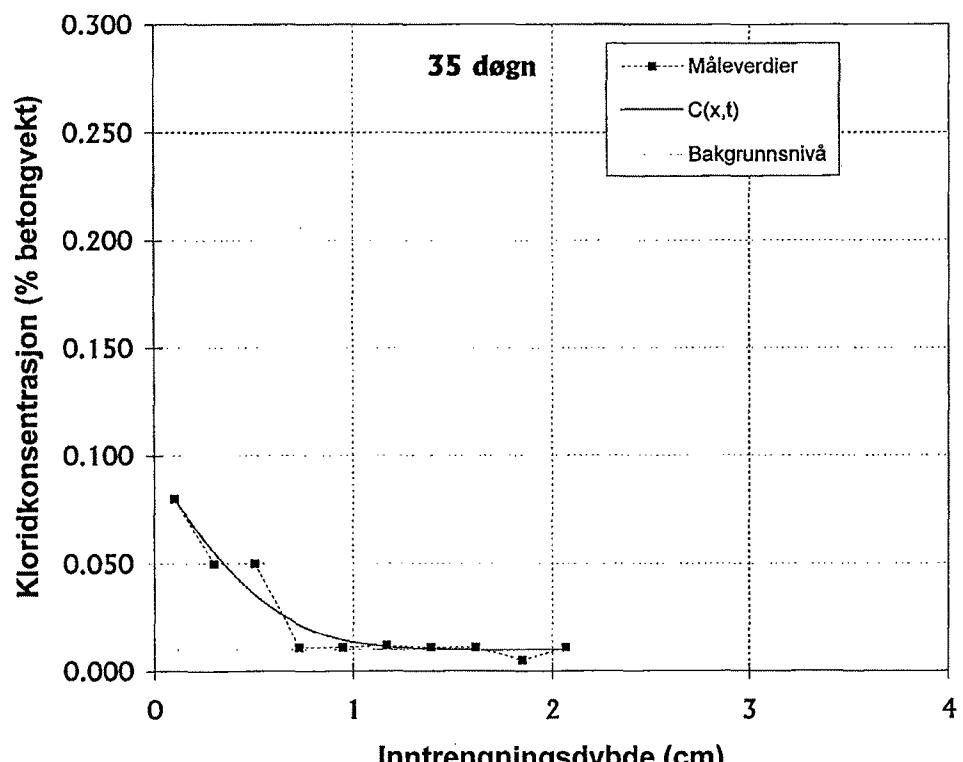
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 1 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



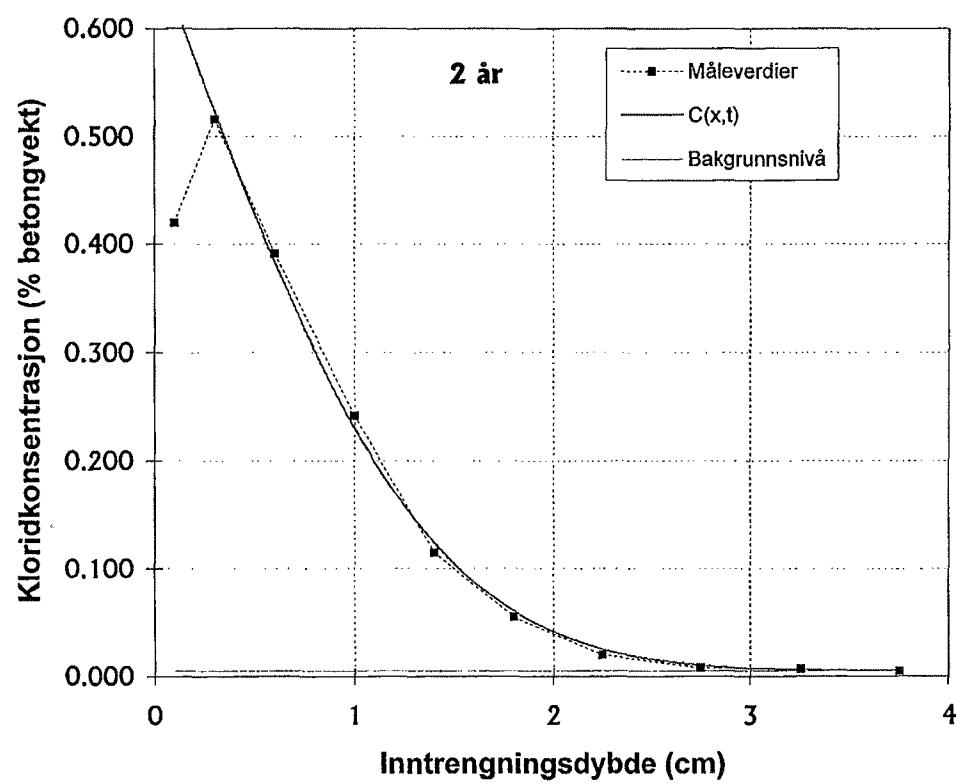
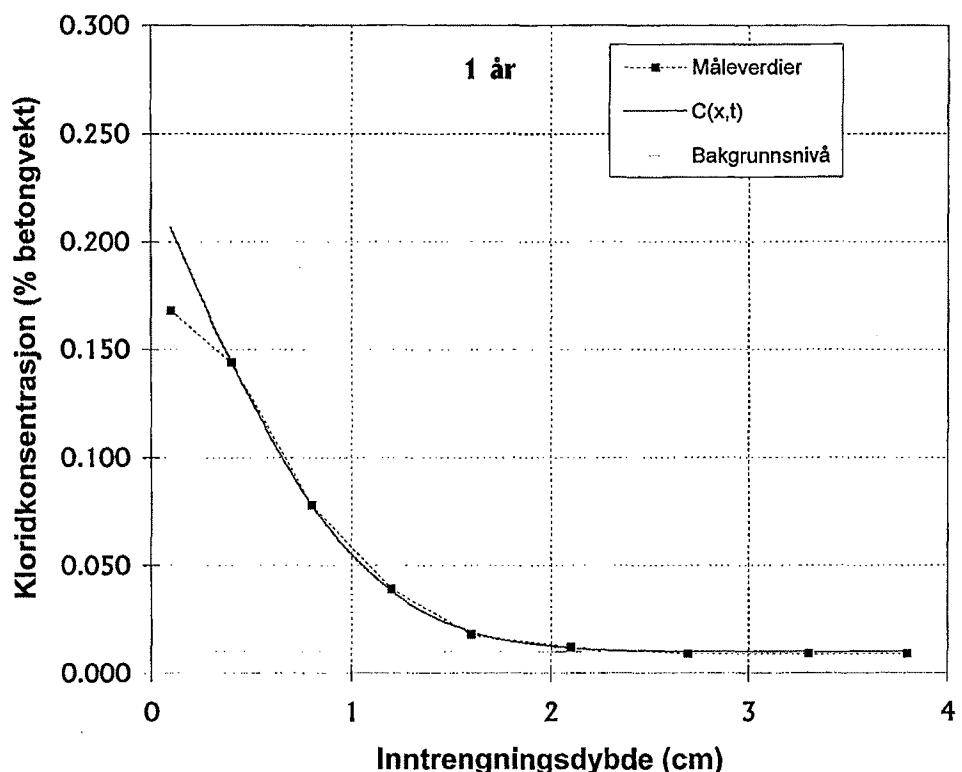
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 1 ved henholdsvis 1 og 2 år.



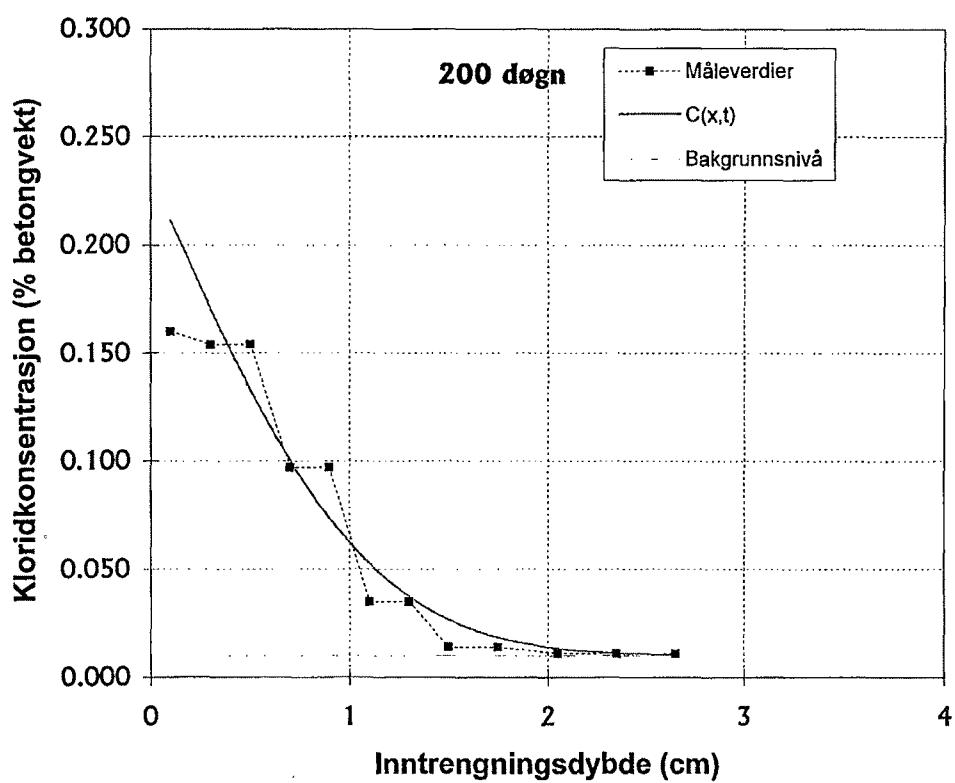
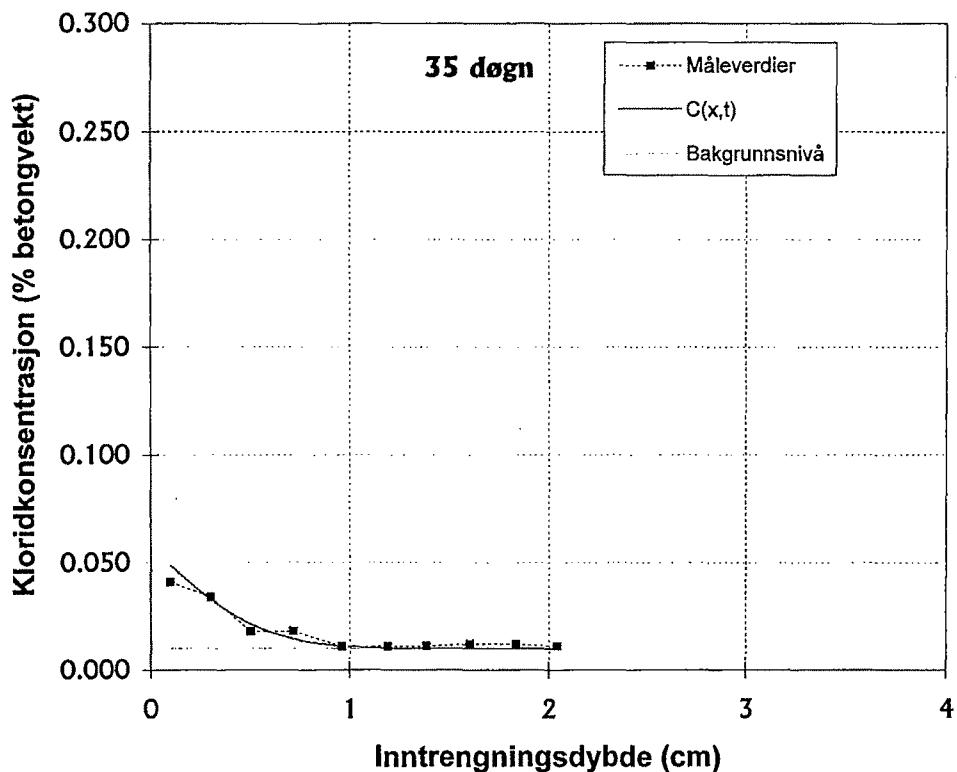
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 2 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



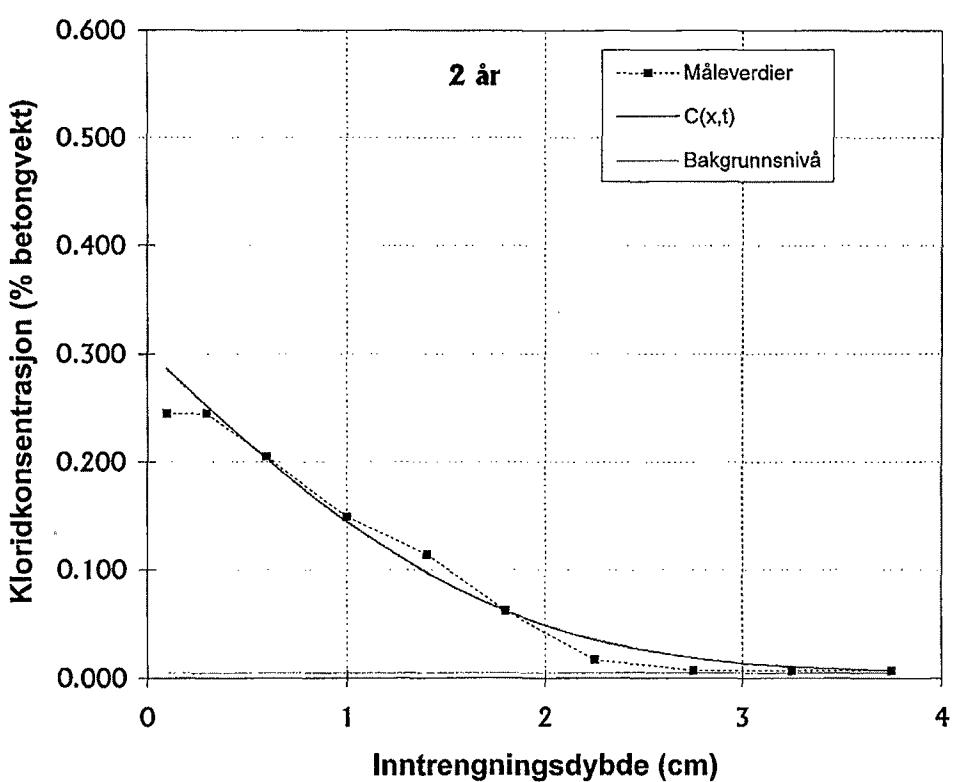
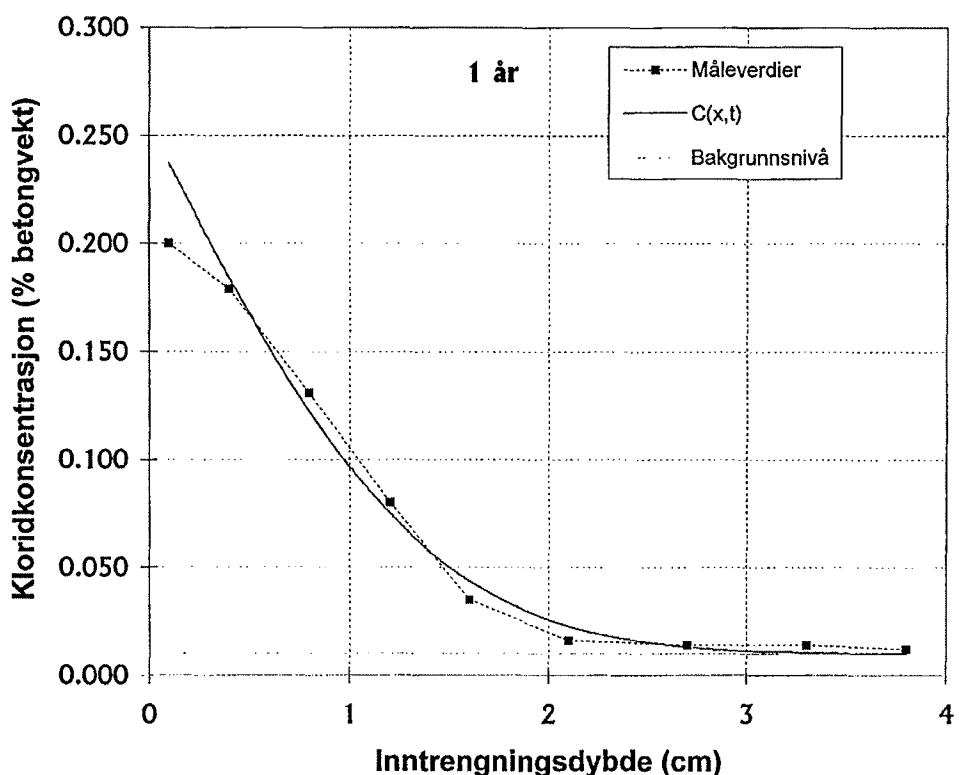
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 2 ved henholdsvis 1 og 2 år.



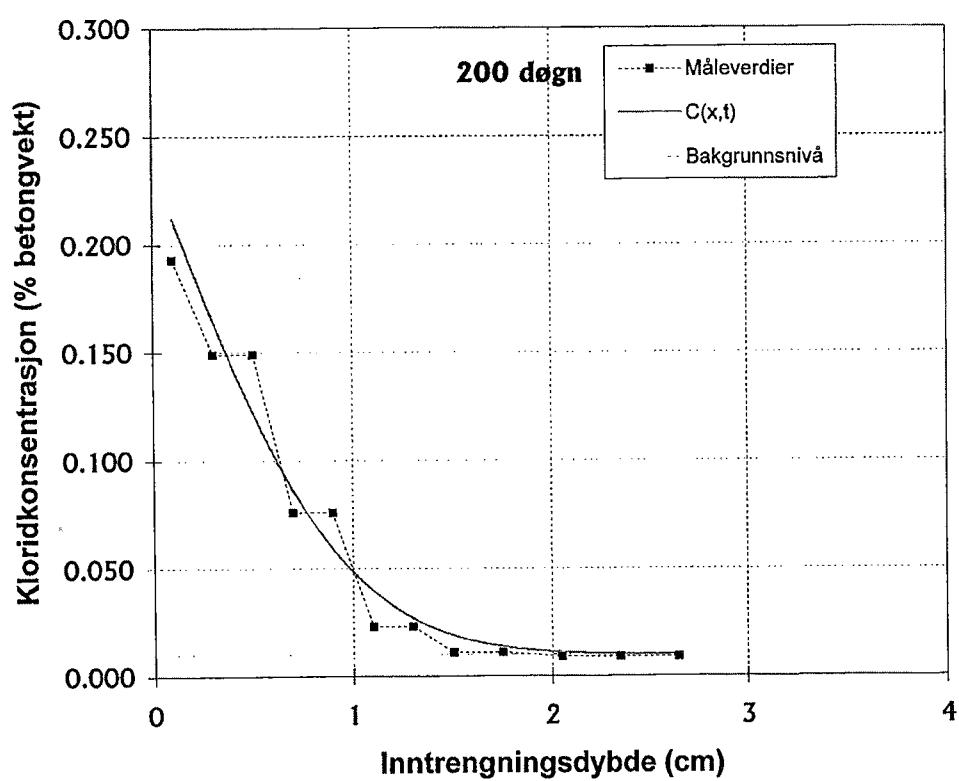
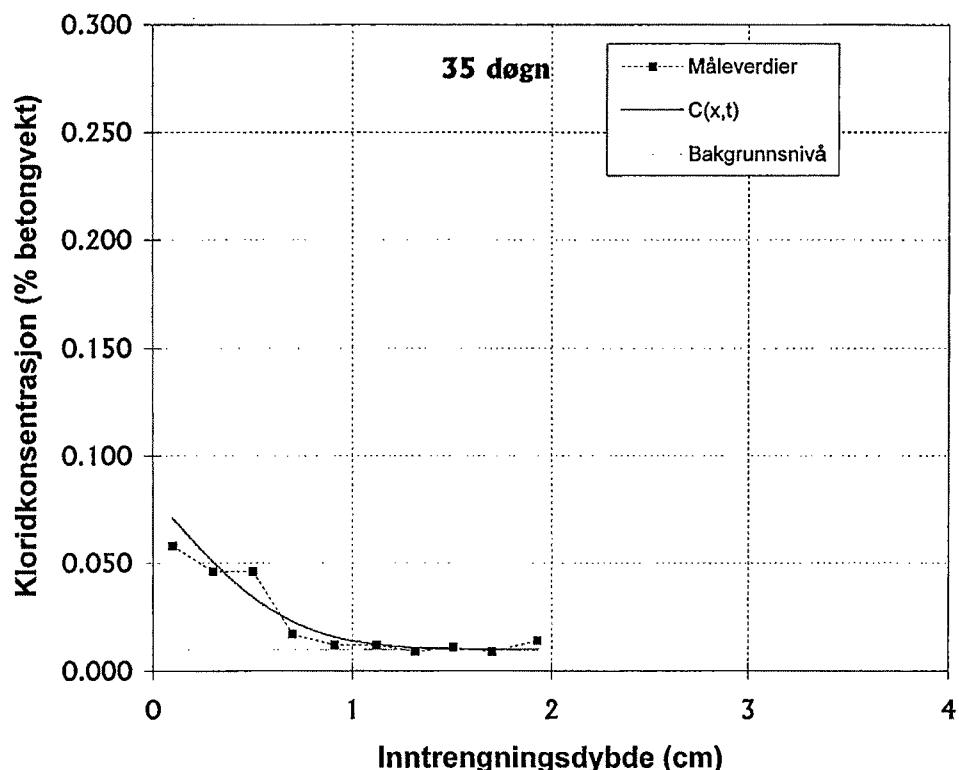
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 3 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



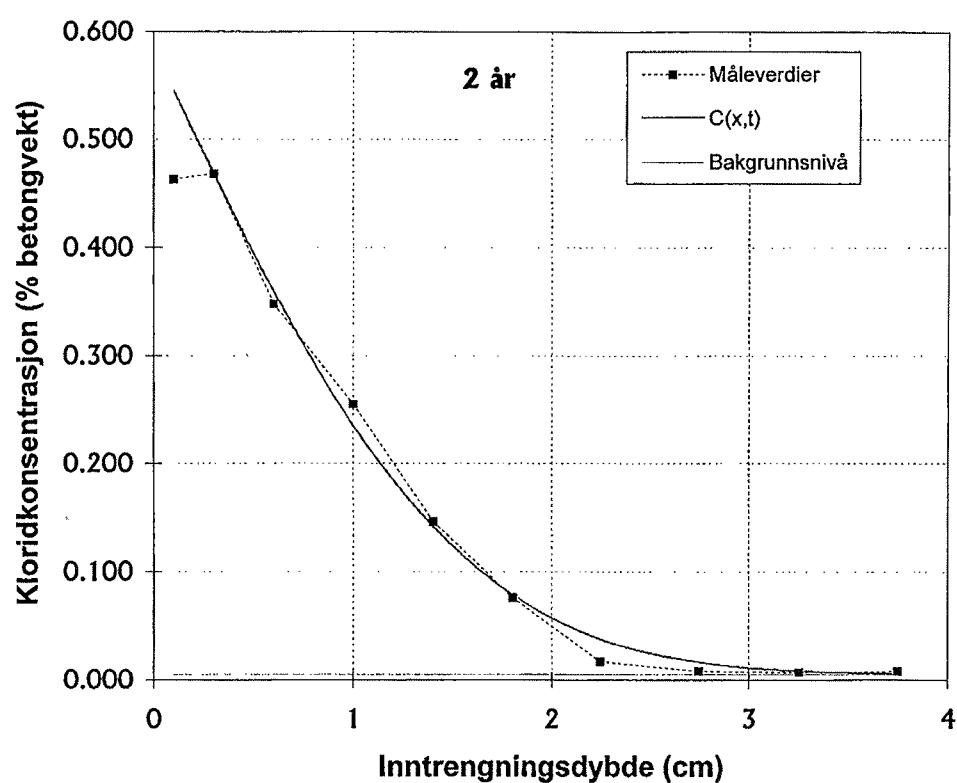
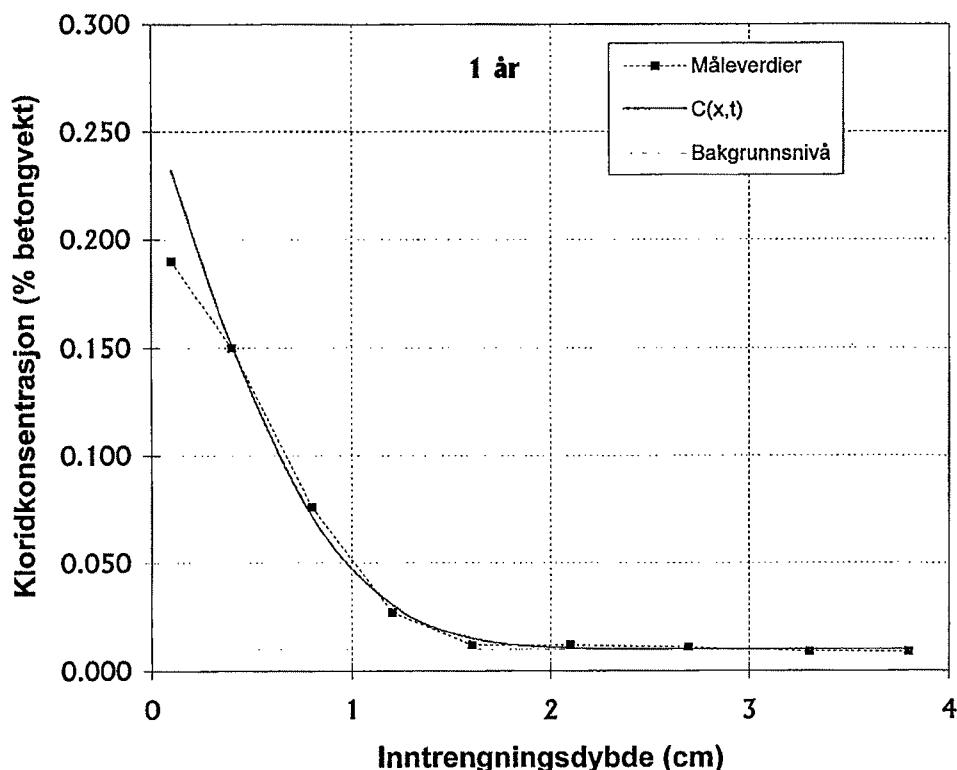
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 3 ved henholdsvis 1 og 2 år.



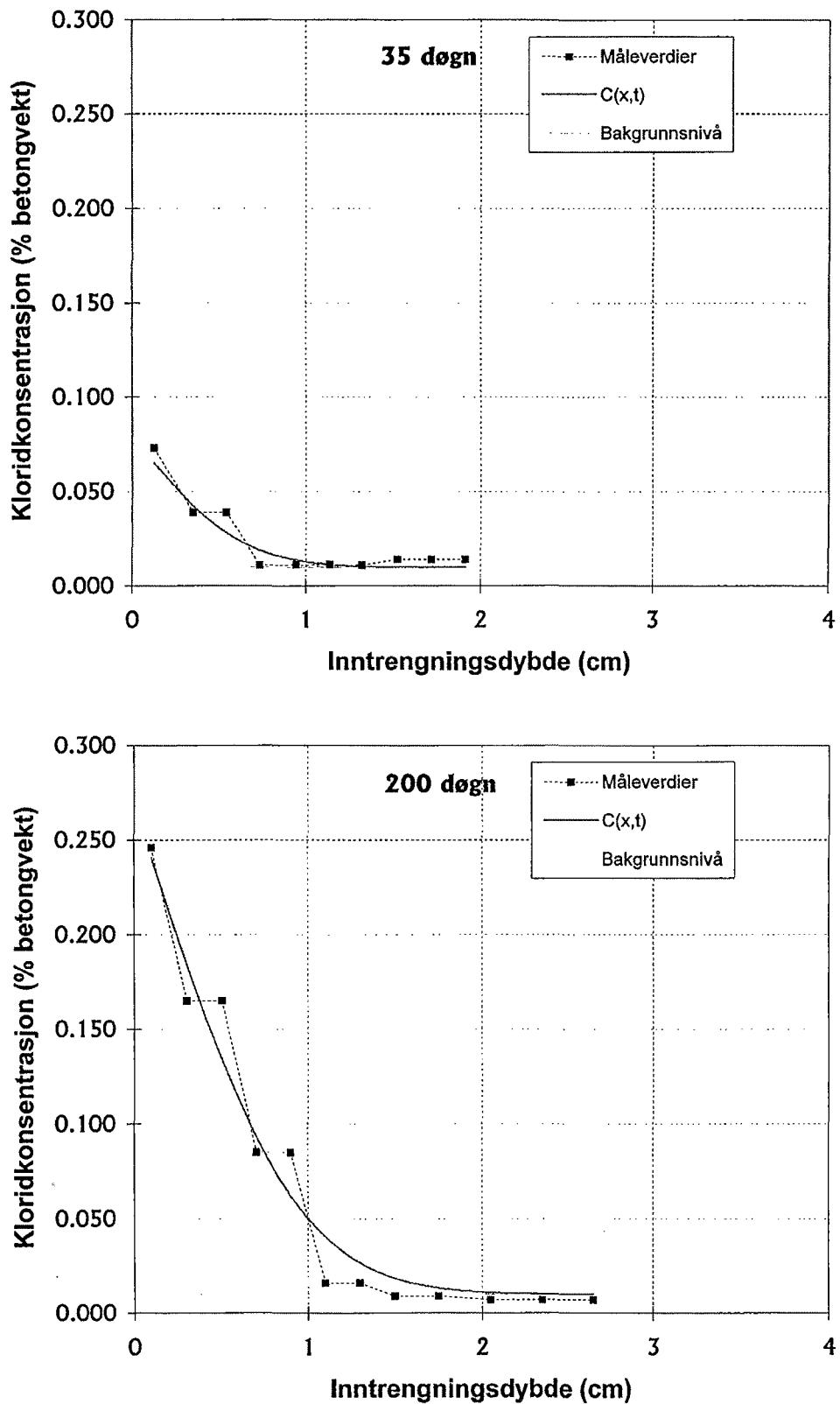
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 4 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



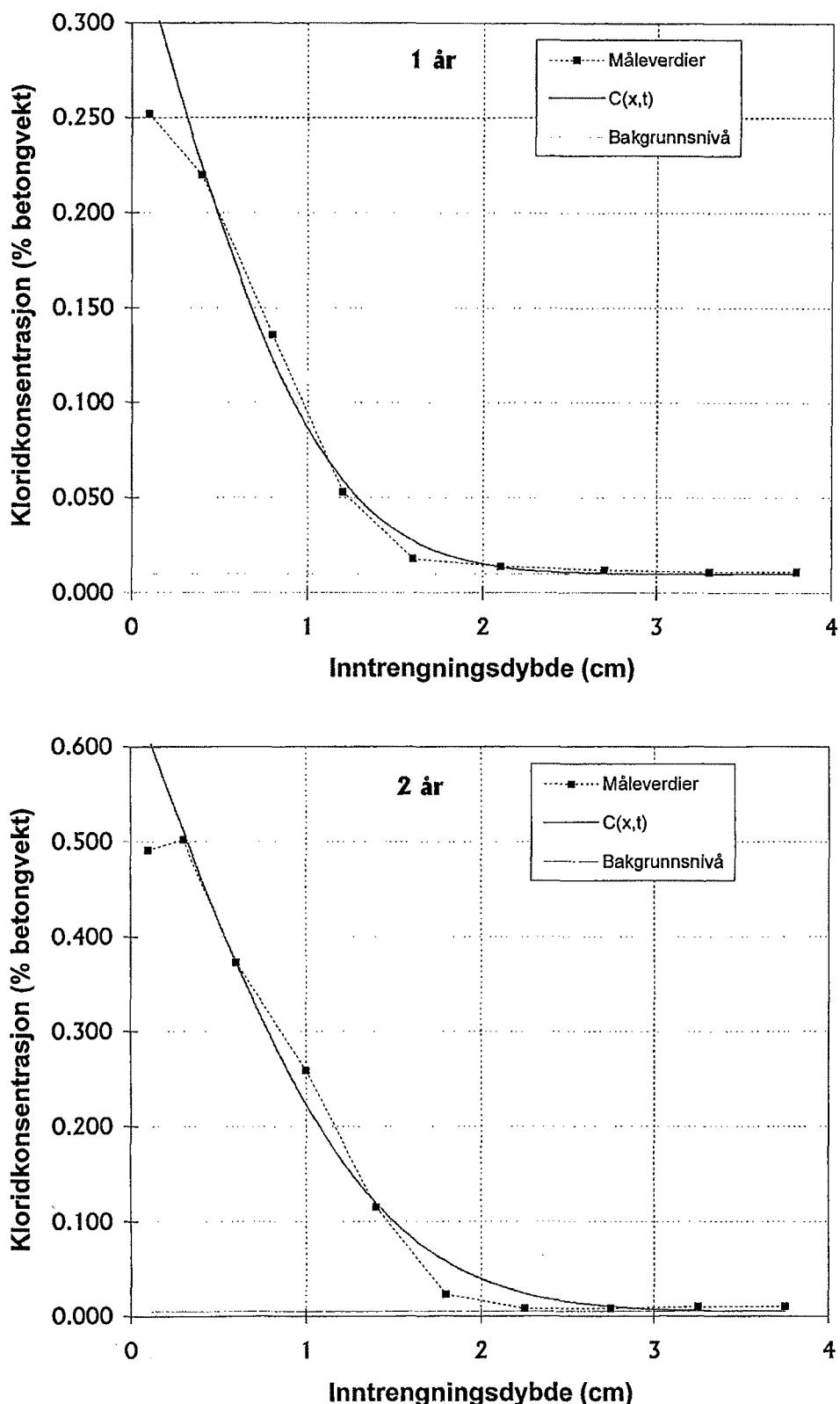
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 4 ved henholdsvis 1 og 2 år.



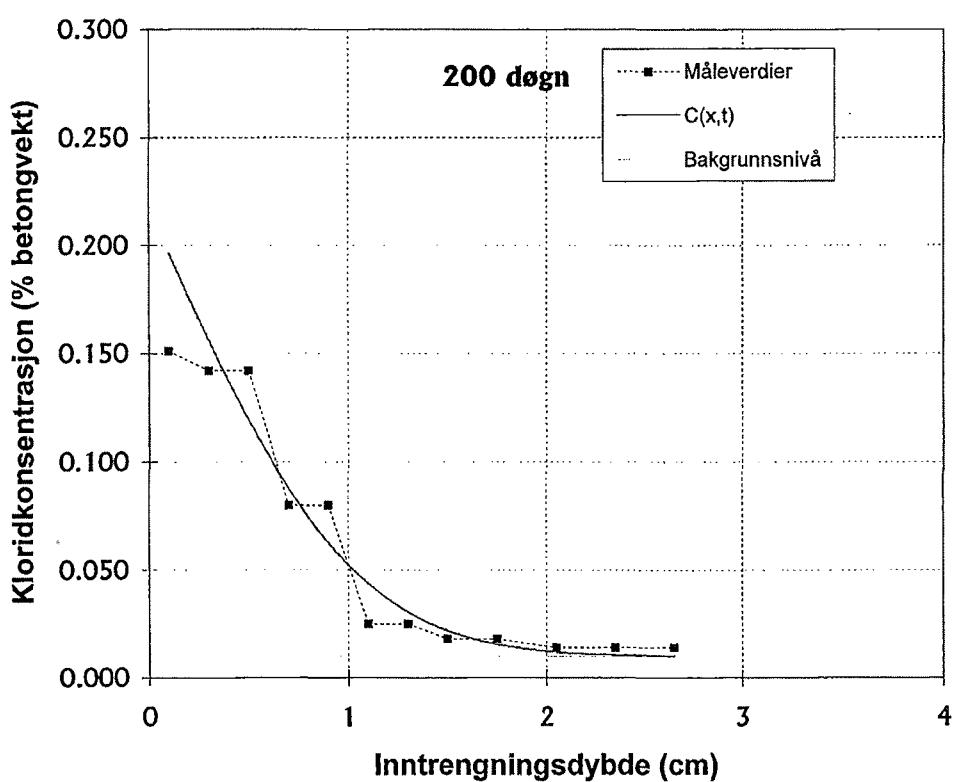
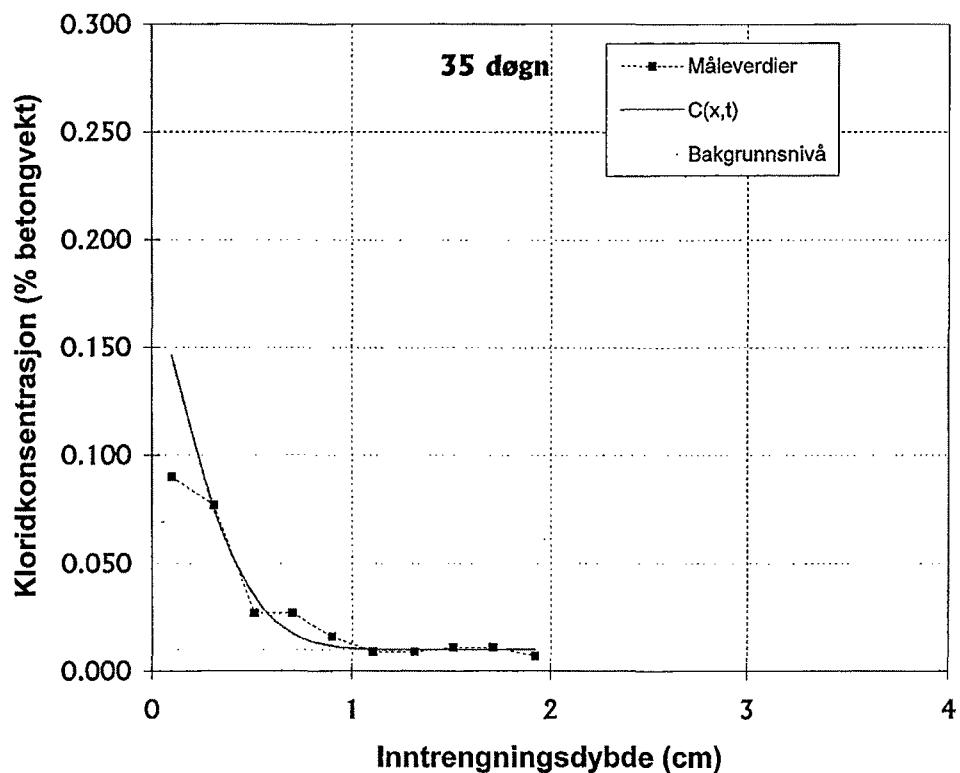
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 5 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



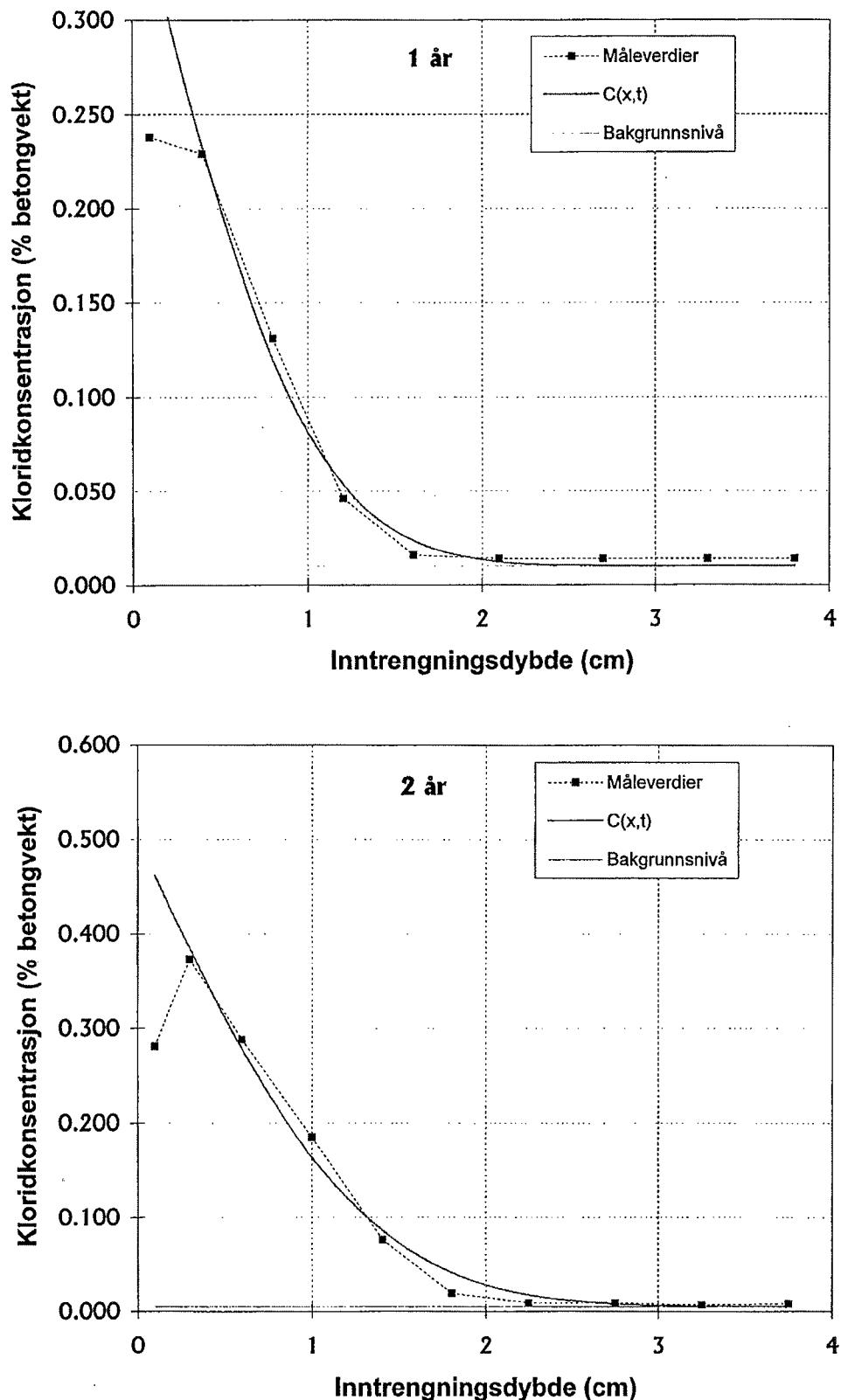
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 5 ved henholdsvis 1 og 2 år.



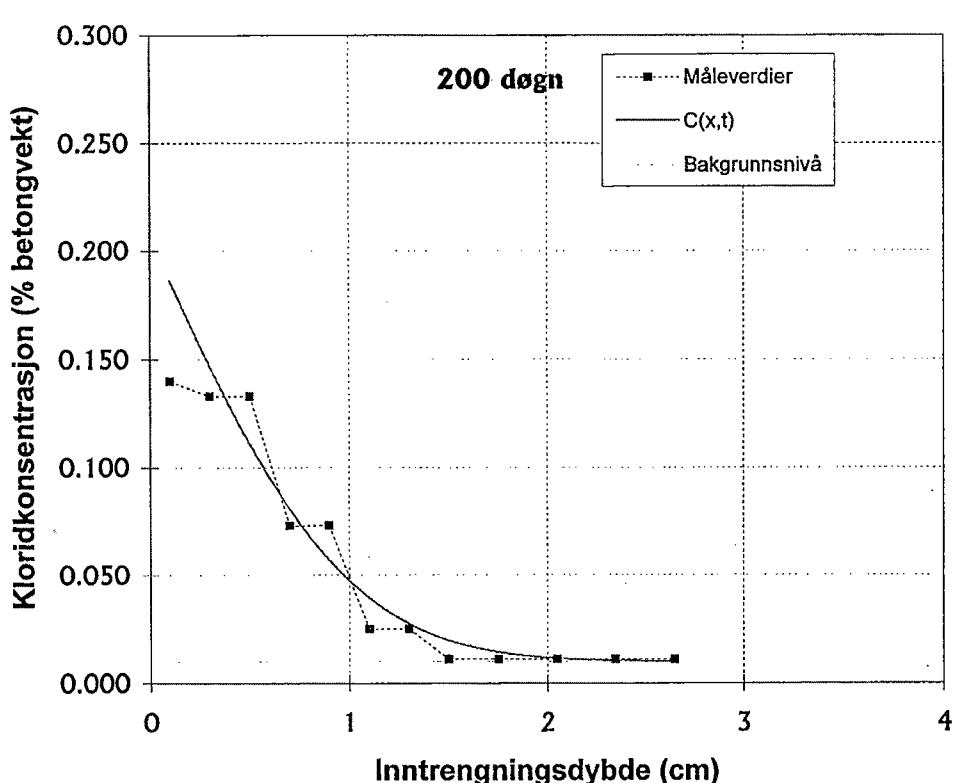
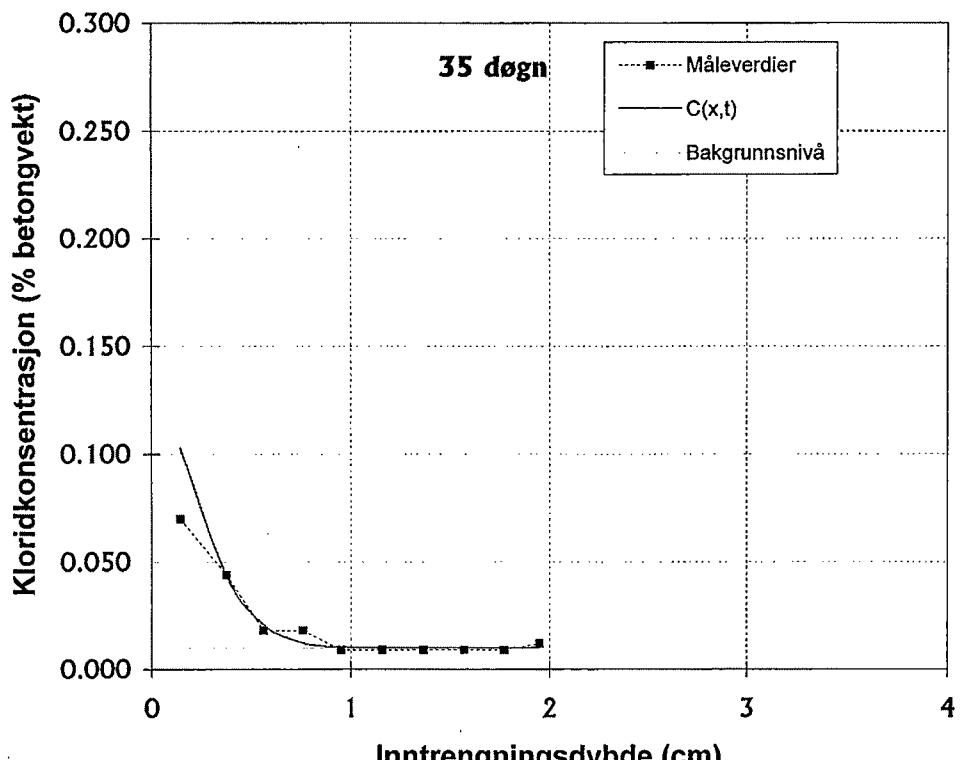
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 6 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



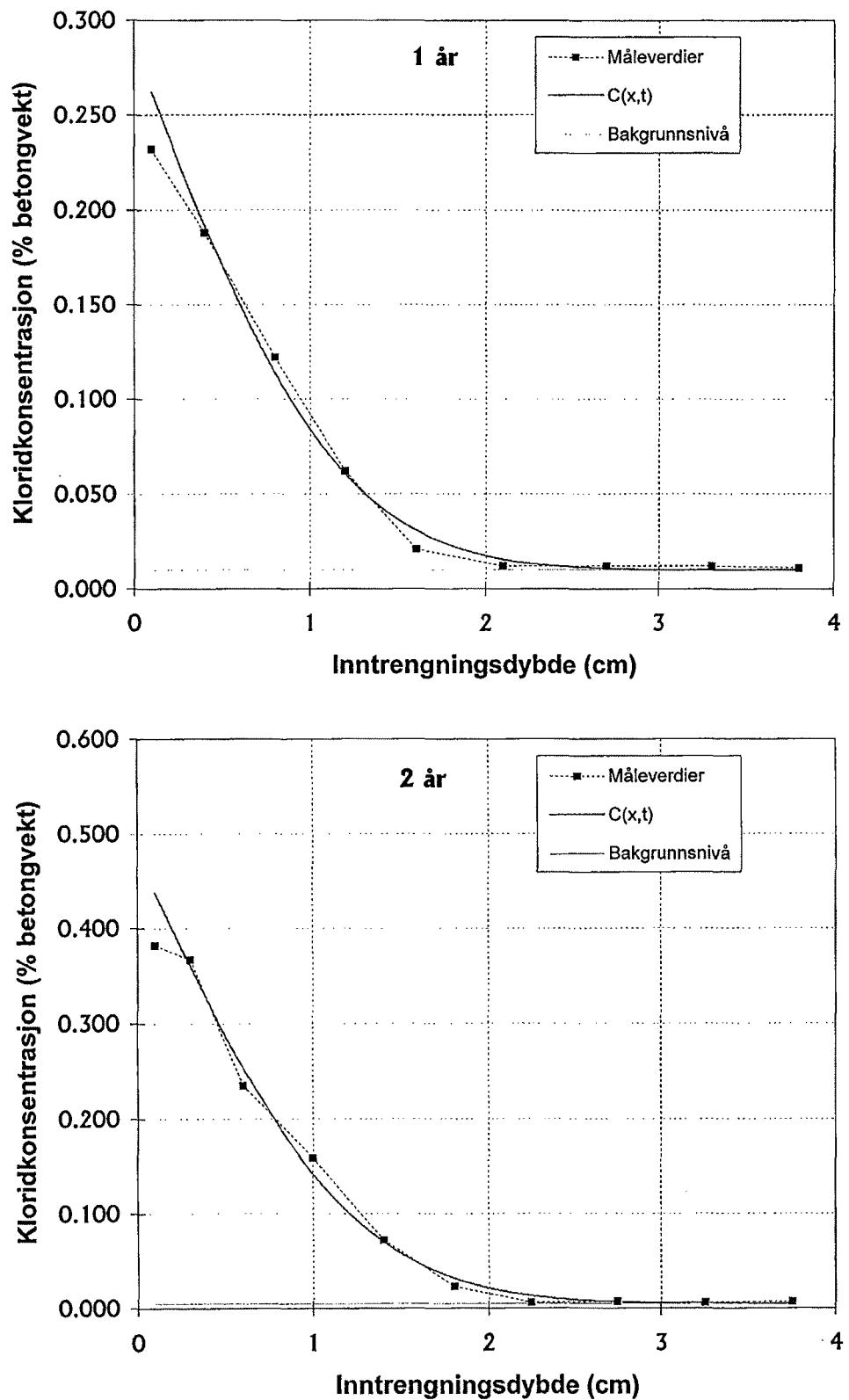
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 6 ved henholdsvis 1 og 2 år.



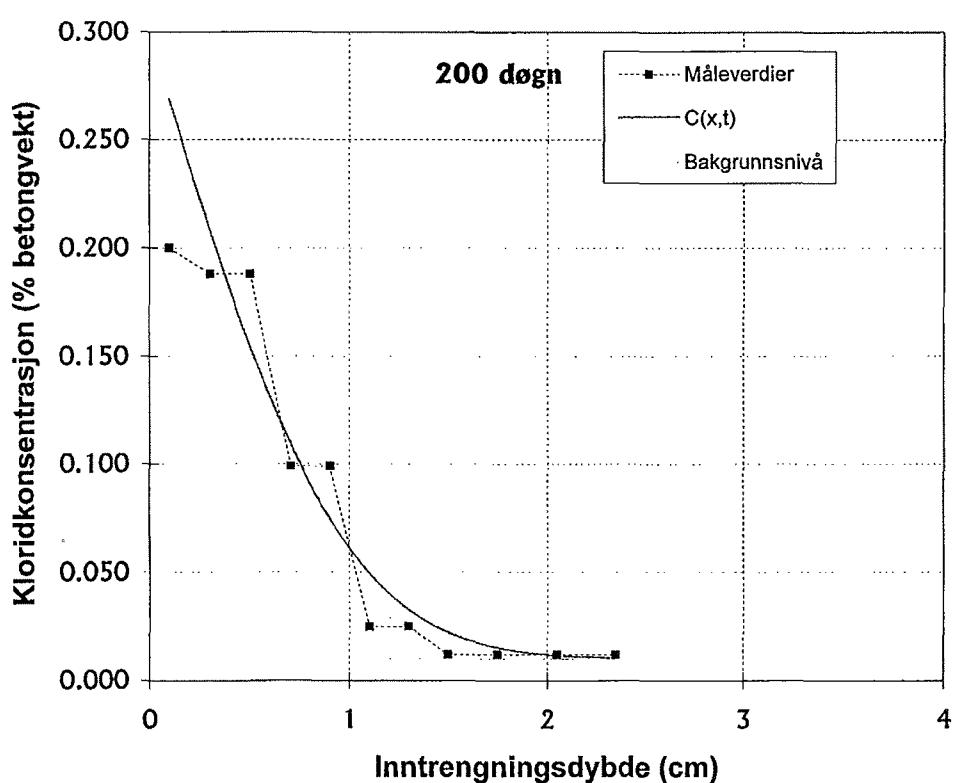
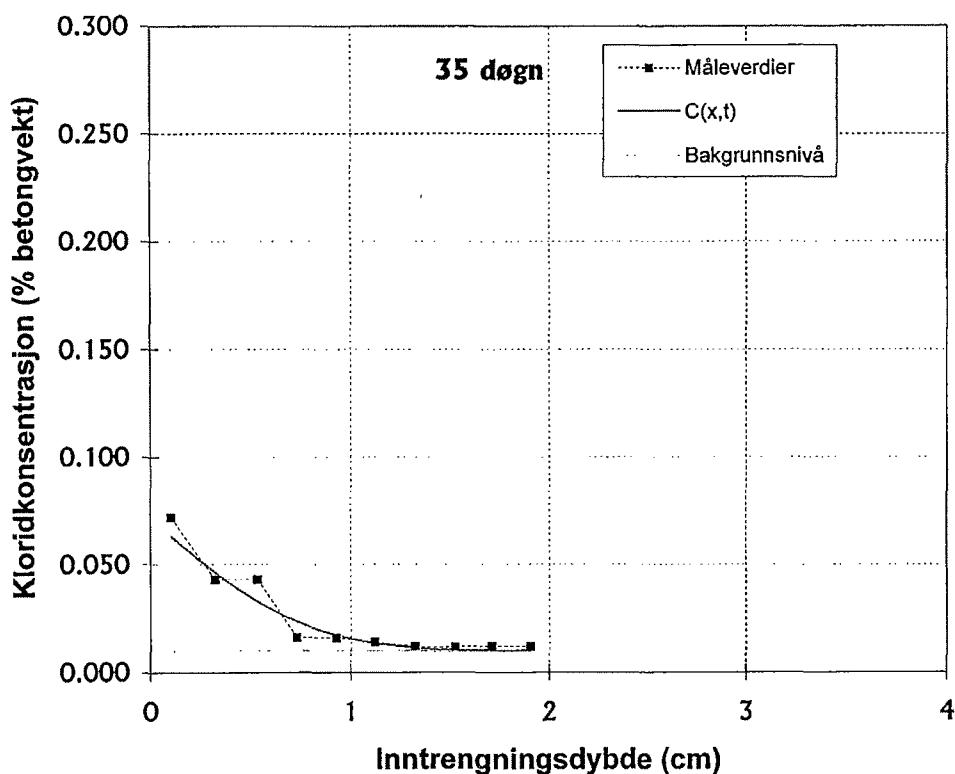
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 7 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



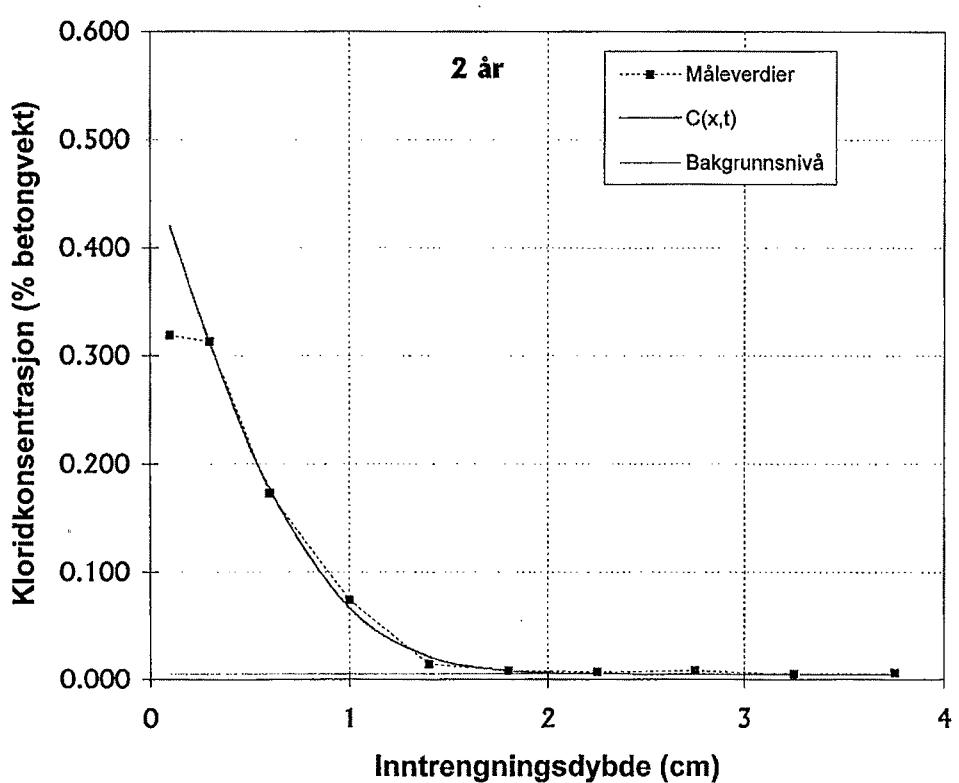
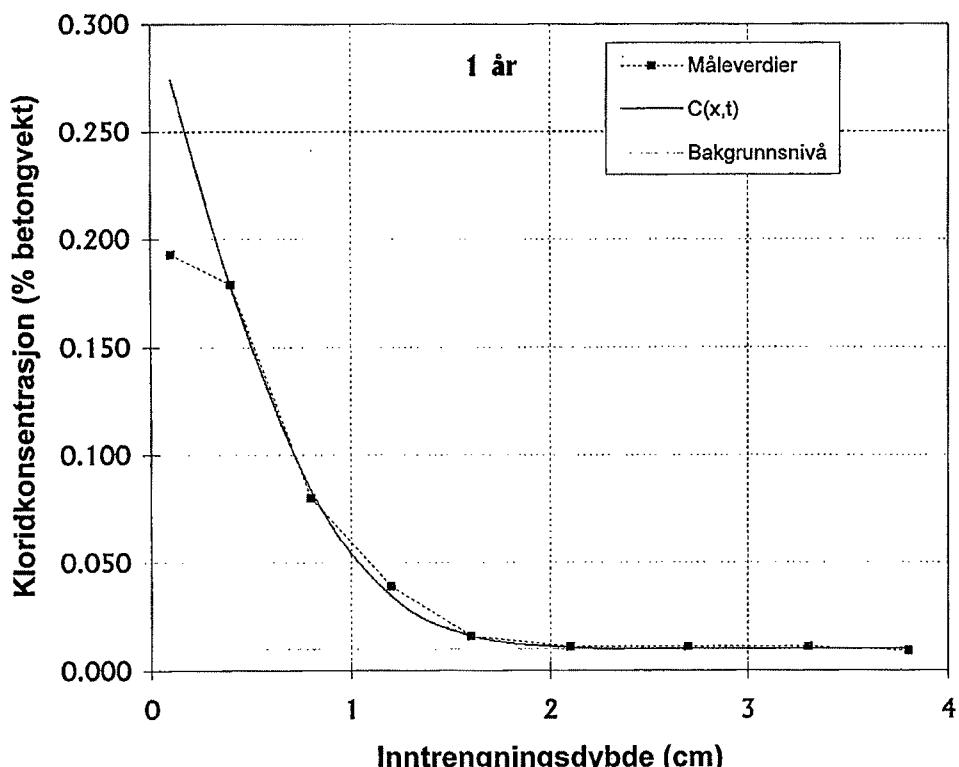
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 7 ved henholdsvis 1 og 2 år.



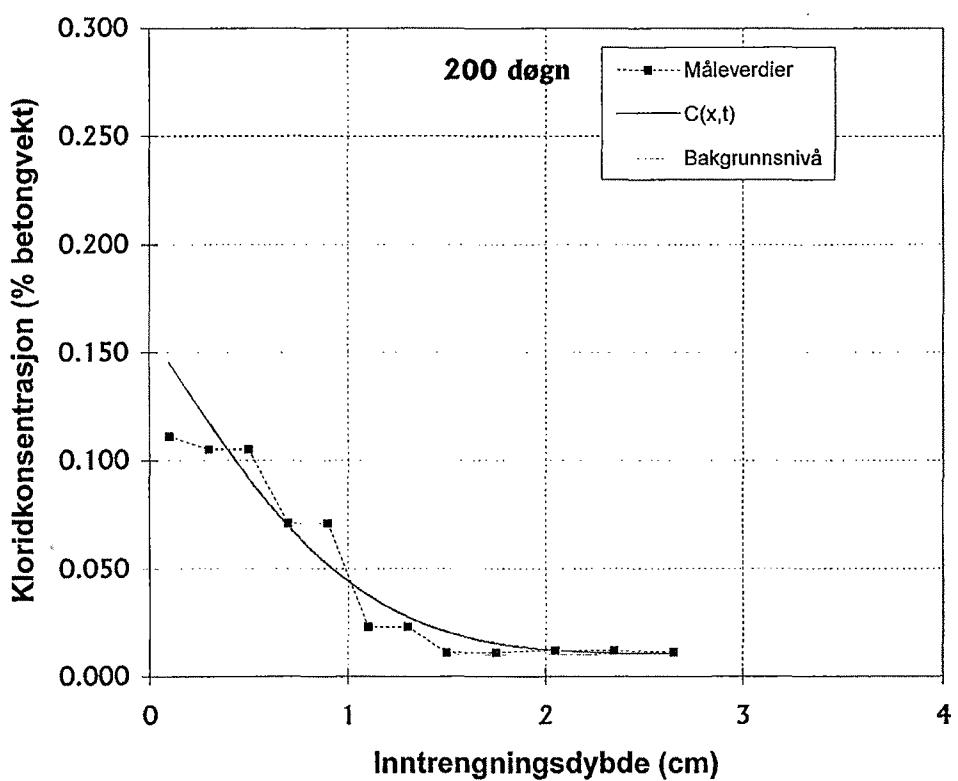
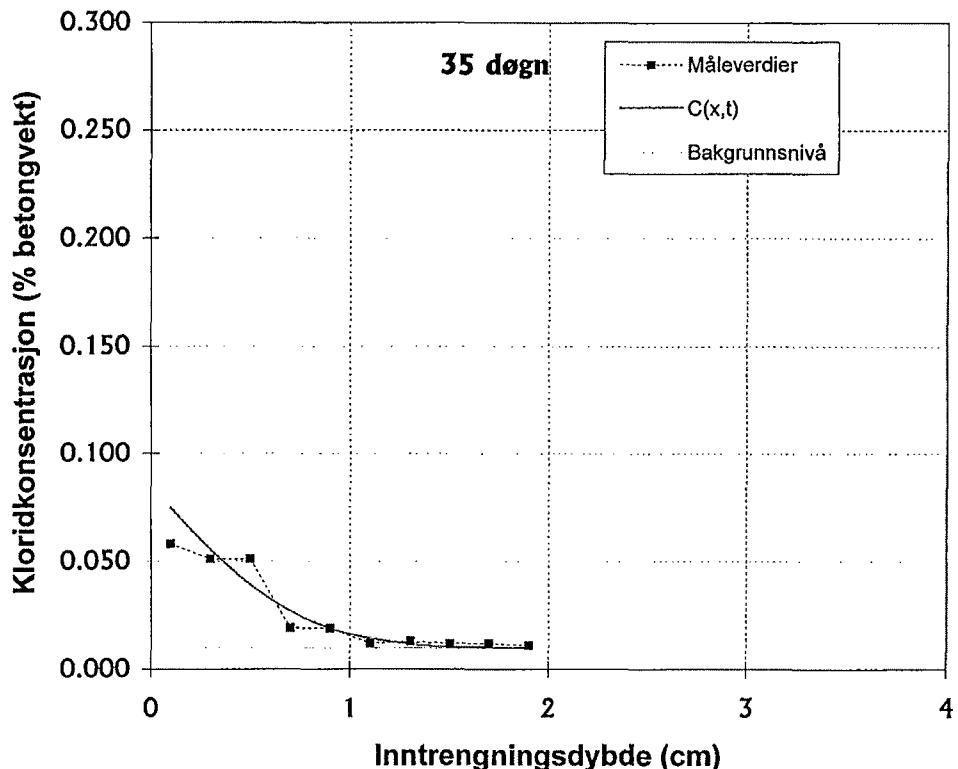
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 8 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



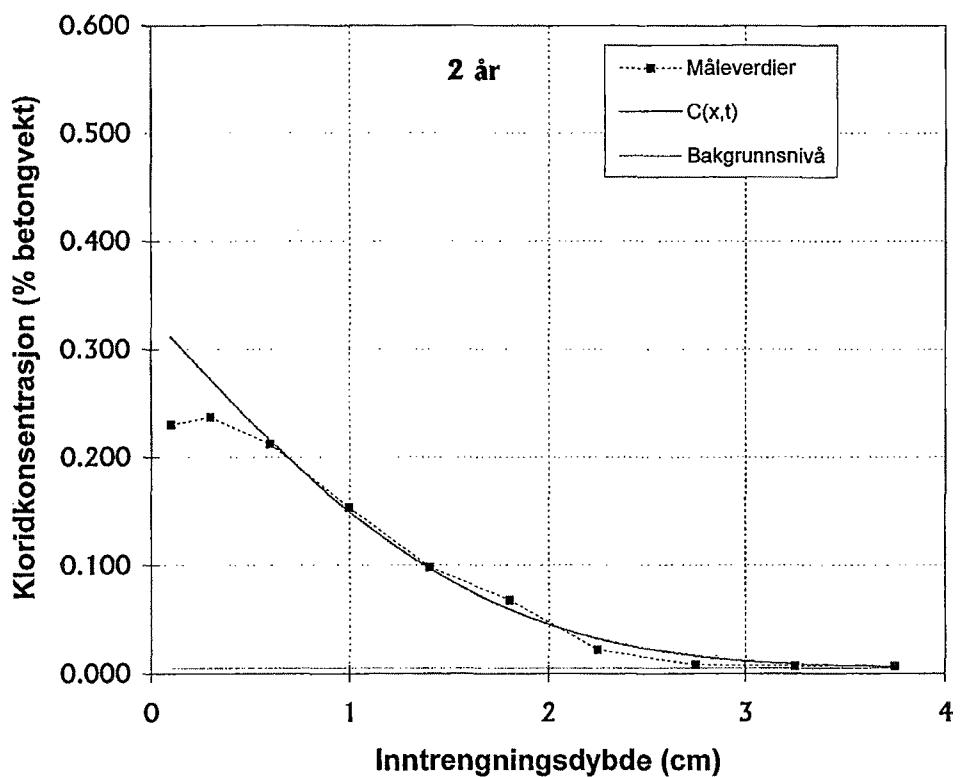
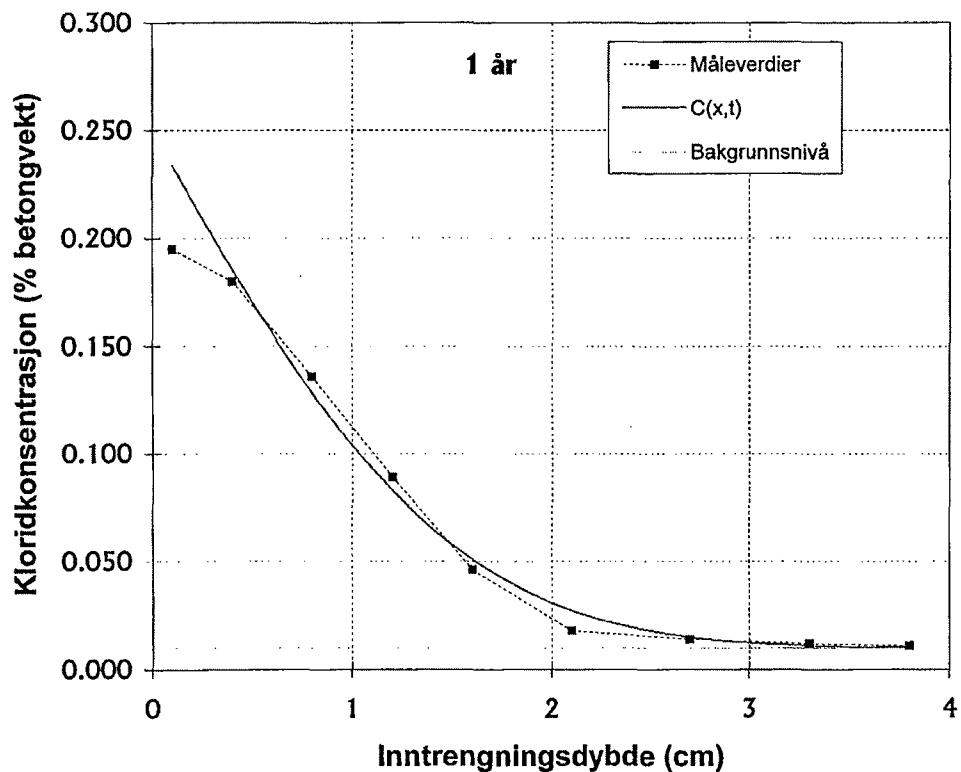
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 8 ved henholdsvis 1 og 2 år.



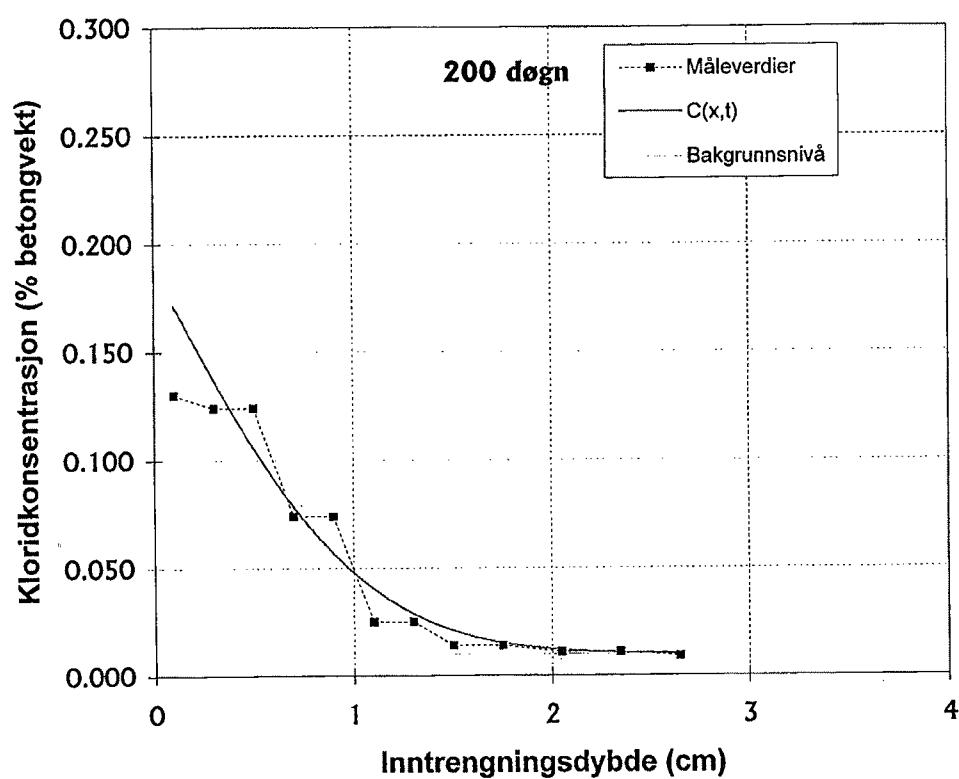
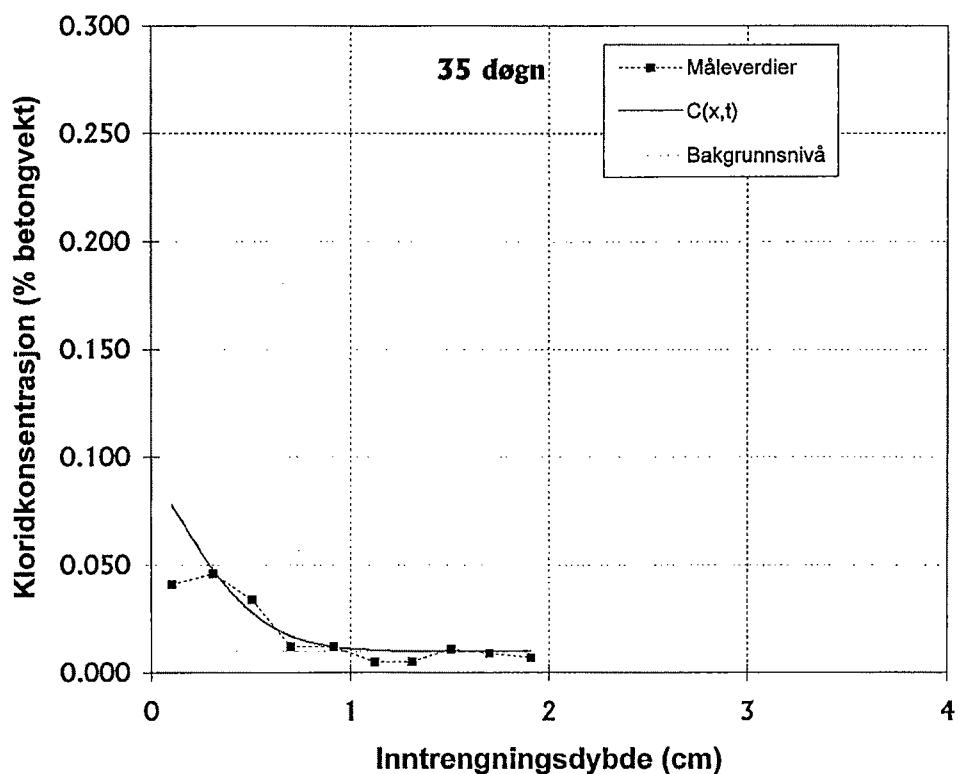
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 9 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



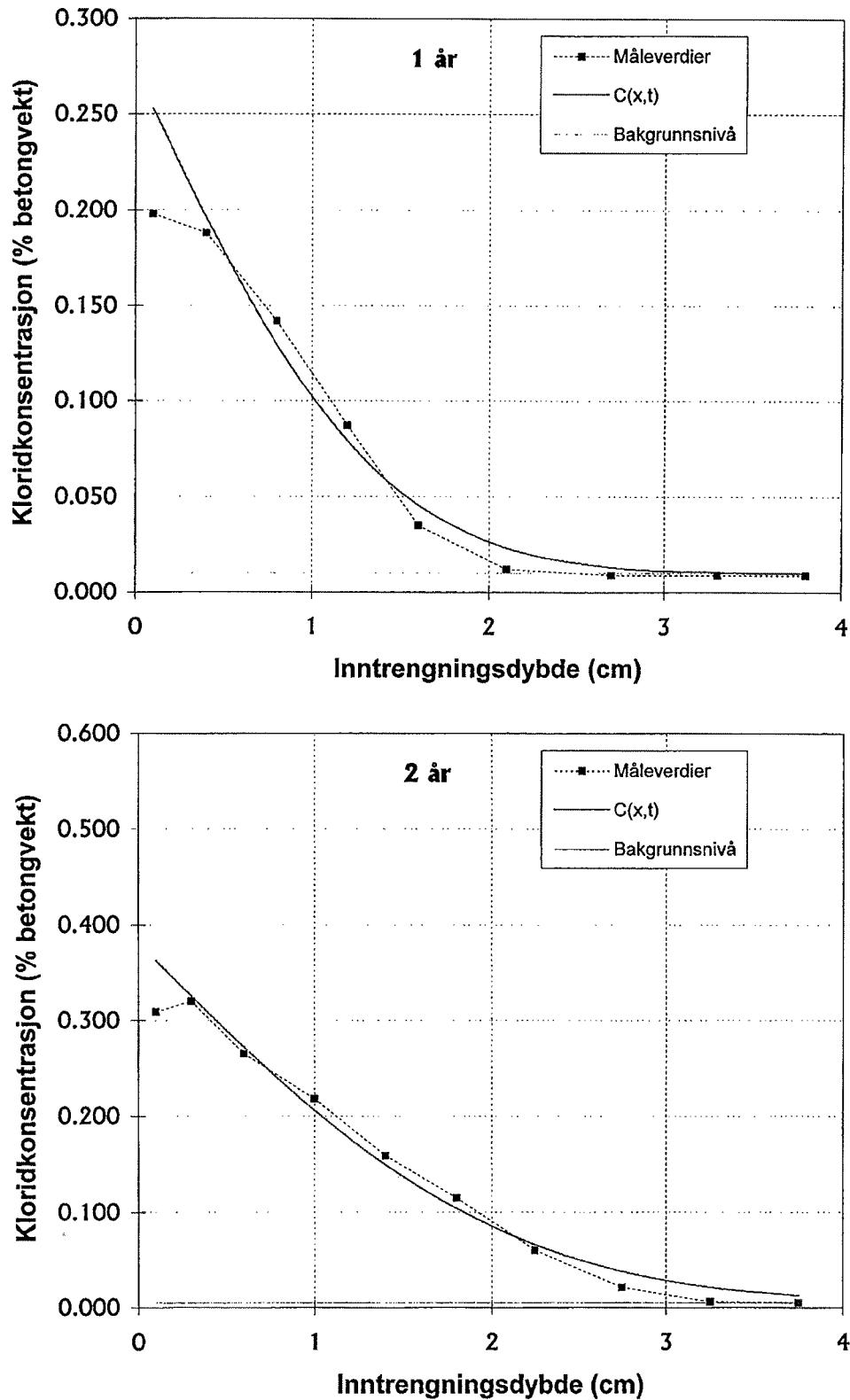
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 9 ved henholdsvis 1 og 2 år.



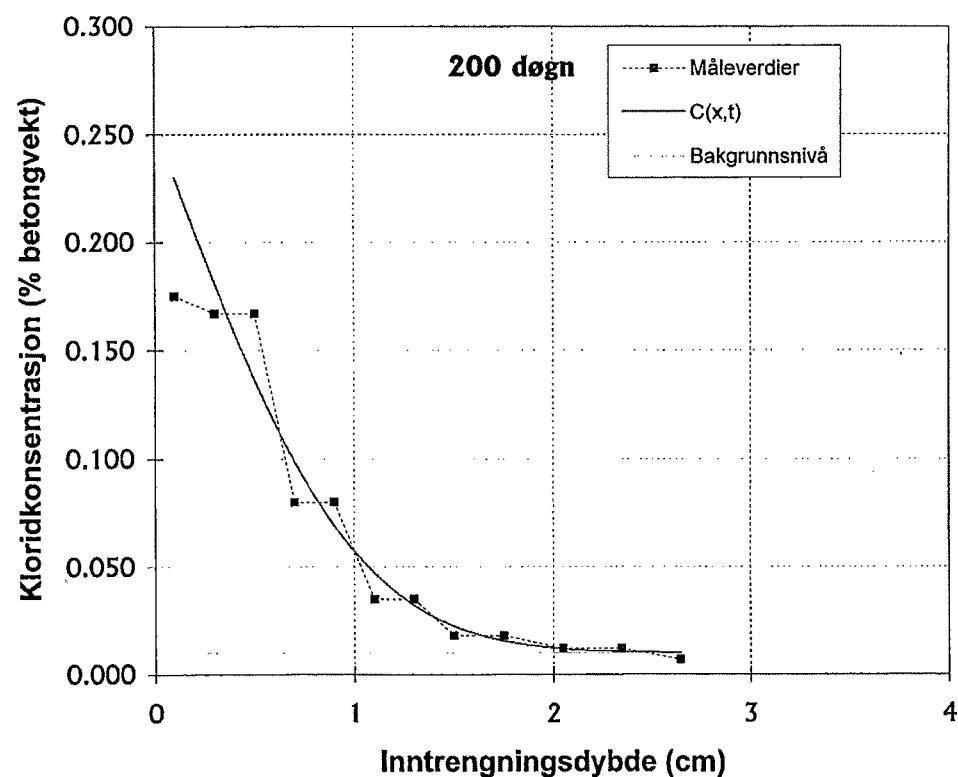
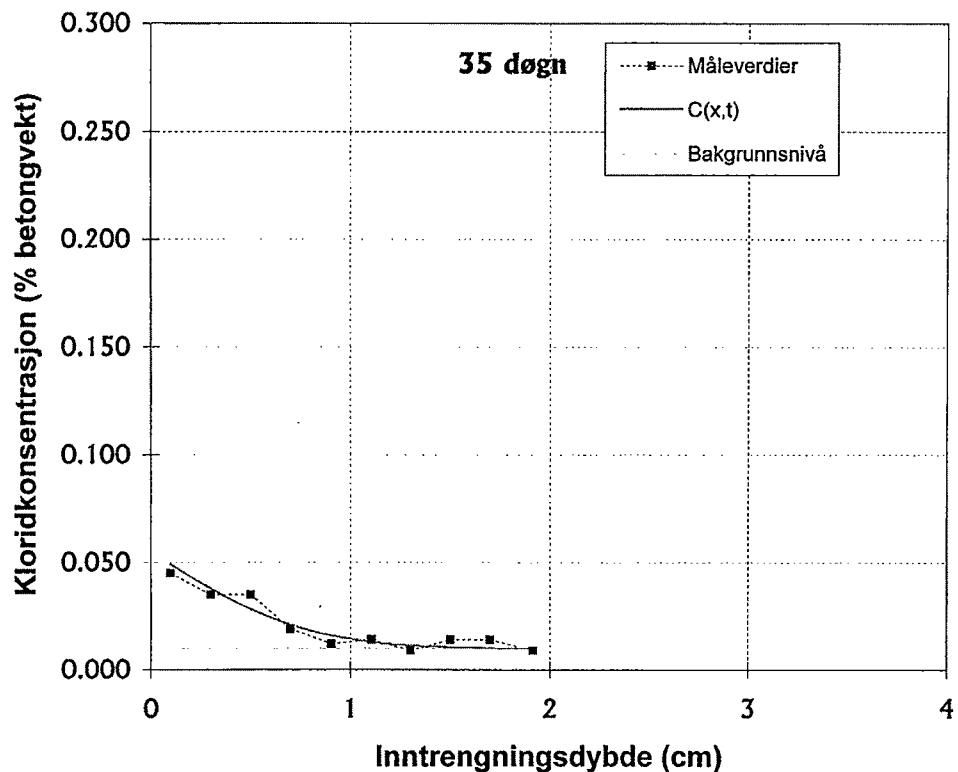
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 10 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



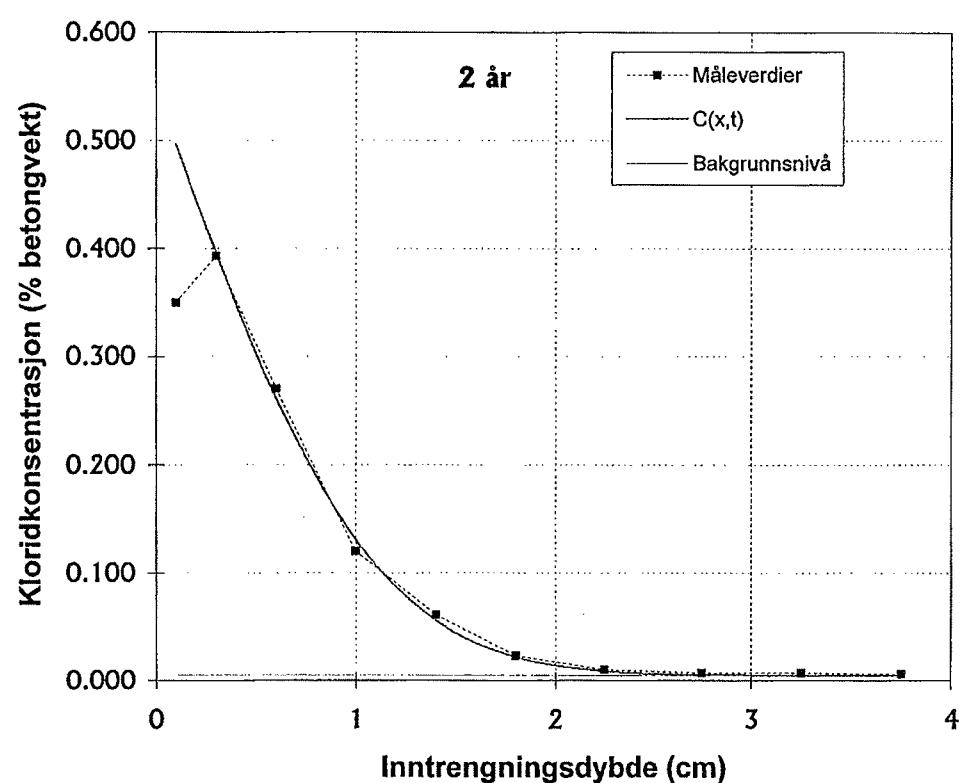
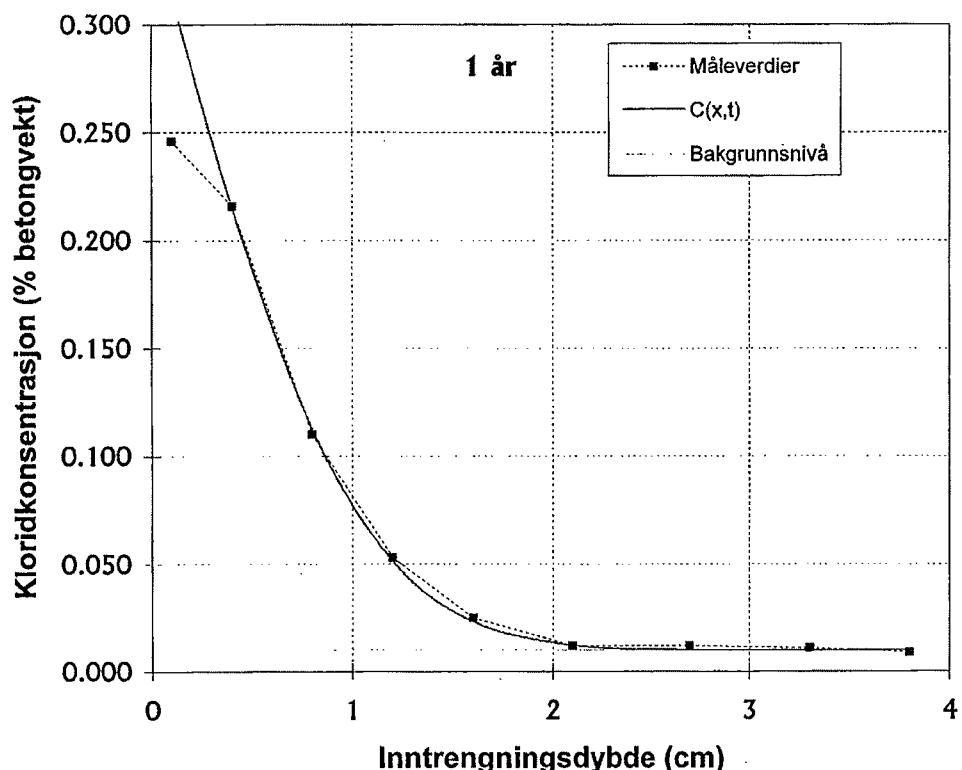
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 10 ved henholdsvis 1 og 2 år.



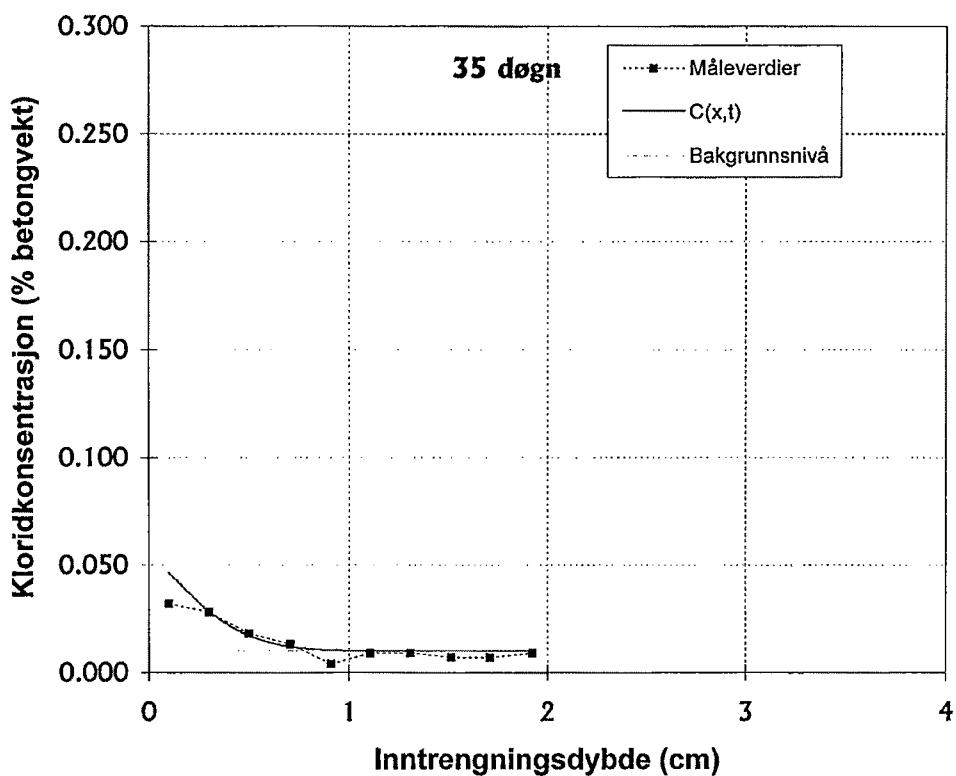
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 11 ved henholdsvis 35 og 200 døgn.



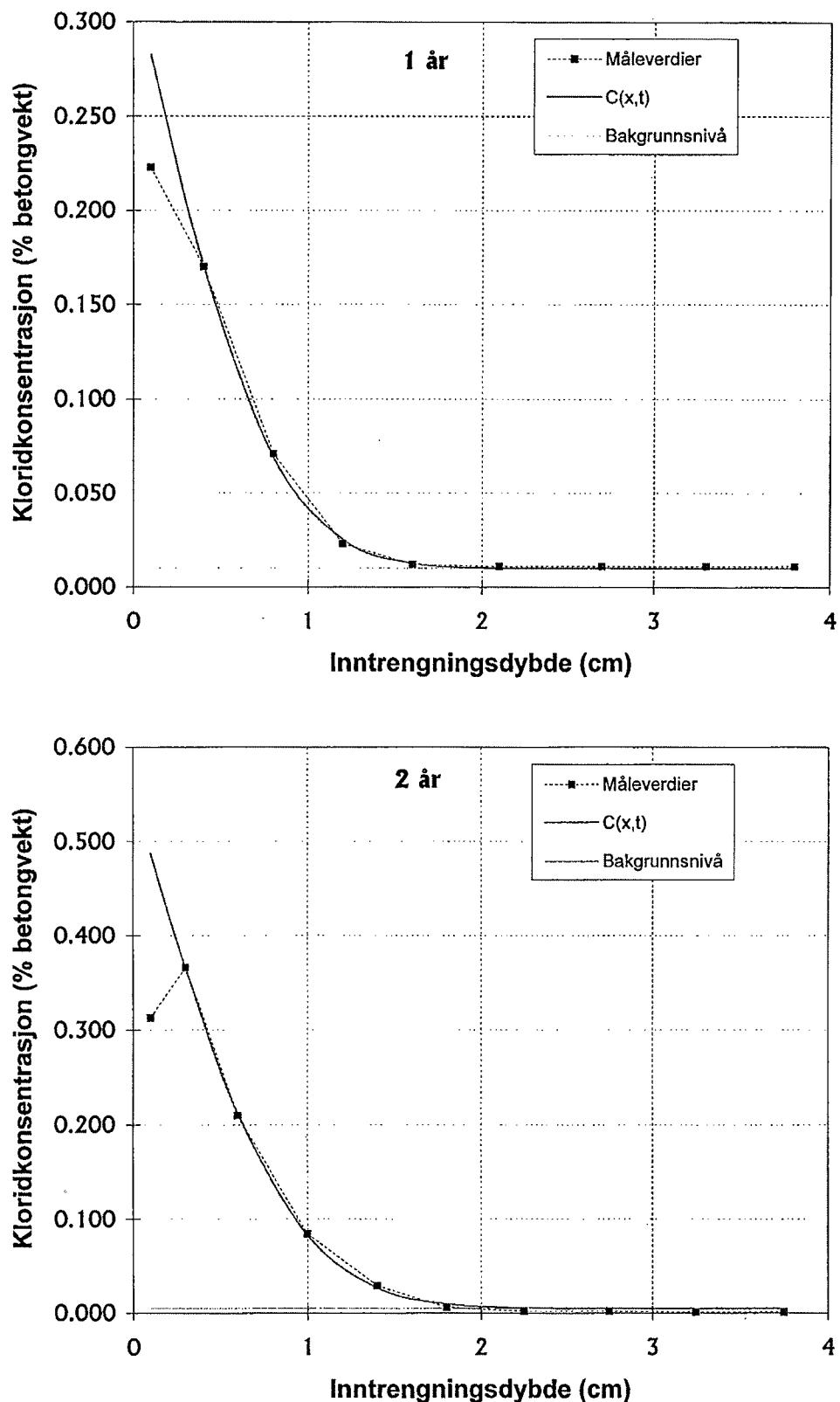
VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 11 ved henholdsvis 1 og 2 år.



VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 12 ved 35 døgn.



VEDLEGG E: Målte og beregnede kloridprofiler (% Cl<sup>-</sup> av betongvekt) for Bl. 12 ved henholdsvis 1 og 2 år.



**VEDLEGG A2:**

**SINTEF prøvingsrapport 70111/1 (Betongblanding-  
materialsammensetning og data for fersk betong)**



**SINTEF**

**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7034 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAAGSGIVER

**RESSURSVENNIG KVALITETS BETONG**  
**DP BESTANDIGHET/Kloridinnutrenging**

BESTILLING / OPPDRAAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

OPPDRAAGETS ART

**Del 1**

**Betongblanding - materialsammensetning og data for fersk betong**

ARKIVKODE	GRADERING		
	Fortrolig	<i>Per Arne Dahl</i>	RAPPORTNUMMER 70100/1
ELEKTRONISK ARKIVKODE pro/22m017/07/70100-1	DATO 1999-01-13	SAKSBEARBEIDER Ola Skjølvold	ANT SIDER/VEDLEGG 3 + 1

## 1 DELMATERIALER

I perioden 1997-11-18 til 1998-01-07 ble det utført 12 blandinger med følgende delmaterialer:

- Sementer fra Norcem som ankom SINTEF 1996-09-13

- Anleggsement mrk "ANL EG02 3/6-96"
- Standardsement FA mrk "Ai 01 ST.FA 14/4-97"
- Standardsement mrk "STD.BP 02 24/4-97"
- Industrisement mrk "CZ2 21/2-96 RILEM"

- Flygeasker innsendt fra Norcem som ankom SINTEF 1996-09-13 mrk:

- "Finmalt F.A 624 m<sup>2</sup>/kg"
- "Umalte F.A"
- "Finmalt F.A 1010 m<sup>2</sup>/kg"

- Ukompaert silikastøv produsert av Ila Lilleby fra SINTEFs beholdning

- Tilslag produsert av NorStone Årdal fra SINTEFs beholdning

- 0-8 mm sand
- 2-8 mm delvis knust singel

- Tilsetningsstoffer fra SINTEFs beholdning

- Scancem P (tilsatt som 10%-løsning)
- Mighty 150 (tilsatt konsentrert)
- Betokem Demper (tilsatt som 5%-løsning)

## 2 BETONGBLANDINGER

Med de foreliggende delmaterialer ble det utført 12 betongblandingar. Materialsammensetningen er gjengitt i Tabell 1. Gradering for anvendt tilslag er gjengitt i Vedlegg 1.

Blandingene ble utført i 50 l Eirich tvangsblander etter følgende blandeprosedyre

- forblanding av cement og evt flygeaske/silikastøv
- 1 min tørrblanding av cement/flygeaske/silikastøv og tilslag
- 0,5 min blanding ved tilsetning av halvparten av blandevannet samt fortynnet Scancem P og Betokem Demper
- 1 min blanding ved tilsetning av resterende blandevann
- 0,5 min blanding
- 2 min henstillingstid
- 2 min blanding ved tilsetning av Mighty 150 til korrekt konsistens

Umiddelbart etter avsluttet blanding ble det foretatt bestemmelse av synkmål (NS3662), luftinnhold (NS3659) og densitet (NS3660). Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

**Tabell 1 Materialsammsensetning**

Blanding nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsement	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 624				37	74	128						
	U malt							73					
	Finmalt 1010								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>												~	16
Tilslag kg/m <sup>3</sup>	0-8 mm sand <sup>1)</sup>	1096	1083	1097	1074	1078	1069	1074	1074	1078	1082	1062	1048
	2-8 mm singel <sup>1)</sup>	730	720	729	714	717	711	714	714	717	720	706	698
Vann <sup>2)</sup> , kg/m <sup>3</sup>	168	166	168	164	165	164	164	164	165	167	162	160	
Scancem P, kg/m <sup>3</sup>	2,0	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,1	2,1
Betokem Demper, kg/m <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mighty 150, kg/m <sup>3</sup>	2,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,1	2,4	3,0	3,0	4,3	3,8	3,5	
v/b(c+s+fa) <sup>2)</sup>	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
Synkmål, mm	150	150	150	135	150	120	100	130	100	125	190	120	
Luftinnhold, %	3,3	3,7	3,3	4,8	4,4	4,5	3,9	4,2	5,1	4,8	4,1	5,5	
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	2370	2340	2370	2320	2330	2310	2320	2320	2330	2340	2340	2310	

1) Inkl. 0,8 % absorbert vann

2) Inkl. vann i tilsetningsstoffer, men eks. absorbert vann i tilslag

### 3 UTSTØPTE PRØVESTYKKER

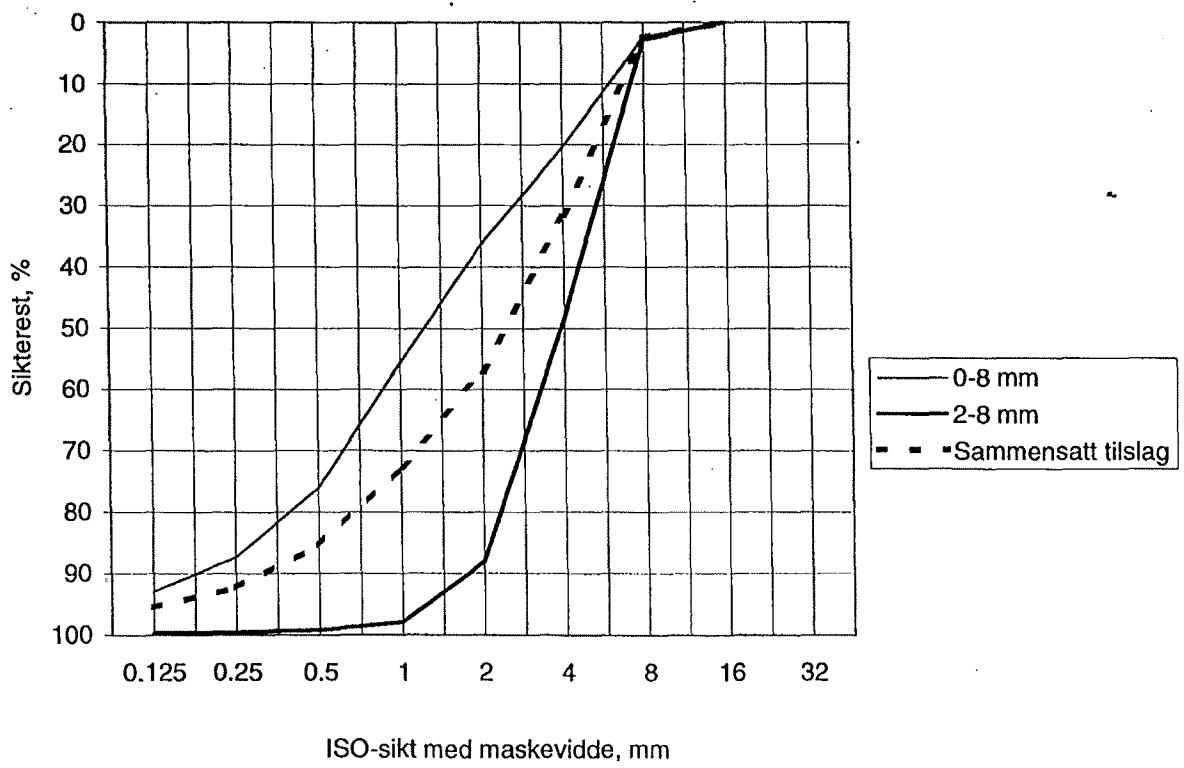
Fra hver blanding ble det utstøpt:

- 3 stk 100 mm terninger for bestemmelse av trykkfasthet
- 1 stk 100 mm terning for måling av elektrisk motstandsevne
- 1 stk 100 mm terning for bestemmelse av porøsitet ved kvikksølvporøsiometri
- 3 stk 100/200 mm sylinder for akselerert kloridinntrenging ved påsprøyting/neddykking
- 12 stk 100/200 mm sylinder for feltekspонering i sjøvann
- 1 stk 100/200 mm cylinder for akselerert kloridinntrenging ved migrasjon
- 6 stk 40/40/160 mm prismaer for evt desorpsjons-/absorpsjonsforsøk

Utstøping og behandling av prøvestykkene fram til 28 døgns alder ble utført i henhold til NS3669.  
Videre behandling og prøving rapporteres separat i egne prøvingsrapporter (70100/2 - 70100/11).

## TILSLAGSGRADERING

Vårt merke	Sikterest i % på sikt maskevidde, mm										
	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32		
1: 0-8 mm Årdal	92.9	87.3	76.1	55.7	36.3	20.5	2.4	0			
2: 2-8 mm Årdal	99.6	99.5	99.2	97.9	88.1	48.3	2.8	0			
Sammensatt tilslag: 60 % nr 1 + 40 % nr 2	95.5	92.2	85.4	72.6	57.0	31.6	2.5	0			



**VEDLEGG A3: SINTEF prøvingsrapport 70100/2 (Bestemmelse av 28 døgns  
trykkfasthet for herdnet betong)**



**SINTEF**

**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7034 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAUGSGIVER

## RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG DP BESTANDIGHET / Kloridinntrenging

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

OPPDRAUGETS ART

### Del 2

#### Bestemmelse av 28 døgns trykkfasthet for herdnet betong

ARKIVKODE	GRADERING		
	Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE		FAGLIG ANSVARLIG	RAPPORTNUMMER
pro/22m017/07/70100-2		Per Arne Dahl	70100/2
PROSJEKTNR	DATO	SAKSBEARBEIDER	ANT SIDER/VEDLEGG
22M017.07	2003-01-23	Ola Skjølvold	1

Data for materialsammensetning, prøving av fersk betong og utstøping av prøvestykker er gjengitt i prøvingsrapport 70100/1.

Fra hver av 12 blandinger ble det utstøpt 3 stk 100 mm terninger for bestemmelse av 28 døgns trykkfasthet i henhold til NS3668. Støping og lagring av terningene ble utført i henhold til NS3669. Resultatene er gjengitt i Tabell 1 - 3.

**Tabell 1 Prøvingsresultater for blanding 1-4**

Blanding		1	2	3	4
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	enkeltres	2420-2410-2400	2370-2380-2380	2420-2400-2410	2370-2380-2380
	middel	2410	2380	2410	2380
Trykkfasthet, MPa	enkeltres	64,4-64,3-66,7	49,8-50,5-50,1	57,5-58,8-58,1	54,8-55,4-55,2
	middel	65,1	50,1	58,1	55,1

**Tabell 2 Prøvingsresultater for blanding 5-8**

Blanding		5	6	7	8
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	enkeltres	2370-2370-2370	2380-2370-2370	2380-2400-2380	2380-2380-2380
	middel	2370	2370	2390	2380
Trykkfasthet, MPa	enkeltres	54,1-55,8-55,0	51,6-52,1-53,4	52,5-53,5-52,9	56,7-58,4-58,5
	middel	55,0	52,4	53,0	57,9

**Tabell 3 Prøvingsresultater for blanding 9-12**

Blanding		9	10	11	12
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	enkeltres	2400-2390-2400	2400-2400-2400	2390-2400-2400	2390-2390-2390
	middel	2400	2400	2400	2390
Trykkfasthet, MPa	enkeltres	53,3-54,2-53,5	62,0-62,0-61,8	58,3-58,5-56,9	67,5-68,3-67,4
	middel	53,7	61,9	57,9	67,7

**Vedlegg A4: SINTEF rapport SFT22 F00730 (feltforsøk på Østmarkneset-vurdering av resultatene fram til 2 års eksponering)**

STF22 F00730

Gradering: Fortrolig

T

R

O

P

P

A

R

## **RESSURSVENNLIG KVALITETSBETONG**

**Feltforsøk på Østmarkneset - vurdering av  
resultatene fram til 2 års eksponering**

**Sement og betong  
2000-11-19**



**SINTEF**



**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# SINTEF RAPPORT

TITTEL

**RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG  
DP BESTANDIGHET/Kloridinntrenging  
Feltforsøk på Østmarkneset – vurdering av resultatene fram til  
2 års eksponering**

FORFATTER(E)

Ola Skjølvold

OPPDRAKGIVER(E)

Norcem FoU

RAPPORTNR.	GRADERING	OPPDRAKGIVERS REF.	
STF22 F00730	Fortrolig	Terje Rønning / Knut Kjellsen	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN	PROSJEKTNR.	ANTALL SIDER OG BILAG
Fortrolig		22M129.00	26
ELEKTRONISK ARKIVKODE	I:\PRO\22M129\STF22 F00730	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
ARKIVKODE	DATO	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)	
	2000-11-19	Einar Aassved Hansen, forskningssjef	

SAMMENDRAG

Rapporten gir en sammenstilling og vurdering av kloridinntrengingen for 12 betongvarianter fram til og med 2 års eksponering i felt.

Betonen som inngår i forsøksprogrammet, i alt 12 varianter, hadde ulik pastasammensetning. To av blandingene hadde v/b = 0,40, mens de øvrige hadde v/b = 0,45. Av de 12 variantene var 4 med ren portlandsement. De øvrige inneholdt flygeaske, enten i form av flygeaskesement eller som tilsetning ved blanding. Prøvestykkene ble eksponert 28 døgn etter støping. Måling av kloridinntrengingen ble utført etter hhv 35 og 200 døgn samt 1 og 2 års eksponering.

Resultatene viser en tydelig reduksjon av kloridinntrengingen for betongvarianter med flygeaske. De 4 variantene med ren portlandsement har alle større kloridinntrenging enn alle variantene med flygeaske. Mengde tilsatt flygeaske har større betydning for kloridinntrengingen enn flygeaskas finhet.

Rangeringen av betongvariantene er den samme som det som ble oppnådd ved prøving av velherdet betong fra de samme variantene i laboratoriet, men forskjellene ved feltpøringen er ikke så tydelige som ved laboratorieprøvingen.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Materialteknologi	Materials Technology
GRUPPE 2	Betong	Concrete
EGENVALGTE	Flygeaske	Fly Ash
	Kloridinntrenging	Chloride Penetration
	Feltekspionering	Field exposure

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>INNLEDNING.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>FORSØKSPROGRAM .....</b>	<b>3</b>
2.1	Betongblandinger .....	3
2.2	Prøvestykker.....	3
2.3	Eksponering.....	4
2.4	Prøving .....	4
2.5	Beregninger .....	4
<b>3</b>	<b>VURDERING AV RESULTATENE .....</b>	<b>9</b>
3.1	Prøvingsomfang.....	9
3.2	Støpehud kontra sagflate .....	9
3.3	Eksponeringstid.....	9
3.4	Bindemiddel .....	9
3.5	Økende flygeasketilsetning .....	13
3.6	Finmalingsgrad for flygeaske.....	13
3.7	Silikastøv .....	13
<b>4</b>	<b>KONKLUSJONER.....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>13</b>

## 1 INNLEDNING

NORCEM A.S innførte i 1995 en flygeaskesement med betegnelse Norcem Standardsement FA. Samtidig ble de andre konstruksjonssegmentene justert og/eller gitt nye navn: Norcem Standardsement, Norcem Anleggsement og en hurtig Norcem Industrisement. En del av NORCEM's dokumentasjonsarbeid er organisert og utføres innenfor prosjektet "RESSURSVENNIG KVALITETSBETONG", et brukerstyrt forskningsprogram under Norges Forskningsråd med varighet fra 1996 og ut 1998.

Denne rapporten presenterer resultater fra feltekspionering av ulike betongvarianter i sjøvann i 2 år. Hovedvariable har vært tilsetning av varierende mengder og typer flygeaske, totalt 12 blandinger. Betongen ble utstøpt ved SINTEF ved årsskiftet 1997/1998, og prøvene ble utplassert i tidevannssonen på Østmarkneset i Trondheimsfjorden på nyåret i 1998. Det er foretatt bestemmelse av kloridprofiler etter 35 og 200 døgn samt 1 og 2 års eksponering. Resultatene er rapportert i SINTEF prøvingsrapporter.

## 2 FORSØKSPROGRAM

### 2.1 Betongblanding

Det ble utført 12 stk betongblanding. Data vedrørende delmaterialer, materialsammensetning, blandeprosedyre og resultater fra prøving av fersk betong er gjengitt i SINTEF prøvingsrapport nr 70100/1. Det ble benyttet ulike sement- og flygeasketyper og forskjellig sammensetning av disse. Sammensetningen av pastaen for de ulike blandingene er gjengitt i Tabell 1.

**Tabell 1 Pastasammensetning**

Blanding nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsement	374		94	83	74	59	73	73			
	Standard. FA		369								407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369		
	Industrisement									369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 624				37	74	128					
	Umalte							73				
	Finmalt 1010								73			
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>												16
v/b	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40

### 2.2 Prøvestykker

Fra hver blanding ble det støpt ut 12 stk Ø100/200 mm sylinder. Etter 23 døgns vannlagring ble sylinderne delt på tvers på midten, og alle prøvestykene (24 stk pr blanding) ble forseglet med epoksy på sideflatene slik at det totalt ble eksponert 48 flater pr blanding. Halvparten av de eksponerte flatene var "støpehud" (topp og bunn fra utstøpte sylinder), mens den andre halvparten var sagflater.

## 2.3 Eksponering

Prøvestykkene ble plassert i trekasser i tidevannssonen på Østmarkneset. Kassene hadde åpninger på alle sider slik at sjøvannet fritt kunne strømme inn og ut av kassene. Alle prøvestykkene ble eksponert ved 28 døgn alder. Det ble tatt ut prøver for bestemmelse av kloridinntrenging etter eksponering i hhv 35 og 200 døgn samt 1 og 2 år.

## 2.4 Prøving

Ved hver prøvealder ble det foretatt bestemmelse av kloridprofil for 2 flater med støpehud og 2 sagflater for hver av de 12 blandingene. Kloridprofilene ble bestemt ved fresing av tynne sjikt og bestemmelse av kloridinnhold for hvert sjikt. Resultatene er gjengitt i SINTEF prøvingsrapporter nr 70100/5, 70100/6, 70100/7 og 70100/8.

Samleplott som viser kloridprofiler alle prøvealder for hver blanding er gjengitt i VEDLEGG 1.

## 2.5 Beregninger

På grunnlag av målte kloridprofiler er det foretatt beregning av

- |  |                        |
|--|------------------------|
| - overflatekonsentrasjon, $C_0$                          | (% av tørr betongvekt) |
| - effektiv diffusjonskoeffisient, $D_{Cl}$               | ( $m^2/s$ )            |
| - total kloridinntrenging, $Cl_{tot}$                    | ( $g/m^2$ )            |
| - beregnet dybde for kloridinnhold 0,1 % etter 1 år, $k$ | (mm)                   |

Beregningene ble foretatt med Excel regneark "Cl-solv.xls" versjon av 1998-06-30. Resultatene er gjengitt i Tabell 2-5. Korrelasjonskoeffisienten ( $R^2$ ), som viser hvor godt den beregnede kurven passer til det målte profilet, er også tatt med i tabellene.

**Tabell 2 Resultater, beregnede verdier og middelverdier etter 35 døgns eksponering**

Bl	Eks. flate	Pr. nr	R <sup>2</sup>	C <sub>0</sub> (% av betong)		D (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)		Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )		k (mm)	
				Bereg	Middel	Bereg	Middel	Bereg	Middel	Bereg	Middel
1 Anl	Støpehud	1A	0,9931	0,544	0,44	5,66	5,5	74,4	61	25,1	22
		1B	0,9890	0,339		5,25		46,8		19,1	
2 Std FA	Sagflate	1A	0,9828	0,393	0,44	6,93	7,3	59,5	66	23,8	26
		1B	0,9865	0,480		7,60		71,6		27,6	
3 Std/Anl	Støpehud	32A	0,9861	0,293	0,32	8,14	8,5	44,6	49	21,5	23
		32B	0,9841	0,340		8,89		54,1		24,8	
4 Std/Anl FA 624	Sagflate	32A	0,9943	0,538	0,56	7,72	7,3	79,4	84	29,2	29
		32B	0,9978	0,583		6,81		87,6		28,3	
5 Std/Anl FA 624	Støpehud	41A	0,9807	0,330	0,40	9,87	8,5	59,0	70	25,6	26
		41B	0,9837	0,470		7,13		80,4		26,4	
6 Std/Anl FA 624	Sagflate	41A	0,9877	0,538	0,51	7,72	10,2	84,5	87	29,2	33
		41B	0,9706	0,484		12,7		89,3		35,7	
7 Std/Anl FA umalt	Støpehud	72A	0,9771	0,255	0,37	17,5	13,0	51,5	63	28,4	29
		72B	0,9982	0,486		6,14		74,2		24,9	
8 Std/Anl FA 1010	Sagflate	72A	0,9771	0,550	0,52	6,77	6,5	78,8	77	27,5	26
		72B	0,9842	0,481		8,49		73,7		29,2	
9 Std	Støpehud	81A	0,9944	0,483	0,51	7,95	6,9	82,3	81	28,2	27
		81B	0,9919	0,543		5,89		78,9		25,6	
10 Ind	Sagflate	81A	0,9966	0,558	0,57	8,21	8,1	86,5	85	30,6	31
		81B	0,9907	0,571		8,00		83,5		30,4	
11 Std FA 0,4	Støpehud	112A	0,9865	0,279	0,32	10,5	9,2	43,5	48	23,5	24
		112B	0,9903	0,358		7,93		53,0		24,1	
12 Std FA silika 0,4	Sagflate	112A	0,9950	0,409	0,42	5,96	6,9	60,3	59	22,6	24
		112B	0,9868	0,423		7,81		58,2		26,2	
7 Std/Anl FA umalt	Støpehud	121A	0,9973	0,330	0,35	6,58	7,8	56,4	60	20,9	23
		121B	0,9928	0,364		8,93		63,1		25,9	
8 Std/Anl FA 1010	Sagflate	121A	0,9988	0,415	0,45	5,42	5,8	52,6	59	21,7	23
		121B	0,9961	0,488		6,08		65,4		24,8	
9 Std	Støpehud	141A	0,9984	0,558	0,47	5,10	4,8	88,9	69	24,0	22
		141B	0,9967	0,389		4,40		48,2		18,9	
10 Ind	Sagflate	141A	0,9941	0,533	0,53	4,88	4,6	63,1	61	23,1	22
		141B	0,9974	0,522		4,27		59,7		21,3	
11 Std FA 0,4	Støpehud	172A	0,9899	0,398	0,40	7,46	7,0	62,6	61	24,9	24
		172B	0,9981	0,406		6,49		59,1		23,5	
12 Std FA silika 0,4	Sagflate	172A	0,9922	0,530	0,47	8,15	8,8	87,9	77	29,8	29
		172B	0,9873	0,417		9,48		66,3		28,6	
10 Ind	Støpehud	181A	0,9996	0,258	0,41	6,09	7,1	42,9	67	16,9	24
		181B	0,9975	0,554		8,08		91,9		30,2	
11 Std FA 0,4	Sagflate	181A	0,9948	0,497	0,46	8,13	8,1	75,5	69	28,9	28
		181B	0,9789	0,425		8,04		61,7		26,7	
11 Std FA 0,4	Støpehud	212A	0,9925	0,497	0,49	5,13	5,7	71,3	71	23,0	24
		212B	0,9879	0,483		6,34		71,0		25,2	
12 Std FA silika 0,4	Sagflate	212A	0,9965	0,541	0,53	6,90	6,7	75,0	73	27,6	27
		212B	0,9940	0,520		6,49		71,5		26,4	
12 Std FA silika 0,4	Støpehud	221A	0,9899	0,143	0,13	2,85	3,9	19,1	19	5,2	5
		221B	0,9785	0,125		4,98		18,3		4,5	
	Sagflate	221A	0,9867	0,493	0,52	4,45	4,1	66,6	63	21,3	21
		221B	0,9997	0,538		3,74		58,7		20,3	

**Tabell 3 Resultater, beregnede verdier og middelverdier etter 200 døgns eksponering**

<b>Bl</b>	<b>Eks. flate</b>	<b>Pr. nr</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C<sub>0</sub> (% av betong)</b>		<b>D (10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s)</b>		<b>Cl<sub>tot</sub> (g/m<sup>2</sup>)</b>		<b>k (mm)</b>	
				Bereg	Middel	Bereg	Middel	Bereg	Middel	Bereg	Middel
1 Anl	Støpehud	2A 2B	0,9293 0,9800	0,354 0,328	0,34	6,45 5,59	6,0	116,6 104,2	110	21,7 19,3	21
	Sagflate	2A 2B	0,9718 0,9780	0,565 0,497	0,53	5,87 6,47	6,2	159,2 150,8	155	25,9 25,8	26
2 Std FA	Støpehud	31A 31B	0,9882 0,9873	0,353 0,489	0,42	4,10 4,20	4,2	93,9 132,1	113	17,3 20,6	19
	Sagflate	31A 31B	0,9813 0,9901	0,601 0,616	0,61	5,79 5,68	5,7	168,5 172,7	171	26,4 26,4	26
3 Std/Anl	Støpehud	42A 42B	0,9582 0,9826	0,383 0,406	0,40	5,98 4,92	5,5	128,4 119,3	124	21,8 20,4	21
	Sagflate	42A 42B	0,9818 0,9710	0,573 0,588	0,58	6,64 7,48	7,1	177,6 188,1	183	27,7 29,8	29
4 Std/Anl FA 624	Støpehud	71A 71B	0,9699 0,9922	0,381 0,574	0,48	8,17 4,33	6,3	129,3 167,4	148	25,3 22,5	24
	Sagflate	71A 71B	0,9894 0,9862	0,655 0,540	0,60	4,22 5,72	5,0	164,0 157,1	161	23,4 25,2	24
5 Std/Anl FA 624	Støpehud	82A 82B	0,9609 0,9882	0,389 0,523	0,46	5,91 4,22	5,1	115,6 142,8	129	21,8 21,3	22
	Sagflate	82A 82B	0,9932 0,9879	0,545 0,571	0,56	4,41 4,53	4,5	150,0 160,3	155	22,2 22,9	23
6 Std/Anl FA 624	Støpehud	111A 111B	0,9815 0,9854	0,414 0,480	0,45	4,09 4,23	4,2	95,3 116,6	160	18,7 20,6	20
	Sagflate	111A 111B	0,9941 0,9929	0,631 0,598	0,62	2,88 3,60	3,2	131,7 134,3	133	19,0 20,8	20
7 Std/Anl FA umalt	Støpehud	122A 122B	0,9882 0,9956	0,356 0,636	0,50	3,62 3,74	3,7	93,3 162,8	128	16,3 21,7	19
	Sagflate	122A 122B	0,9954 0,9917	0,628 0,618	0,62	3,67 3,64	3,7	148,0 148,2	148	21,4 21,2	21
8 Std/Anl FA 1010	Støpehud	142A 142B	0,9957 0,9934	0,804 0,538	0,67	2,33 2,62	2,5	173,9 108,0	141	18,6 17,0	18
	Sagflate	142A 142B	0,9864 0,9964	0,726 0,740	0,73	2,41 2,24	2,3	139,5 140,3	140	18,3 17,8	18
9 Std	Støpehud	171A 171B	0,9744 0,9728	0,408 0,359	0,38	5,83 5,01	5,4	126,7 106,3	117	22,3 19,2	21
	Sagflate	171A 171B	0,9508 0,9701	0,416 0,481	0,45	5,55 8,08	6,8	115,6 158,0	137	22,0 28,3	25
10 Ind	Støpehud	182A 182B	0,9711 0,9820	0,474 0,463	0,47	4,88 4,90	4,9	138,1 140,7	140	22,0 21,7	22
	Sagflate	182A 182B	0,9637 0,9648	0,481 0,488	0,49	6,12 8,12	7,1	140,7 162,3	151	24,7 28,6	27
11 Std FA 0,4	Støpehud	211A 211B	0,9884 0,9847	0,504 0,556	0,53	3,93 4,11	4,0	132,7 148,5	141	20,3 21,5	21
	Sagflate	211A 211B	0,9855 0,9729	0,642 0,647	0,65	5,01 5,27	5,1	169,9 176,5	173	25,2 26,0	26
12 Std FA silika 0,4	Støpehud	222A 222B	0,9931 0,9809	0,226 0,262	0,24	1,22 0,76	1,0	43,7 35,3	40	6,8 6,1	7
	Sagflate	222A 222B	0,9940 0,9949	0,689 0,667	0,68	2,44 2,26	2,4	134,8 122,1	129	18,1 17,2	18

**Tabell 4 Resultater, beregnede verdier og middelverdier etter 1 års eksponering**

<b>Bl</b>	<b>Eks. flate</b>	<b>Pr. nr</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C<sub>0</sub> (% av betong)</b>		<b>D (10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s)</b>		<b>Cl<sub>tot</sub> (g/m<sup>2</sup>)</b>		<b>k (mm)</b>	
				Bereg	Middel	Bereg	Middel	Bereg	Middel	Bereg	Middel
1 Anl	Støpehud	3A 3B	0,9546 0,9607	0,395 0,367	0,38	4,85 4,00	4,4	154,0 125,5	140	19,9 17,4	19
	Sagflate	3A 3B	0,9759 0,9782	0,532 0,506	0,52	6,03 6,04	6,0	204,6 194,4	200	25,6 25,2	25
2 Std FA	Støpehud	30A 30B	0,9712 0,9837	0,427 0,634	0,53	3,46 4,12	3,8	138,6 215,3	177	17,6 22,8	20
	Sagflate	30A 30B	0,9871 0,9803	0,689 0,661	0,68	4,22 4,39	4,3	221,2 217,8	220	23,8 23,8	24
3 Std/Anl	Støpehud	43A 43B	0,9696 0,9789	0,309 0,507	0,41	4,87 4,90	4,9	121,8 189,5	156	17,4 22,7	20
	Sagflate	43A 43B	0,9788 0,9809	0,534 0,678	0,61	6,81 6,16	6,5	216,5 263,6	240	27,3 28,5	28
4 Std/Anl FA 624	Støpehud	70A 70B	0,9715 0,9835	0,490 0,444	0,47	4,41 3,98	4,2	173,8 157,1	166	21,2 19,2	20
	Sagflate	70A 70B	0,9778 0,9774	0,567 0,556	0,56	3,99 5,02	4,5	187,6 199,7	194	21,4 23,8	23
5 Std/Anl FA 624	Støpehud	83A 83B	0,9355 0,9843	0,413 0,710	0,56	4,74 2,79	3,8	138,0 204,1	171	20,2 19,6	20
	Sagflate	83A 83B	0,9867 0,9885	0,690 0,595	0,64	3,13 3,16	3,2	196,8 176,0	186	20,5 19,4	20
6 Std/Anl FA 624	Støpehud	110A 110B	0,9692 0,9760	0,426 0,540	0,48	2,90 2,73	2,8	101,1 137,7	119	16,1 17,4	17
	Sagflate	110A 110B	0,9838 0,9761	0,589 0,665	0,63	2,57 2,66	2,6	152,9 166,0	160	17,5 18,6	18
7 Std/Anl FA umalt	Støpehud	123A 123B	0,9942 0,9935	0,490 0,596	0,54	2,57 3,08	2,8	138,7 175,0	157	16,2 19,2	18
	Sagflate	123A 123B	0,9949 0,9927	0,729 0,696	0,71	3,30 3,29	3,3	213,8 203,0	208	21,4 21,0	21
8 Std/Anl FA 1010	Støpehud	143A 143B	0,9960 0,9876	0,617 0,596	0,61	2,20 2,06	2,1	172,3 137,4	155	16,4 15,8	16
	Sagflate	143A 143B	0,9925 0,9903	0,770 0,779	0,78	2,06 2,03	2,1	179,0 178,4	179	17,3 17,3	17
9 Std	Støpehud	170A 170B	0,9450 0,9717	0,425 0,395	0,41	6,78 4,99	5,9	176,2 150,0	163	24,5 20,2	22
	Sagflate	170A 170B	0,9803 0,9659	0,469 0,516	0,49	5,47 6,97	6,2	175,3 208,9	192	23,1 27,1	25
10 Ind	Støpehud	183A 183B	0,9716 0,9830	0,418 0,542	0,48	4,86 4,02	4,4	170,7 189,4	180	20,6 21,1	21
	Sagflate	183A 183B	0,9632 0,9801	0,578 0,616	0,60	5,85 4,91	5,4	215,9 214,7	215	26,2 24,5	25
11 Std FA 0,4	Støpehud	210A 210B	0,9906 0,9809	0,671 0,531	0,60	2,79 2,92	2,9	203,9 155,1	180	19,2 17,9	19
	Sagflate	210A 210B	0,9605 0,9721	0,609 0,678	0,64	4,34 4,01	4,2	205,4 215,2	210	23,0 23,1	23
12 Std FA silika 0,4	Støpehud	223A 223B	0,9675 0,9953	0,133 0,237	0,19	0,63 0,66	0,7	25,3 43,2	34	2,0 5,2	4
	Sagflate	223A 223B	0,9845 0,9755	0,717 0,681	0,70	2,07 1,84	2,0	176,7 152,5	165	16,9 15,6	16

**Tabell 5 Resultater, beregnede verdier og middelverdier etter 2 års eksponering**

Bl	Eks. flate	Pr. nr	R <sup>2</sup>	C <sub>0</sub> (% av betong)		D (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)		Cl <sub>tot</sub> (g/m <sup>2</sup> )		k (mm)	
				Bereg	Middel (std.av)	Bereg	Middel (std.av)	Bereg	Middel	Bereg	Middel
1 Anl	Støpehud	4A	0,9943	0,495	0,46 (0,05)	3,31	3,2 (0,15)	227,3	203	19,1	
		4B	0,9842	0,405		3,22	177,7			17,1	
		5A	0,9900	0,475		3,01	204,7			18,0	
	Sagflate	4A	0,9944	0,641	0,64 (0,02)	4,64	4,9 (0,22)	300,5	305	25,0	
		4B	0,9917	0,622		4,90	298,5			25,4	
		5A	0,9986	0,653		5,08	315,0			26,4	
2 Std FA	Støpehud	28A	0,9870	0,740	0,76 (0,10)	2,56	2,7 (0,10)	293,5	303	19,6	
		28B	0,9905	0,873		2,75	352,5			21,3	
		29A	0,9736	0,668		2,65	263,7			19,2	
	Sagflate	28A	0,9875	0,924	0,97 (0,04)	3,19	3,1 (0,09)	367,9	381	23,5	
		28B	0,9869	1,013		3,02	393,3			23,5	
		29A	0,9882	0,978		3,03	380,8			23,2	
3 Std/Anl	Støpehud	44A	0,9718	0,509	0,49 (0,05)	3,48	4,0 (0,42)	235,9	239	19,9	
		44B	0,9864	0,526		4,08	261,1			21,8	
		45A	0,9760	0,426		4,29	221,2			20,3	
	Sagflate	44A	0,9933	0,644	0,65 (0,01)	5,36	4,9 (0,44)	315,2	315	27,0	
		44B	0,9980	0,665		4,97	322,0			26,3	
		45A	0,9955	0,655		4,47	306,5			24,7	
4 Std/Anl FA 624	Støpehud	68A	0,9722	0,627	0,61 (0,08)	3,57	3,3 (0,72)	263,2	252	21,8	
		68B	0,9941	0,673		2,44	266,9			18,5	
		69A	0,9562	0,522		3,78	224,9			20,9	
	Sagflate	68A	0,9949	0,788	0,79 (0,02)	2,44	2,6 (0,16)	290,1	297	19,5	
		68B	0,9924	0,808		2,72	309,2			20,8	
		69A	0,9950	0,759		2,72	290,7			20,4	
5 Std/Anl FA 624	Støpehud	84A	0,9786	0,668	0,70 (0,10)	2,29	2,1 (0,32)	212,4	240	17,8	
		84B	0,9951	0,817		1,75	278,9			16,7	
		85A	0,9822	0,627		2,31	227,2			17,6	
	Sagflate	84A	0,9916	0,799	0,85 (0,04)	1,93	2,0 (0,07)	256,5	277	17,5	
		84B	0,9956	0,862		2,07	285,2			18,5	
		85A	0,9947	0,877		2,03	290,0			18,4	
6 Std/Anl FA 624	Støpehud	108A	0,9745	0,505	0,57 (0,10)	2,22	2,1 (0,21)	141,5	153	15,8	
		108B	0,9858	0,687		2,12	190,0			17,4	
		109A	0,9808	0,520		1,82	128,2			14,5	
	Sagflate	108A	0,9758	0,758	0,87 (0,12)	2,09	1,8 (0,32)	242,5	241	17,8	
		108B	0,9903	0,865		1,84	234,8			17,4	
		109A	0,9907	0,991		1,46	247,0			16,2	
7 Std/Anl FA umalt	Støpehud	124A	0,9873	0,644	0,59 (0,15)	2,36	2,4 (0,24)	225,3	214	17,9	
		124B	0,9868	0,705		2,62	274,6			19,5	
		125A	0,9846	0,415		2,18	141,4			14,4	
	Sagflate	124A	0,9931	0,740	0,76 (0,06)	2,49	2,3 (0,33)	261,2	264	19,4	
		124B	0,9965	0,831		1,96	268,8			17,8	
		125A	0,9898	0,717		2,56	261,0			19,4	
8 Std/Anl FA 1010	Støpehud	144A	0,9941	0,852	0,71 (0,13)	1,54	1,6 (0,24)	270,8	218	15,9	
		144B	0,9836	0,671		1,89	202,2			16,3	
		145A	0,9962	0,610		1,44	179,8			13,7	
	Sagflate	144A	0,9894	0,763	0,77 (0,06)	1,66	1,7 (0,09)	216,8	224	16,0	
		144B	0,9949	0,818		1,59	239,3			15,9	
		145A	0,9895	0,735		1,77	217,1			16,3	
9 Std	Støpehud	168A	0,9909	0,500	0,50 (0,03)	4,10	4,6 (0,43)	231,3	246	21,3	
		168B	0,9792	0,473		4,94	239,8			22,9	
		169A	0,9923	0,541		4,70	266,9			23,6	
	Sagflate	168A	0,9918	0,586	0,58 (0,02)	4,96	4,7 (0,37)	281,6	272	25,1	
		168B	0,9900	0,600		4,76	282,5			24,8	
		169A	0,9872	0,558		4,25	250,8			22,8	
10 Ind	Støpehud	184A	0,9840	0,445	0,44 (0,05)	4,02	4,0 (0,47)	215,5	216	20,1	
		184B	0,9863	0,493		3,58	229,4			19,8	
		185A	0,9826	0,387		4,52	203,1			19,9	
	Sagflate	184A	0,9922	0,561	0,57 (0,02)	4,67	4,8 (0,21)	264,2	272	23,9	
		184B	0,9943	0,596		5,07	289,8			25,5	
		185A	0,9936	0,555		4,77	263,3			24,0	
11 Std FA 0,4	Støpehud	208A	0,9989	0,377	0,66 (0,25)	1,04	1,8 (0,67)	102,4	223	9,4	
		208B	0,9899	0,741		2,07	260,9			17,6	
		209A	0,9914	0,863		2,29	304,1			19,5	
	Sagflate	208A	0,9876	0,867	0,83 (0,04)	2,30	2,5 (0,15)	301,9	292	19,5	
		208B	0,9862	0,800		2,60	287,1			20,3	
		209A	0,9785	0,815		2,45	285,9			19,8	
12 Std FA silika 0,4	Støpehud	224A	0,9950	0,532	0,41 (0,11)	0,79	0,6 (0,16)	142,1	99	9,6	
		224B	0,9980	0,369		0,51	76,3			6,5	
	Sagflate	225A	0,9956	0,327		0,53	77,9			6,2	
		224A	0,9857	0,944	0,91 (0,03)	1,53	1,5 (0,05)	267,7	256	16,4	
		224B	0,9887	0,913		1,44	248,7			15,7	
		225A	0,9920	0,875		1,52	250,4			15,9	

### 3 VURDERING AV RESULTATENE

#### 3.1 Prøvingsomfang

Det er foretatt prøving av to flater for hver type eksponeringsflate og betongsammensetning (tre parallelle ved 2 års-prøvingen). Resultatene fra to (tre) parallele flater spriker såpass mye at det i en del tilfeller overskygger forskjellen mellom de ulike betongvariantene. Forskjellen mellom parallelle flater er generelt mye større for flater med støpehud enn for sagflater. En visuell vurdering av støpeflatene viser at forskjellene sannsynligvis skyldes ulik komprimering av – og støpesår/grove porer i – topssjiktet. Selv med 3 parallelle er spriket innad i prøveseriene for støpehudflater så stort at disse resultatene vanskelig kan brukes til sammenligninger.

De fleste – og beste – vurderingene er derfor foretatt for resultater som er framkommet ved eksponering av sagflater.

#### 3.2 Støpehud kontra sagflate

Figur 1 og 2 viser at prøving av flater med støpehud og sagflater gir omtrent samme rangering av diffusjonskoeffisienten for betongvariantene. Det samme gjelder, med unntak av blandingen med silikastøv, også for beregnet overflatekonsentrasjon. For blanding 12 med silikastøv er det oppnådd svært lav kloridinntrenging og overflatekonsentrasjon for flater med støpehud sammenlignet med sagflater for de samme prøvestykene.

Som nevnt spriker resultatene innad i prøveseriene mer for serier med støpehud som eksponeringsflate enn tilfellet er for tilsvarende serier med sagflater. Spredningen reduseres med økende eksponeringstid. Det vil derfor være mest korrekt å foreta rangeringen av betongvariantene ut fra resultatene fra 1 og 2 års eksponeringstid.

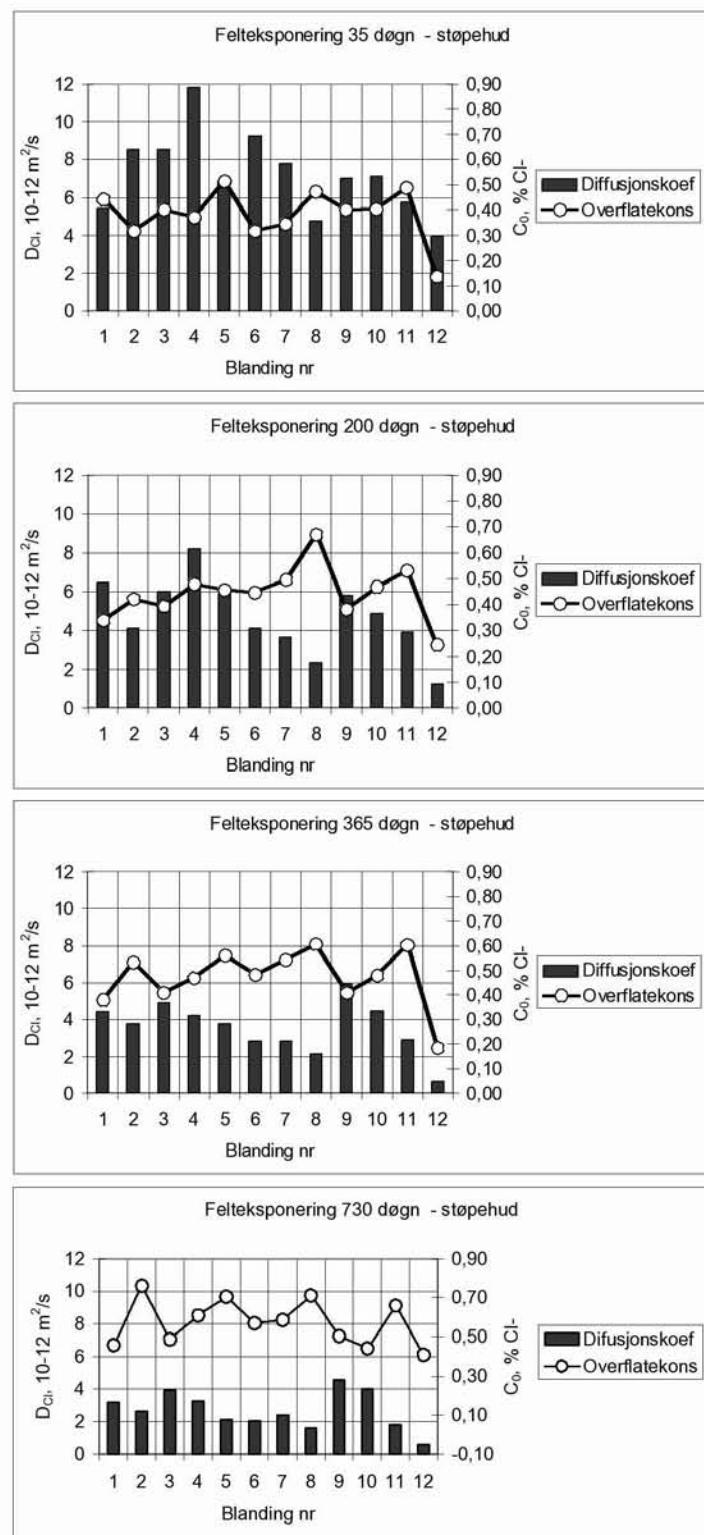
#### 3.3 Eksponeringstid

I Figur 1 og 2 er det foretatt plotting av diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for alle betongvarianter og prøvealder. Beregnet overflatekonsentrasjon øker noe med økende eksponeringstid. Diffusjonskoeffisientene reduseres betydelig med økende eksponeringstid, uten at rangeringen i vesentlig grad endres. Betongen ble eksponert allerede ved 28 døgns alder, og effekten av økt hydratasjonsgrad har derfor medført en betydelig reduksjon av diffusjonskoeffisientene over tid. Denne effekten er spesielt tydelig for blandingene med flygeaske og silikastøv.

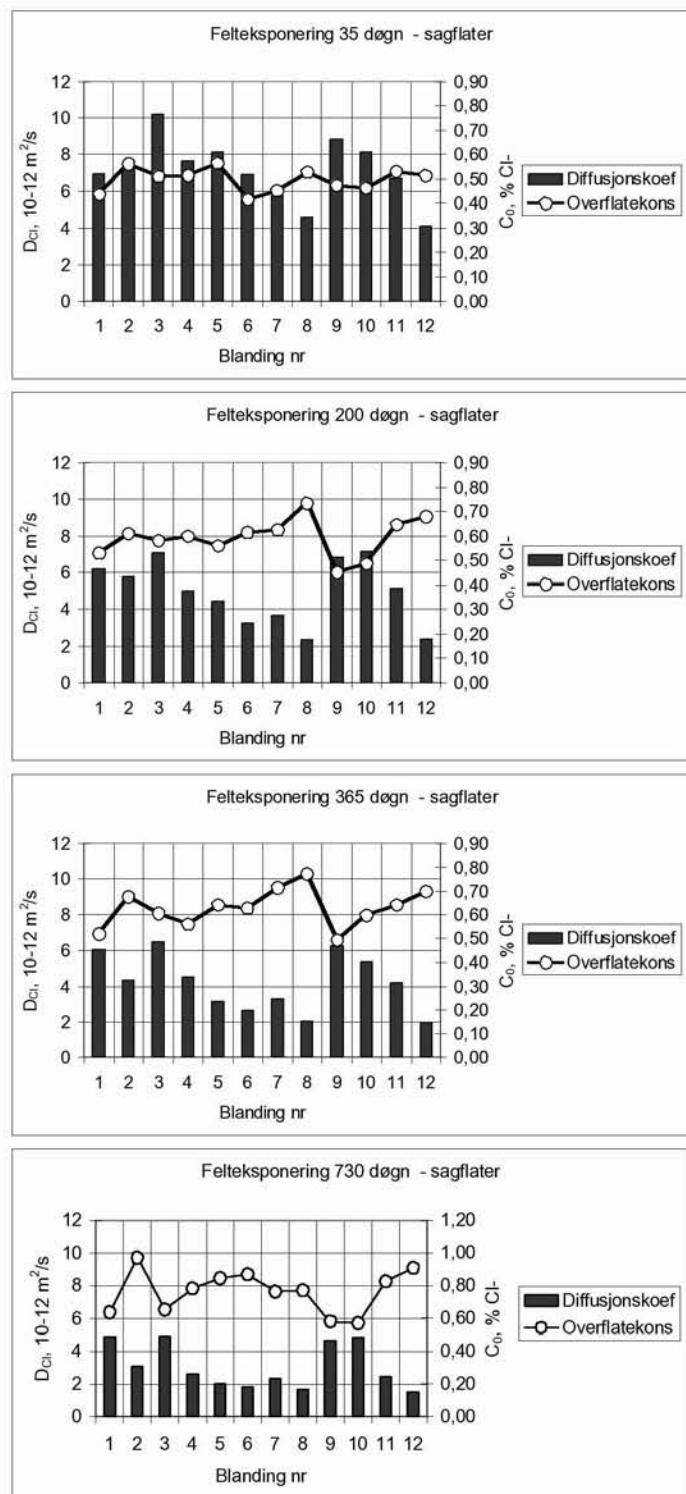
#### 3.4 Bindemiddel

I Figur 3 er resultatene fra 1 års felteksponering sammenlignet med resultatene fra laboratorieforsøk (NT Build 443 og saltpåsprøyting) med velherdet betong (6 mnd vannlagring) for de samme betongvariantene. Alle eksponerte flater var sagflater.

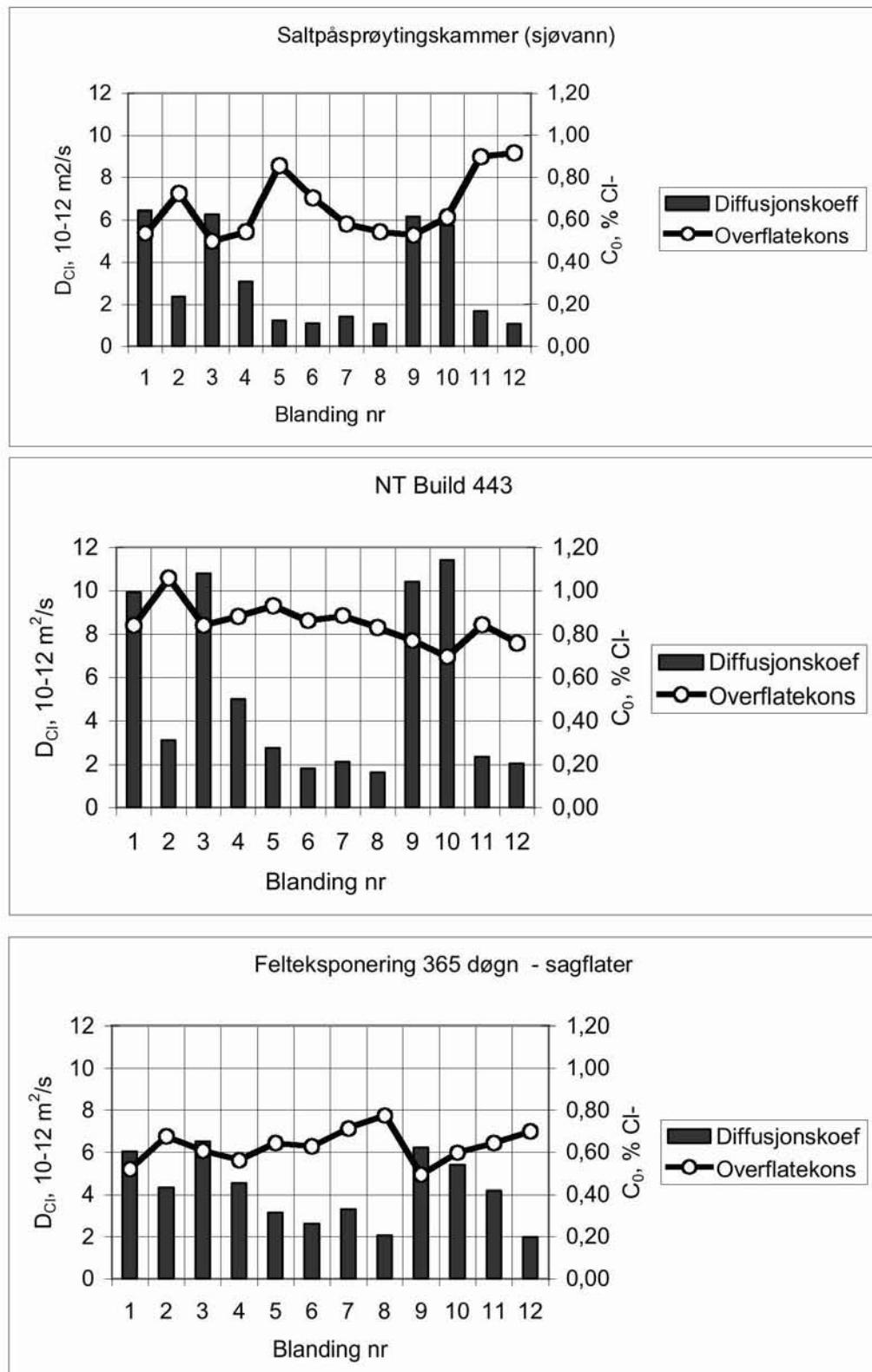
Figuren viser at betongvarianter med ren portlandsement (variant nr 1, 3, 9 og 10) skiller seg negativt ut fra de øvrige betongvariantene, som alle har flygeaskeinnblanding. Dette gjelder særlig for prøvingen som er utført i laboratoriet, der betongen ble herdet i 6 mnd i vann før prøving.

**Figur 1**

Beregnet diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for prøvestykker med støpehud som eksponeringsflate



**Figur 2** Beregnet diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for prøvestykker med sagflate som eksponeringsflate



**Figur 3** Sammenligning av resultater fra laboratorieprøving (NT Build 443 og saltpåsprøyting) med resultatene fra 1 års feltekspionering i sjøvann

### 3.5 Økende flygeasketilsetning

Variantene 4, 5 og 6 har samme sementtype og økende tilsetning av flygeaske (hhv 10, 20 og 35 % på erstatningsbasis). Økende flygeasketilsetning gir tydelig reduksjon av kloridinntrengingen ved både laboratorie- og feltforsøk.

### 3.6 Finmalingsgrad for flygeaske

Variant nr 7, 5 og 8 har samme sementtype- og innhold, samt konstant mengde tilsatt flygeaske med forskjellig finmalingsgrad (hhv umalt, "finmalt 624" og "finmalt 1010"). Økt finmalingsgrad for flygeaska ser ut til å ha positiv effekt på kloridinntrengingen, men effekten er relativt liten.

### 3.7 Silikastøv

Variant nr 11 og 12 er begge utført med flygeaskesement og v/b = 0,40. For variant nr 12 er 4 % av sementen erstattet med silikastøv. Silikastøvtilsetningen har positiv innvirkning på kloridinntrengingen. Effekten er tydeligst for felteksponeerte prøver, og da særlig prøver med støpehud som eksponeringsflate. Støpehuden for disse prøvene virker svært tett, og dette har medført at beregnet overflaterekonsentrasjon for disse prøvene er svært lav og avvikende fra alle de andre variantene.

## 4 KONKLUSJONER

Det er oppnådd svært god sammenheng mellom resultatene fra laboratorieprøvingen og felteksponeringen. Alle resultatene viser at betong med flygeaske har vesentlig større motstand mot kloridinntrenging enn betong med ren portlandsement. Forskjellen er tydeligst for betong som er prøvd i laboratoriet på grunn av vesentlig bedre herdebetingelser før eksponering enn tilfellet var for de felteksponeerte prøvene. Resultatene er helt i overensstemmelse med resultatene fra tidligere forskning /1,2/.

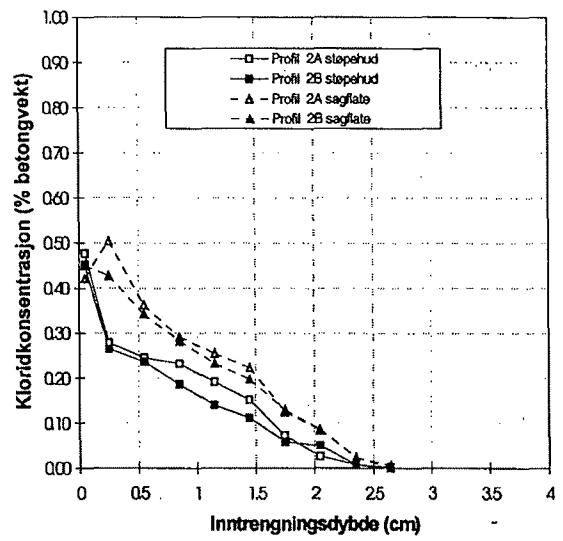
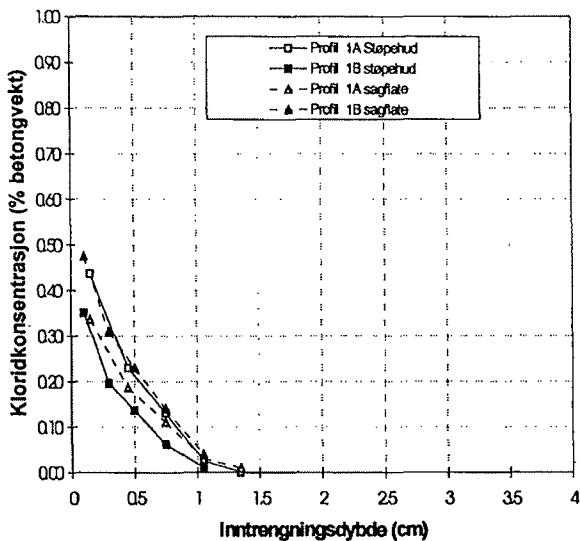
Det er signifikant forskjell på tilsetning av 10 og 20 % flygeaske. Ytterligere økning av flygeaskeinnholdet gir forbedring av motstanden mot kloridinntrenging, men det er for få prøvestykker i hver serie til å kunne si at forskjellen er signifikant. Det ble ikke registrert signifikant forskjell mellom ulik finhet av flygeaske ved 20 % tilsetning.

## 5 REFERANSER

- 1 Justnes, H., Rodum, E., Høvdahl, J. og Øye, B.: "CEMEXPO DP3: Bestandighet. Kloridinntrenging og kloridbindingskapasitet", SINTEF-rapport STF22 F96801, Trondheim 1996-02-16
- 2 Rodum, E.: "Kloridtransport i betong - en oversikt basert på litteratursøk", SINTEF-rapport STF22 F96823, Trondheim 1996-06-03

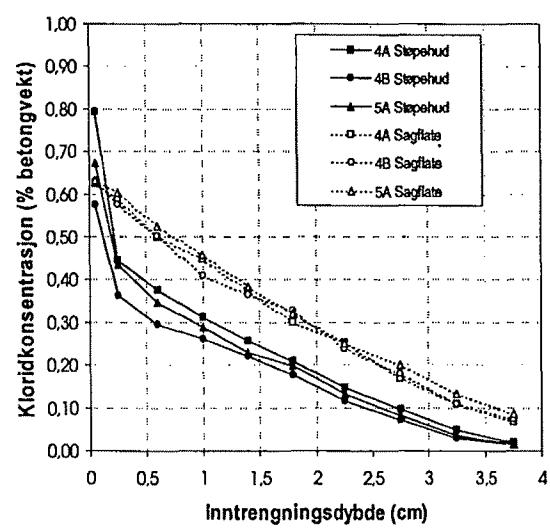
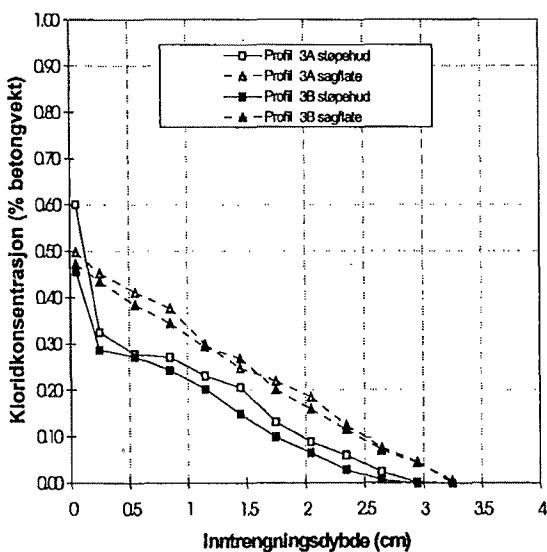
## **VEDLEGG 1**

## Blanding 1



35 døgn

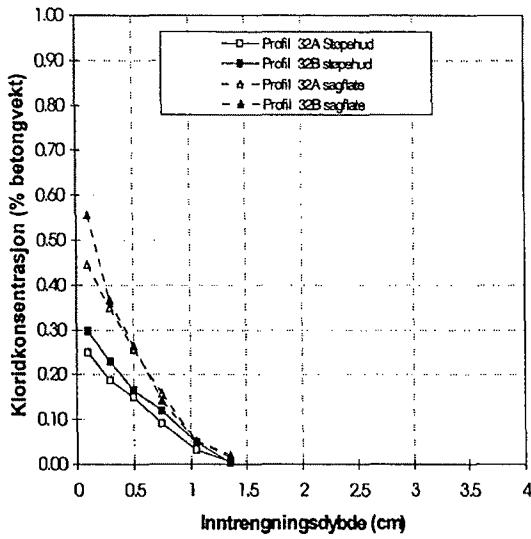
200 døgn



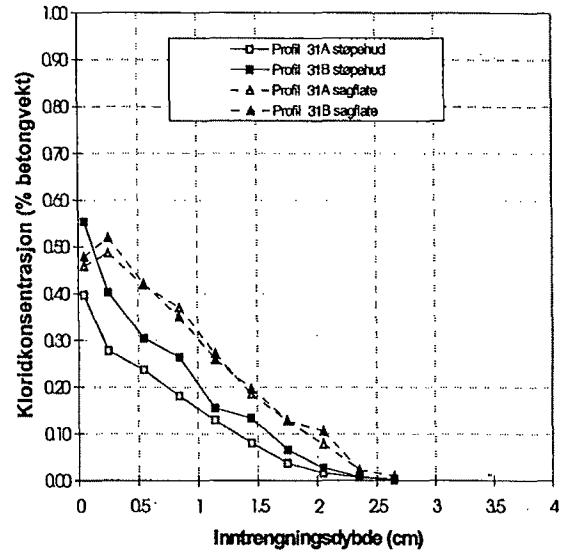
1 år

2 år

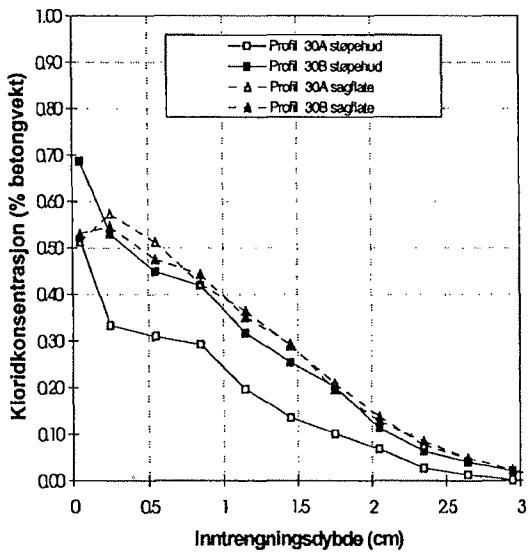
## Blanding 2



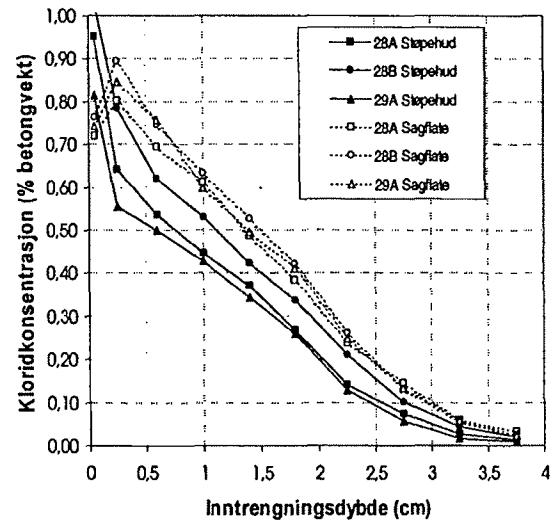
35 døgn



200 døgn

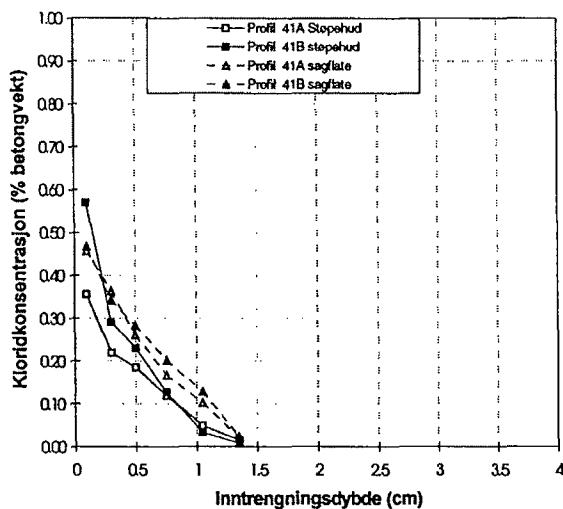


1 år

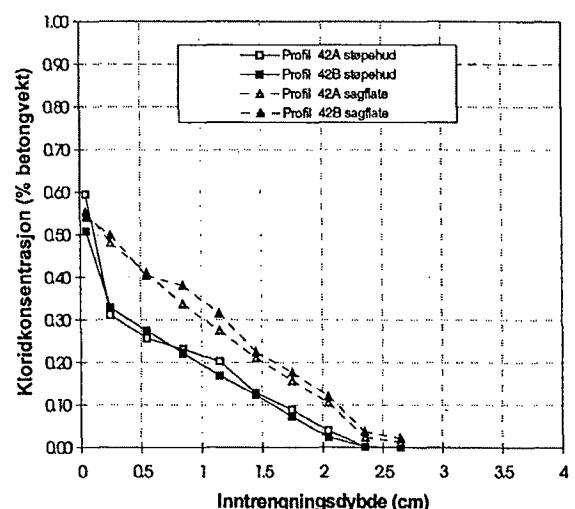


2 år

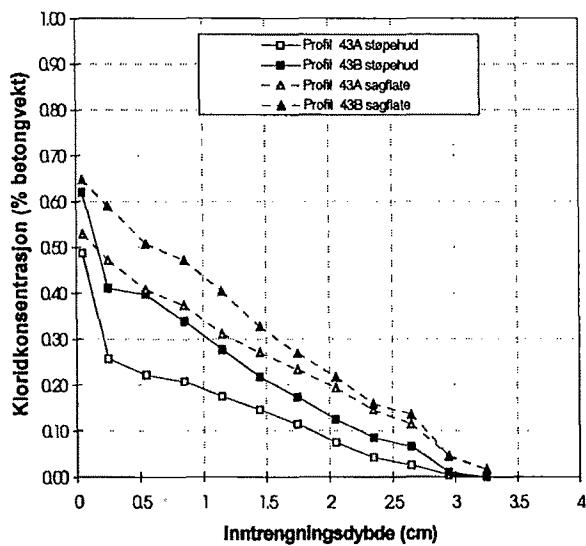
### Blanding 3



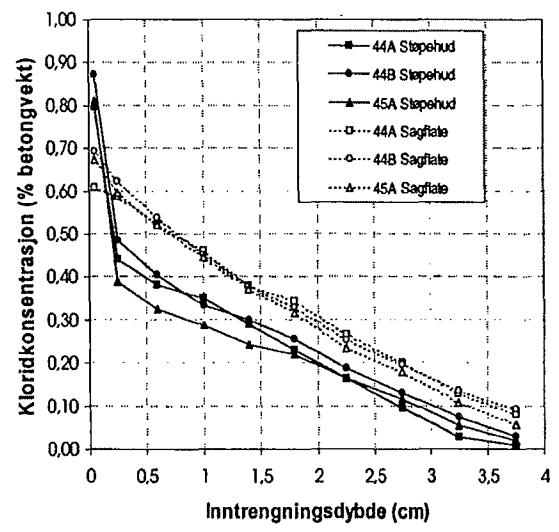
35 døgn



200 døgn

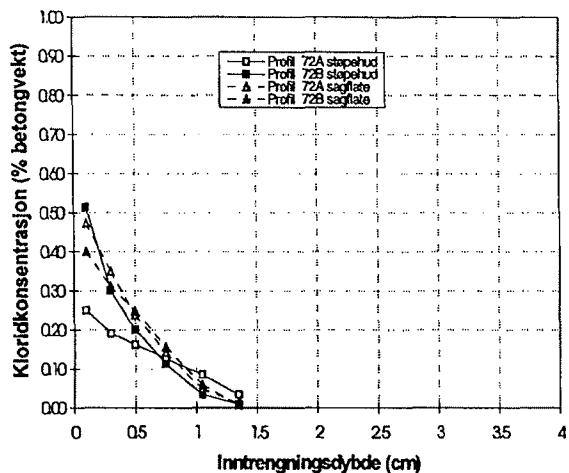


1 år

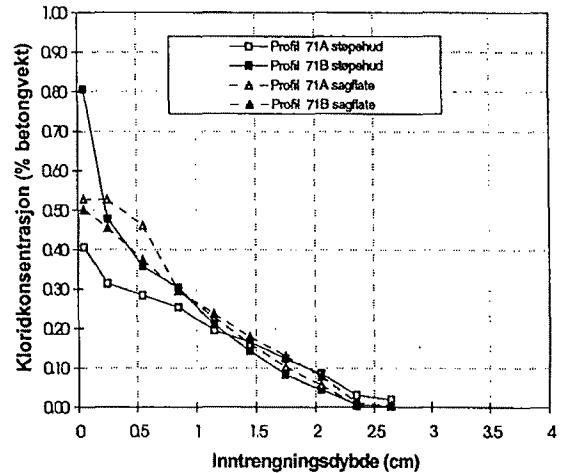


2 år

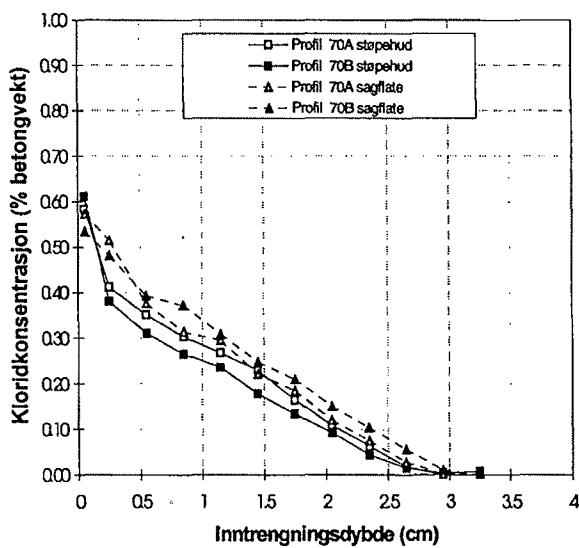
## Blanding 4



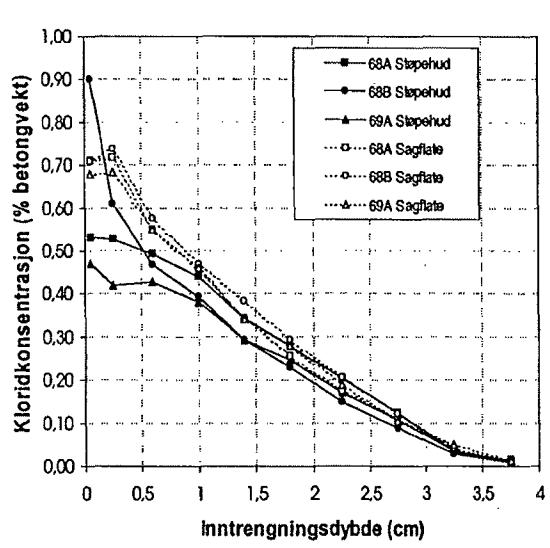
35 døgn



200 døgn

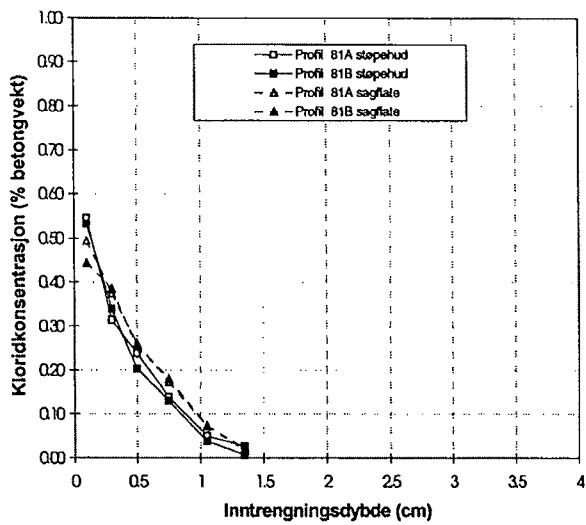


1 år

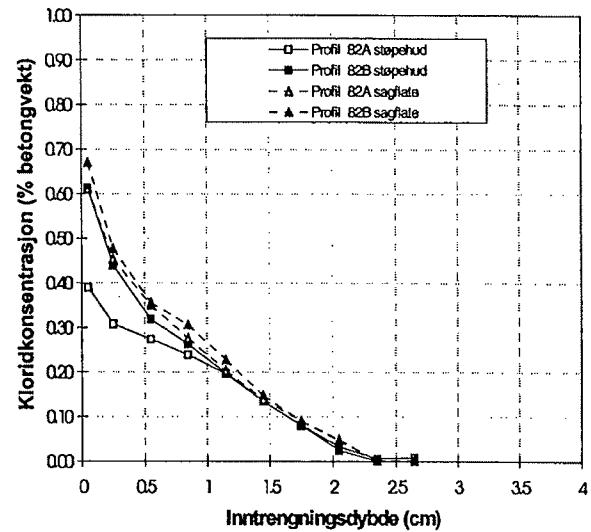


2 år

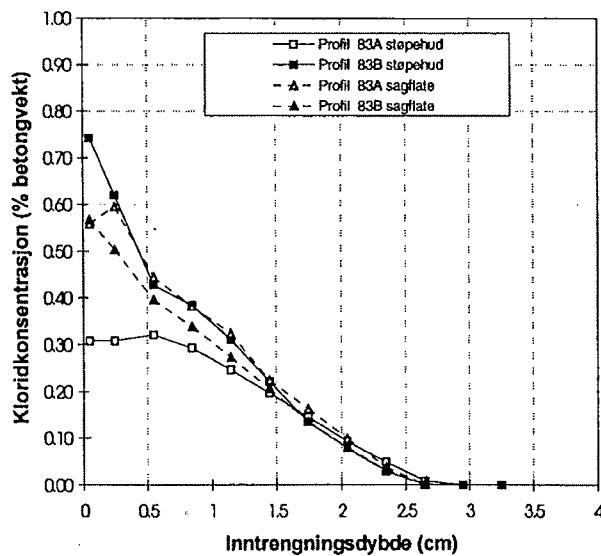
## Blanding 5



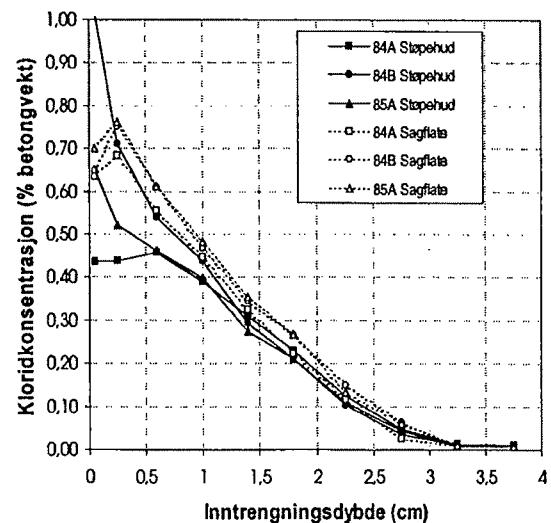
35 døgn



200 døgn

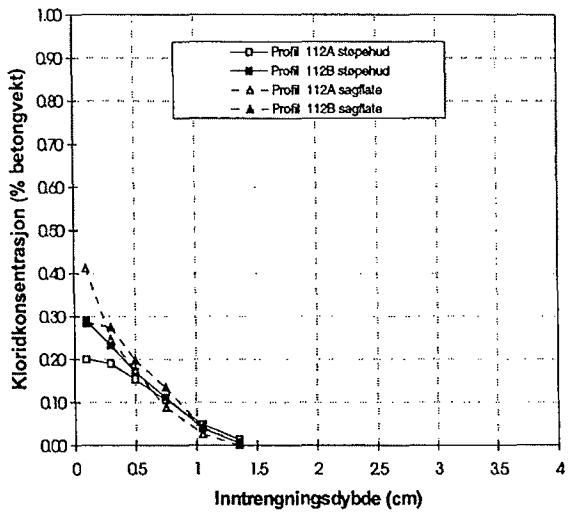


1 år

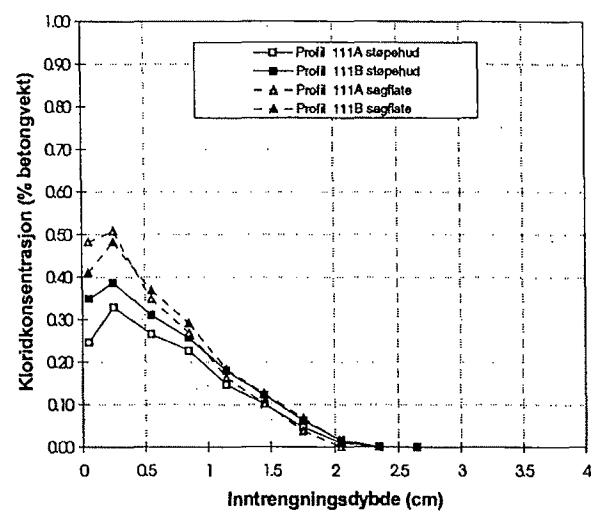


2 år

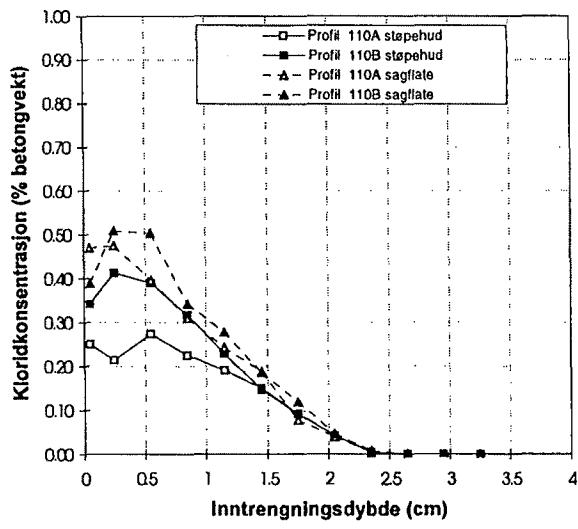
## Blanding 6



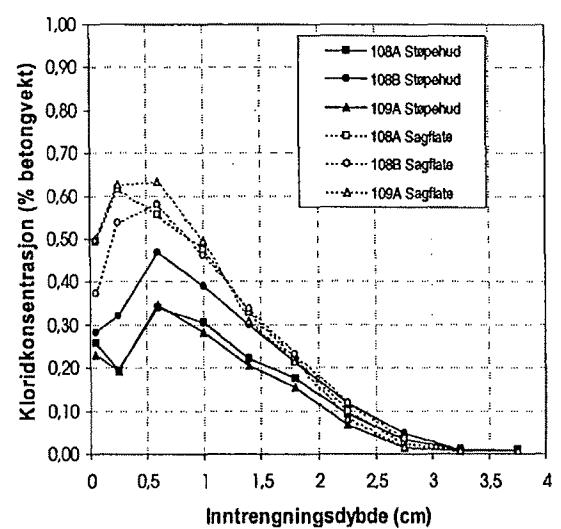
35 døgn



200 døgn

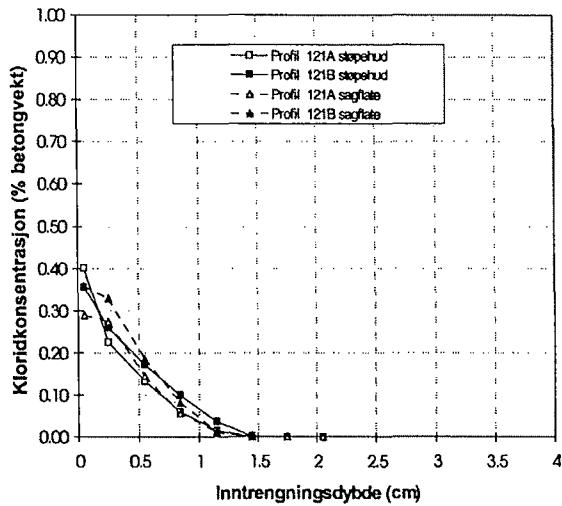


1 år

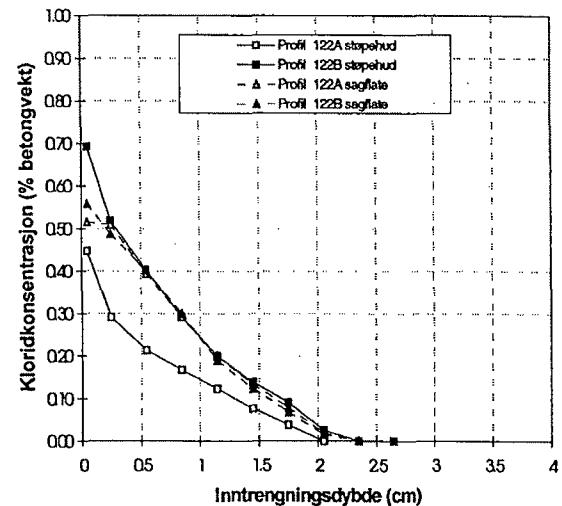


2 år

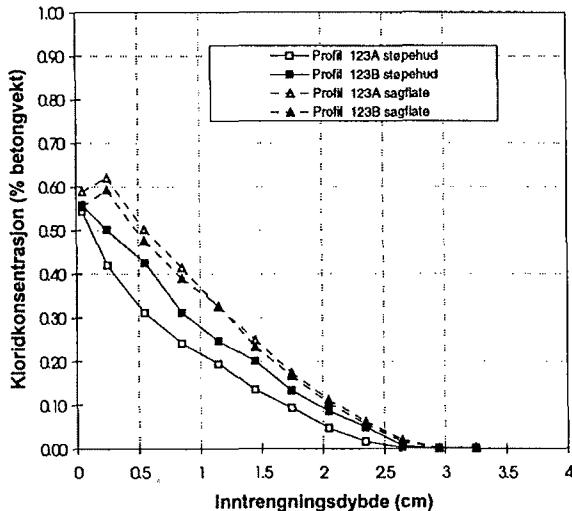
## Blanding 7



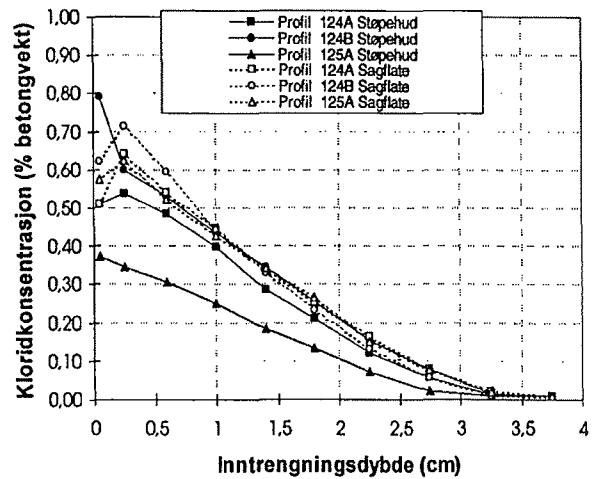
35 døgn



200 døgn

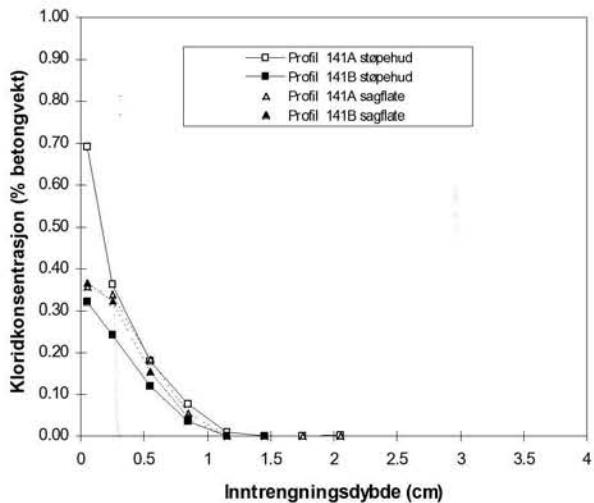


1 år

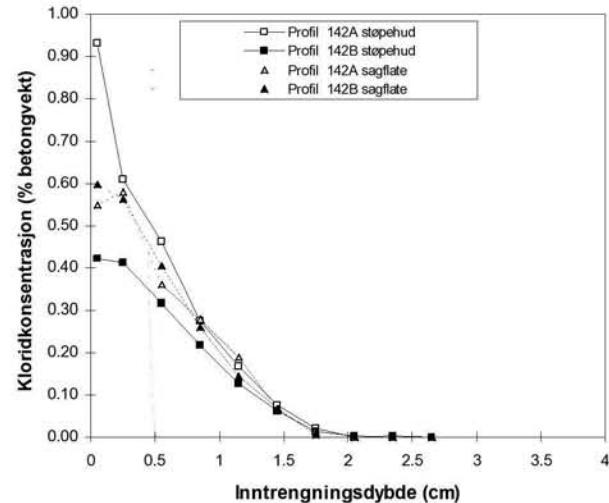


2 år

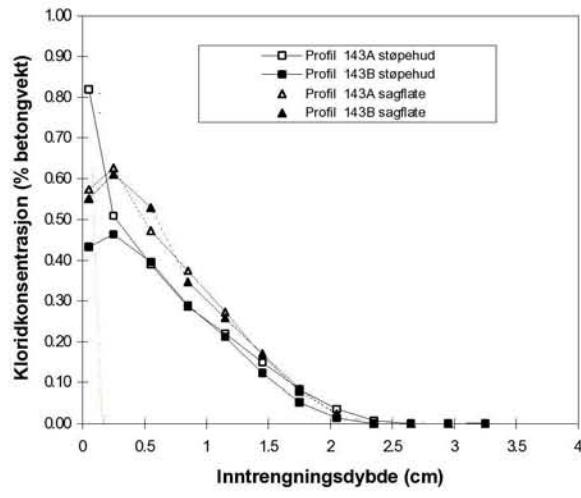
## Blanding 8



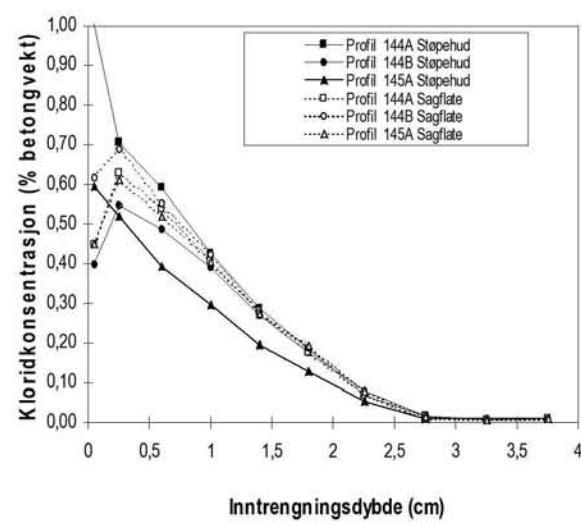
**35 døgn**



**200 døgn**

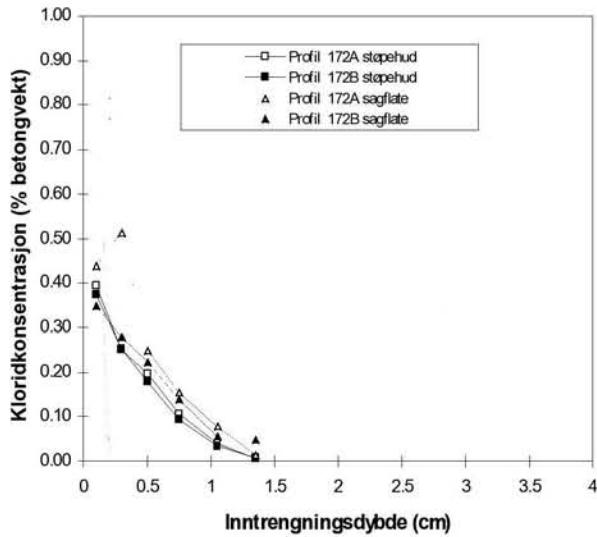


**1 år**

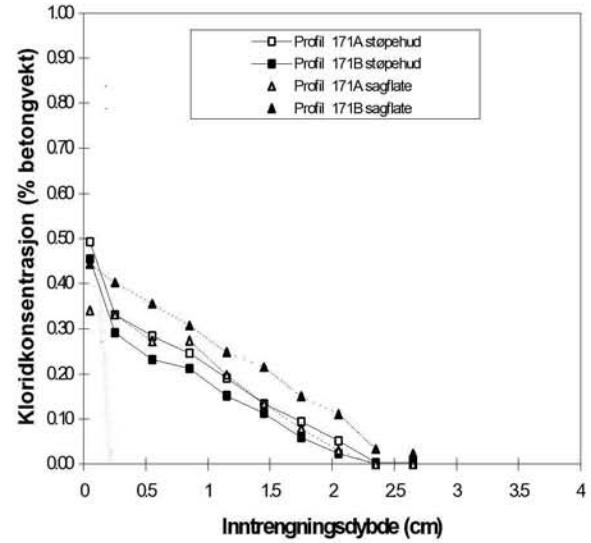


**2 år**

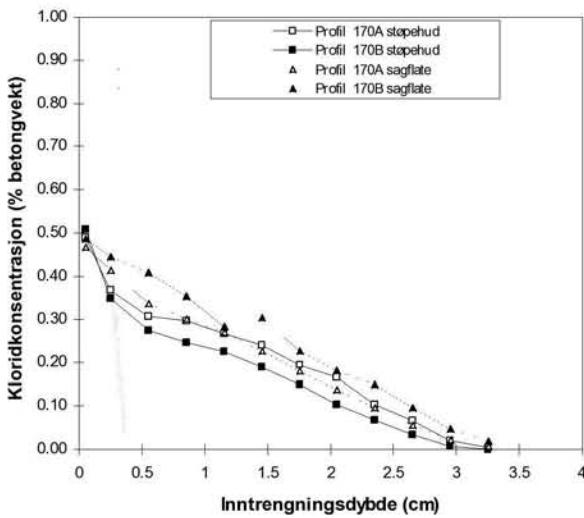
## Blanding 9



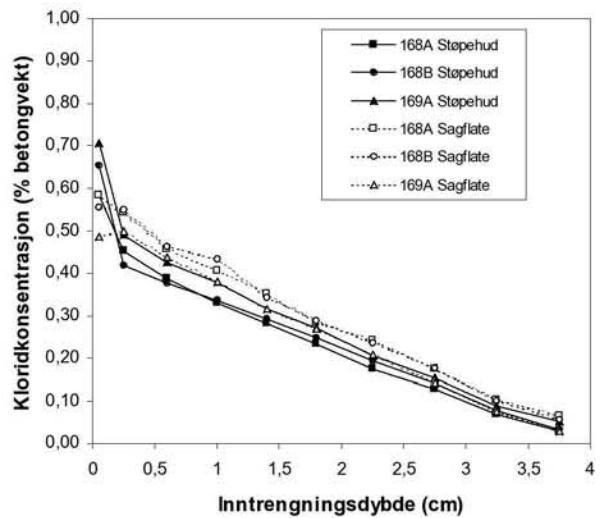
**35 døgn**



**200 døgn**

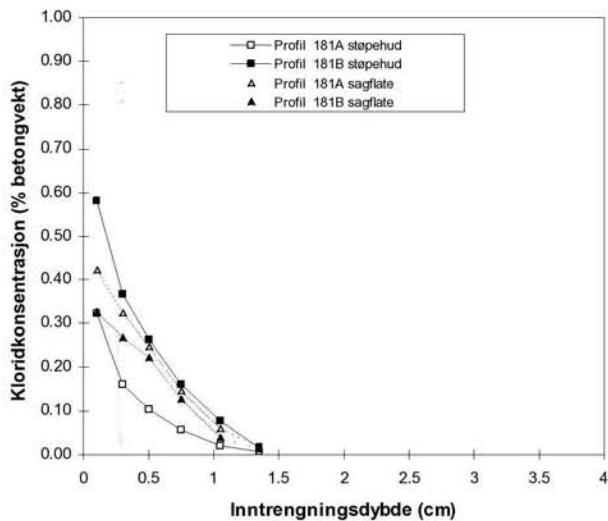


**1 år**

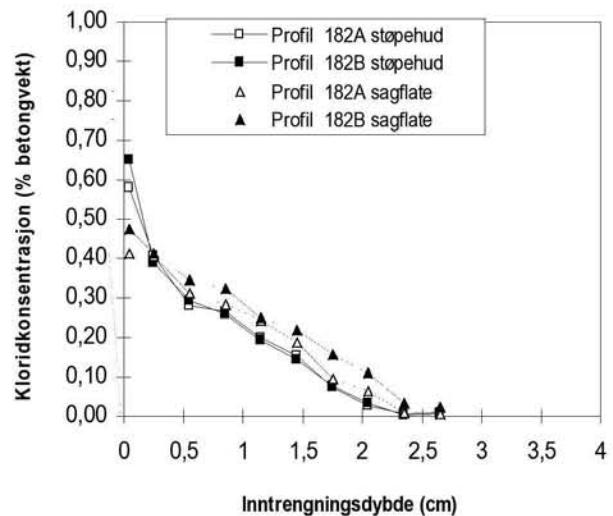


**2 år**

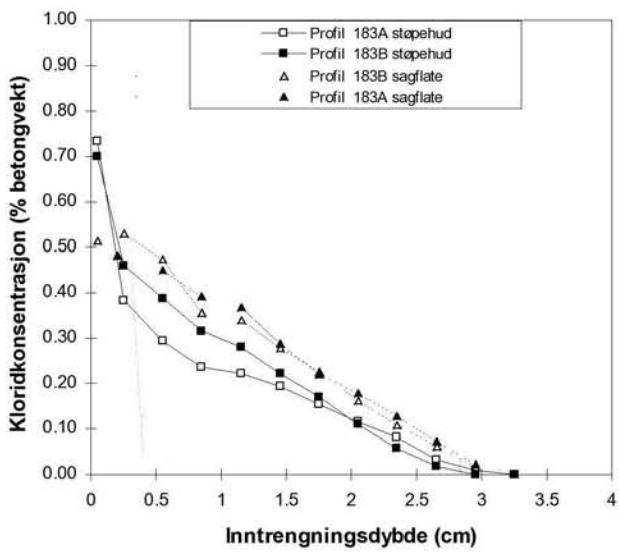
## Blanding 10



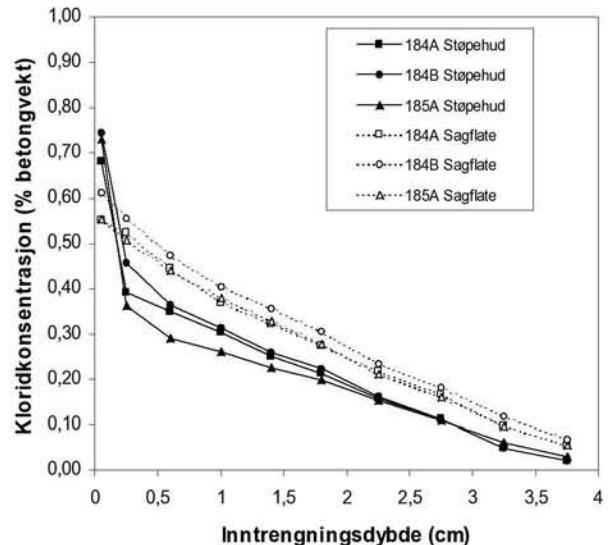
35 døgn



200 døgn

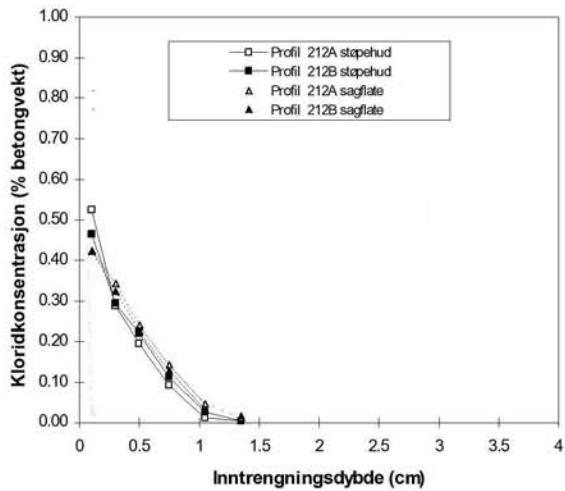


1 år

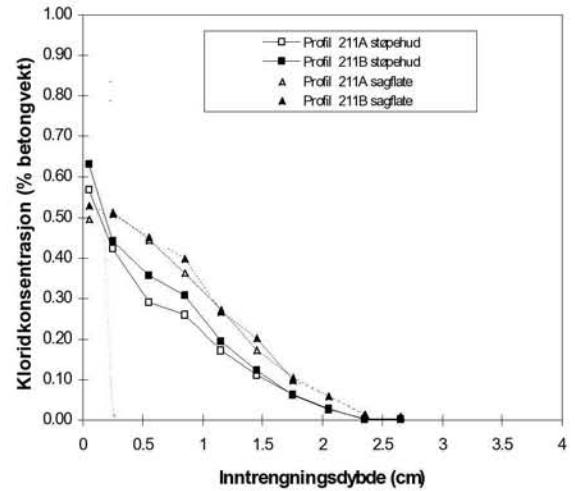


2 år

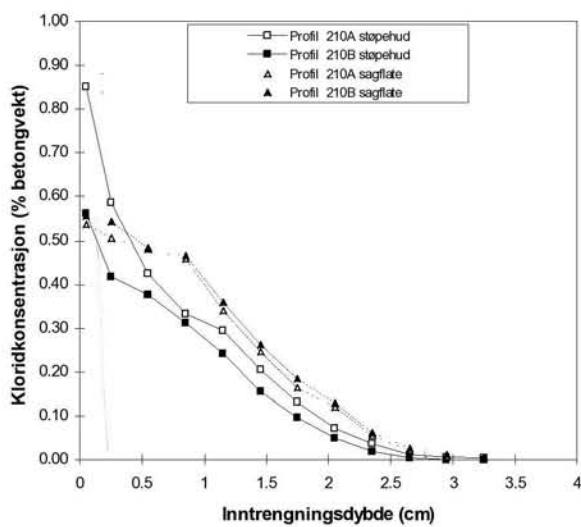
## Blanding 11



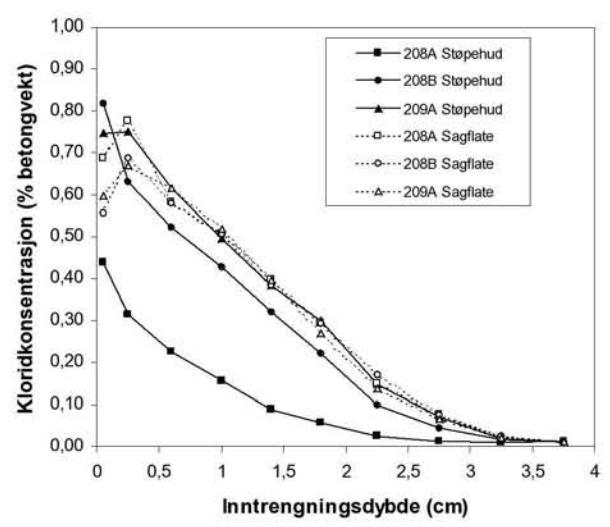
**35 døgn**



**200 døgn**

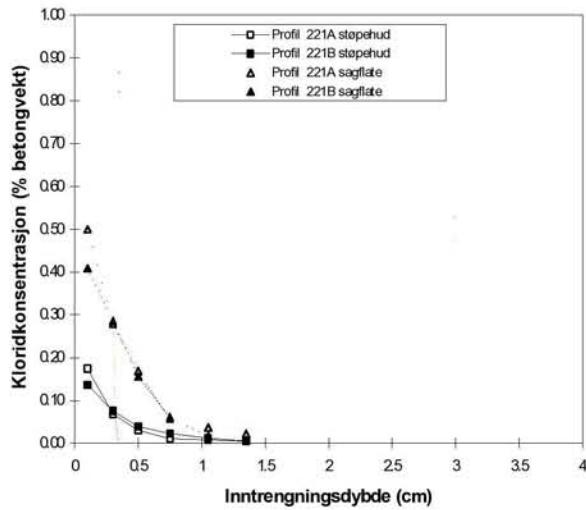


**1 år**

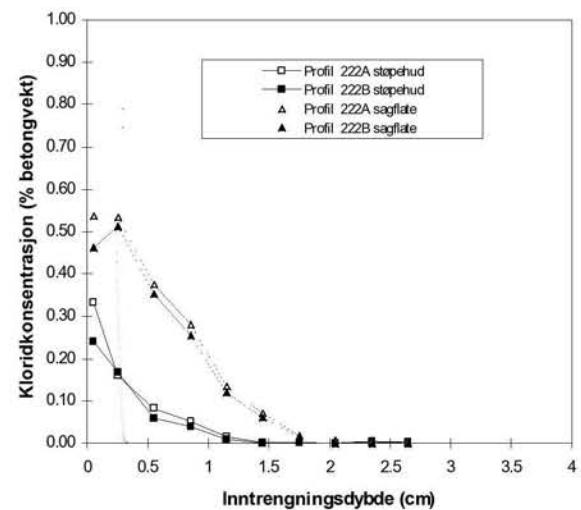


**2 år**

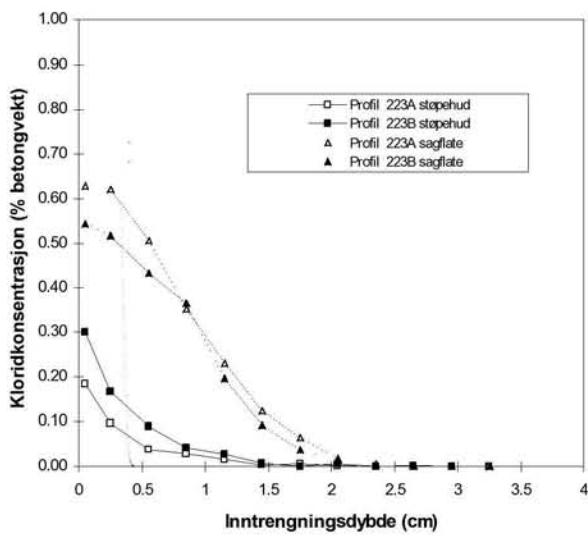
## Blanding 12



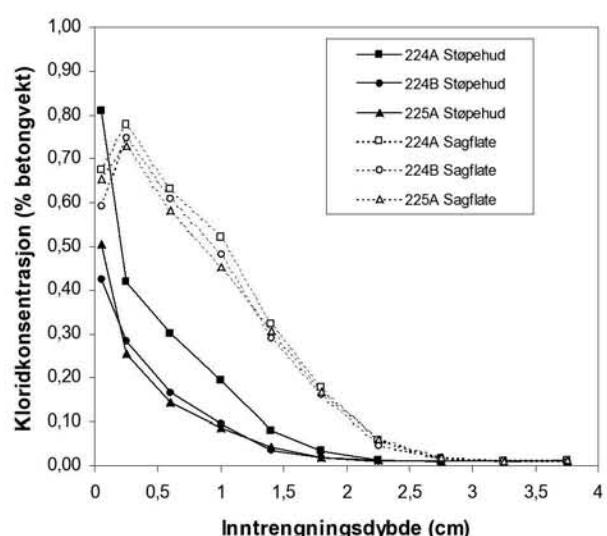
**35 døgn**



**200 døgn**



**1 år**



**2 år**

**Vedlegg A5**

**Statens Vegvesen notat av 2001-03-17 (Betong eksponert i skvalppesonen og neddykket i sjøvann-en sammenligning av resultatene etter 2 års eksponering)**



Notat

Vår saksbehandler – innvalgskode  
Ola Skjølvold - 220 73941

Vår dato  
2001-03-17 (Rev 1)

Vårt ark nr

Vår referanse

Deres referanse  
Knut Kjellsen

Til: Norcem FoU  
Fra: Ola Skjølvold  
Kopi: Finn Fluge

## BETONG EKSPONERT I SKVALPESONEN OG NEDDYKKET I SJØVANN – EN SAMMENLIGNING AV RESULTATENE ETTER 2 ÅRS EKSPONERING

Innen prosjektet ”Ressursvennlig kvalitetsbetong” ble det utstøpt 2 prøveserier (12 varianter) med ulik pastasammensetning. Den ene serien ble utstøpt ved SINTEF og eksponert i skvalpesonen ved Østmarkneset. Den andre prøveserien ble utstøpt ved Norcem FoU og eksponert neddykket i sjøen ved Brevik. Det ble tatt ut prøver etter hhv 35 og 200 døgn samt etter 1 og 2 års eksponering.

Resultatene fra Østmarkneset er framkommet ved prøving av *to og tre (2 år) parallelle*, mens hvert resultat fra Brevik representerer *ett enkelt prøvestykke*.

Pastasammensetning og oversikt over oppnådde resultater er gitt i Tabell 1. I tabellen er resultatene fra prøving av både prøver med eksponert støpehud og sagflate tatt med for prøver fra Østmarkneset, mens kun prøver med eksponert sagflate er tatt med for prøver fra Brevik.

Beregning av  $\alpha$ -verdier ved kurvetilpassing til  $D_a = D_{a0} (t_0/t)^\alpha$  er vist i VEDLEGG 1. Det er foretatt beregning av to ulike  $\alpha$ -verdier (med og uten 35 døgns resultatene).

En sammenligning av diffusjonskoeffisienter oppnådd ved eksponering neddykket og i skvalpesonen (sagflater) er vist i VEDLEGG 2.

I VEDLEGG 3 er alle resultater framkommet ved eksponering av sagflater ved Østmarkneset (skvalpesonen) og Brevik (neddykket) sammenstilt i samme figur. Videre er det foretatt en sammenstilling av resultatene fra eksponering av både sagflater og støpehud i skvalpesonen ved Østmarkneset.

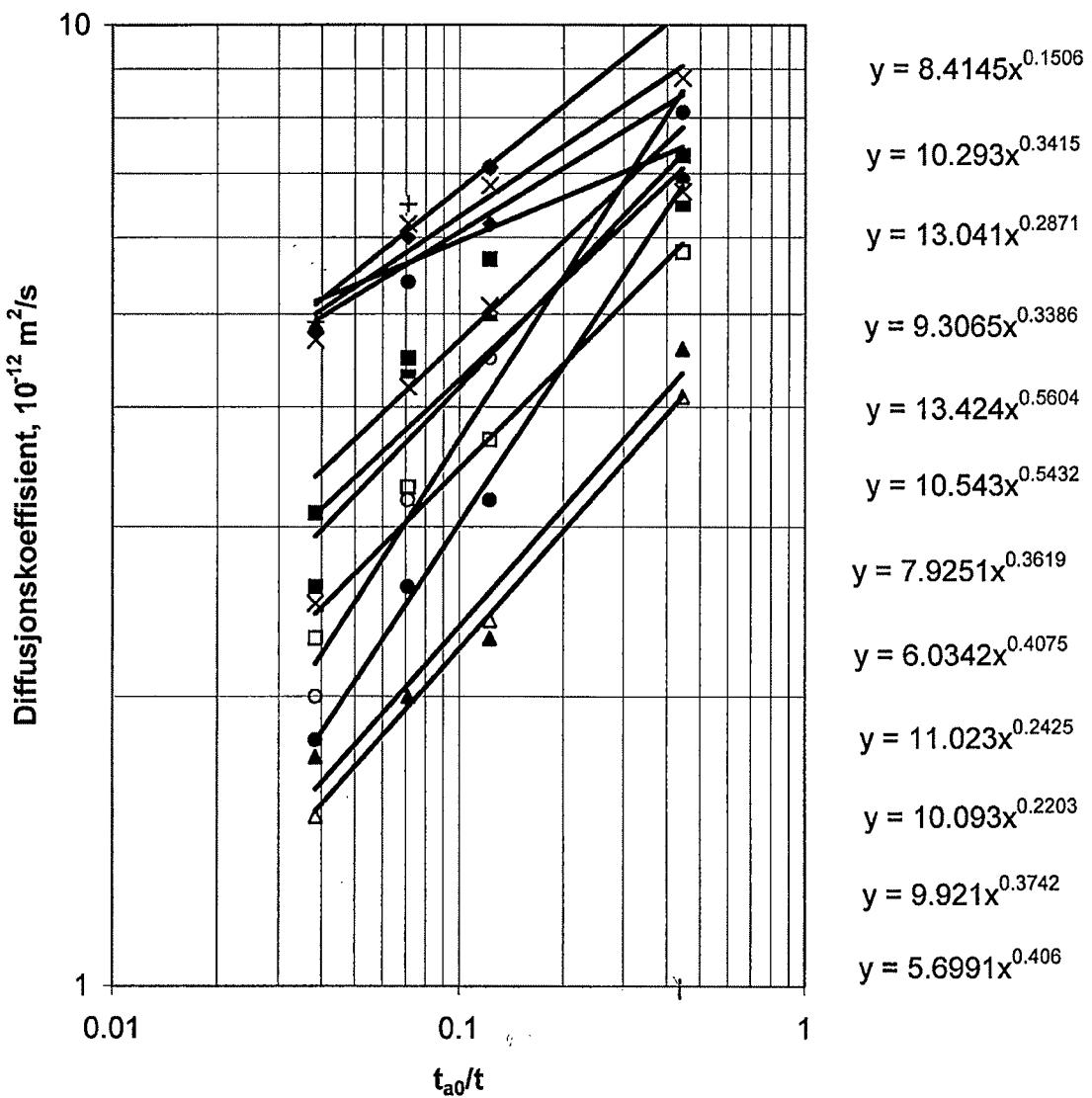
**Tabell 1** Pastasammensetning og kloridinntrenging etter 2 års eksponering for prøver eksponert i hhv skvalpesonen og neddykket i sjøvann

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73			
	Standard. FA		369								407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369		
	Industrisement										369	
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 624				37	74	128					
	Umalte							73				
	Finmalt 1010								73			
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>												16
v/b	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
Skvalpe- sone	k , mm	25,6	23,4	26,0	20,0	18,1	17,1	18,9	16,1	24,2	24,5	19,9
	Cl <sub>tot</sub> g/m <sup>2</sup>	305	381	315	297	277	241	264	224	272	272	292
	C <sub>0</sub> , %	0,64	0,97	0,65	0,79	0,85	0,87	0,76	0,77	0,58	0,57	0,83
Sagflater	D,10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	4,9	3,1	4,9	2,6	2,0	1,8	2,3	1,7	4,7	4,8	2,5
	α (28dg-2 år)	0,15	0,34	0,29	0,34	0,56	0,54	0,36	0,41	0,24	0,22	0,37
	α (200dg-2 år)	0,21	0,52	0,32	0,57	0,70	0,50	0,41	0,25	0,32	0,33	0,62
Skvalpe- sone	k , mm	18,1	20,0	20,7	20,4	17,4	15,9	17,3	15,3	22,6	19,9	15,5
	Cl <sub>tot</sub> g/m <sup>2</sup>	203	303	239	252	240	153	214	218	246	216	223
	C <sub>0</sub> , %	0,46	0,76	0,49	0,61	0,70	0,57	0,59	0,71	0,50	0,44	0,66
Støpehud	D,10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	3,2	2,7	4,0	3,3	2,1	2,1	2,4	1,6	4,6	4,0	1,8
	α (28dg-2 år)	0,21	0,47	0,31	0,58	0,46	0,62	0,49	0,44	0,15	0,23	0,46
	α (200dg-2 år)	0,55	0,39	0,28	0,56	0,76	0,61	0,37	0,38	0,15	0,16	0,69
Ned- dykket	k , mm	12,1	10,8	9,7	11,6	10,6	9,3	8,5	6,0	9,7	13,0	8,0
	Cl <sub>tot</sub> g/m <sup>2</sup>	121	145	87	148	145	101	100	70	86	126	98
	C <sub>0</sub> , %	0,40	0,68	0,30	0,59	0,66	0,50	0,48	0,48	0,33	0,38	0,55
Sagflater	D,10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	1,71	0,86	1,50	1,11	0,84	0,80	0,71	0,35	1,34	2,05	0,55
	α (28dg-2 år)	0,43	0,65	0,28	0,65	0,62	0,39	0,30	1,13	0,55	0,13	0,97
	α (200dg-2 år)	0,06	0,53	0,27	0,24	0,44	0,66	0,73	1,25	0,35	-0,08	0,94

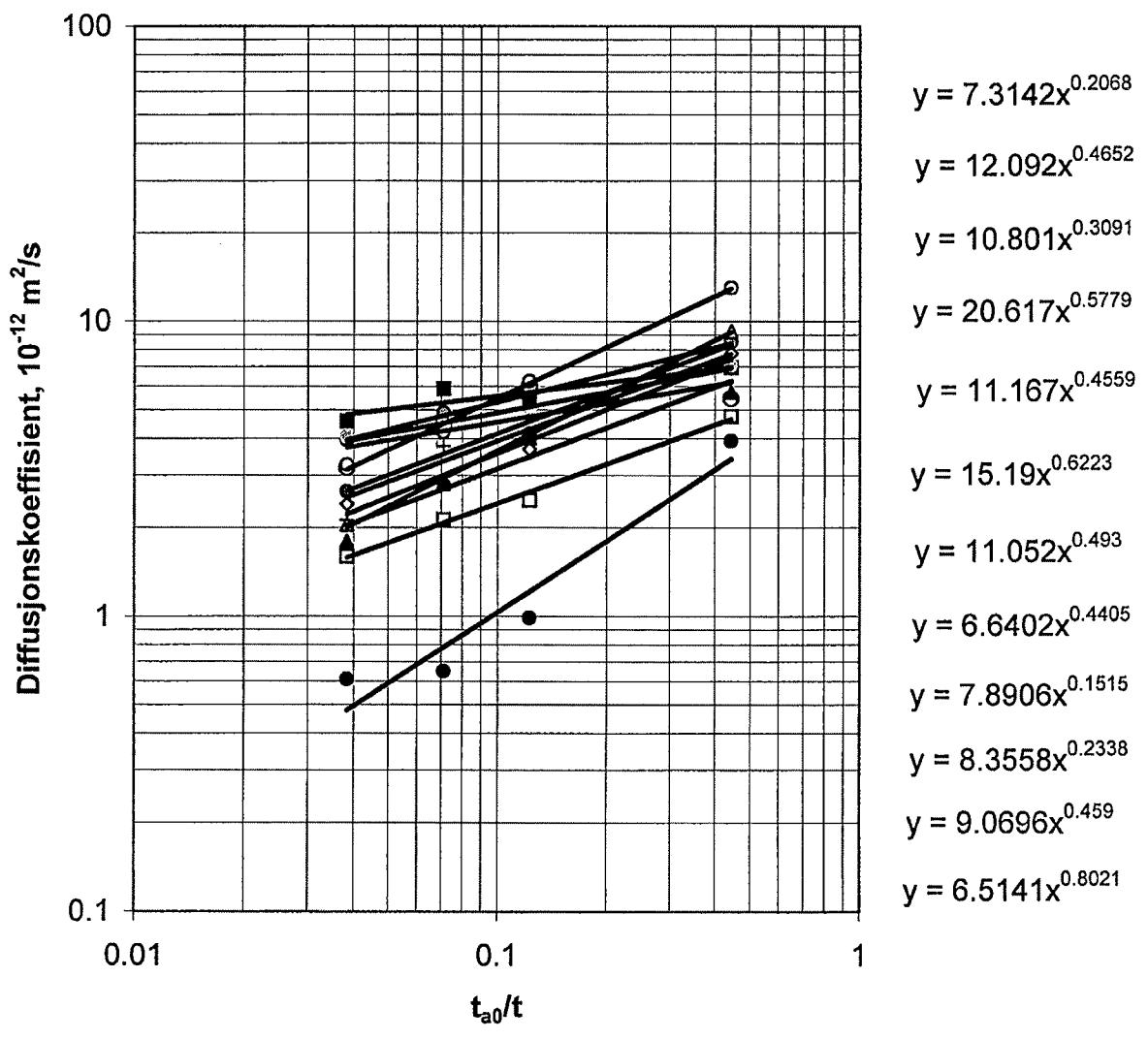
## **VEDLEGG 1**

**Kurvetilpassing for beregning av  $\alpha$**

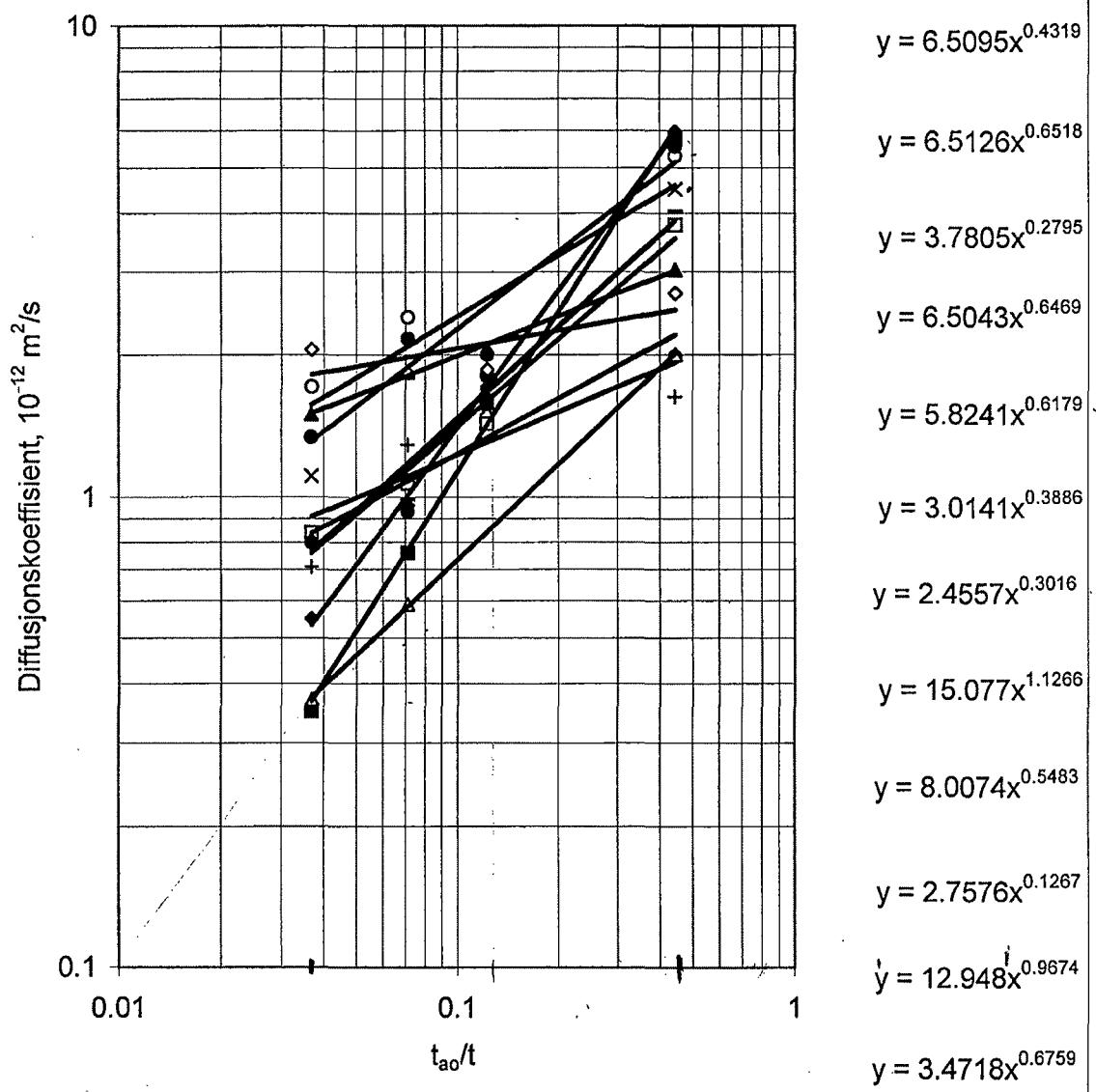
**Østmarkneset 1998 - sagflater**  
**beregning av alfa for 35 dg - 2 års eksponering**



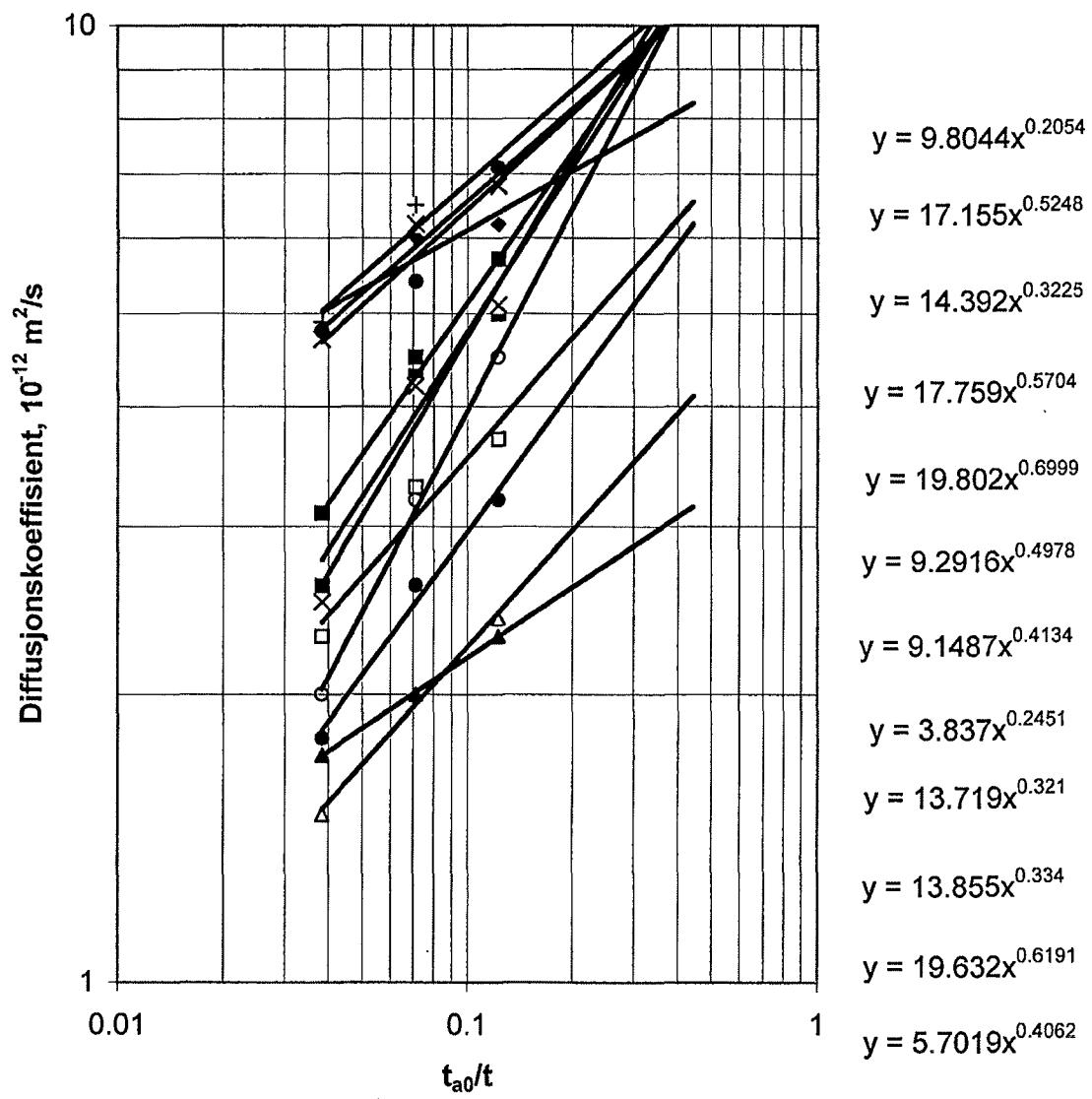
**Østmarkneset 1998 - støpehud  
beregning av alfa for 35 dg - 2 års eksponering**



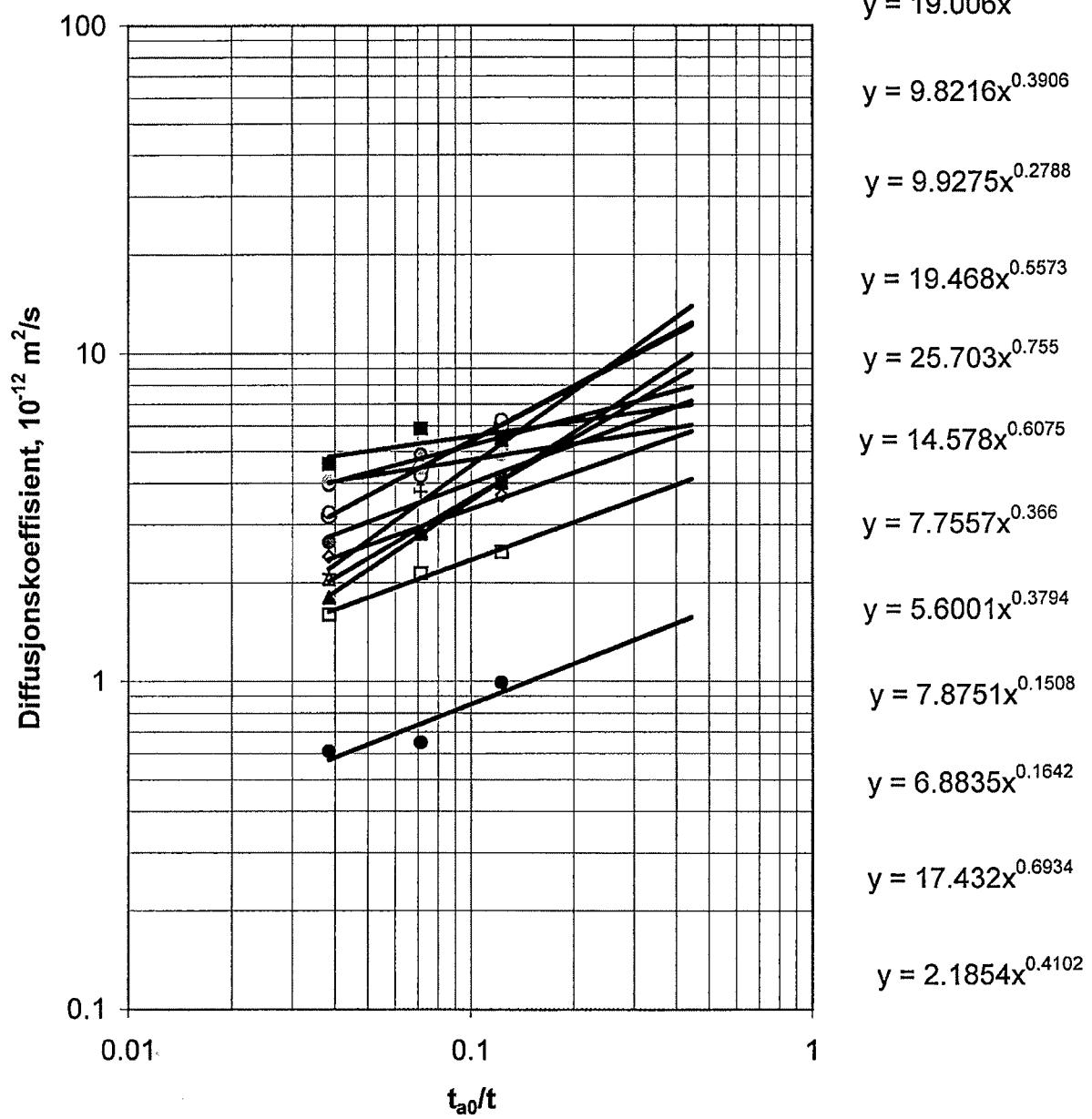
**Norcem Brevik (Ressursvennlig) - sagflater  
beregning av alfa for 35 dg - 2 års eksponering**



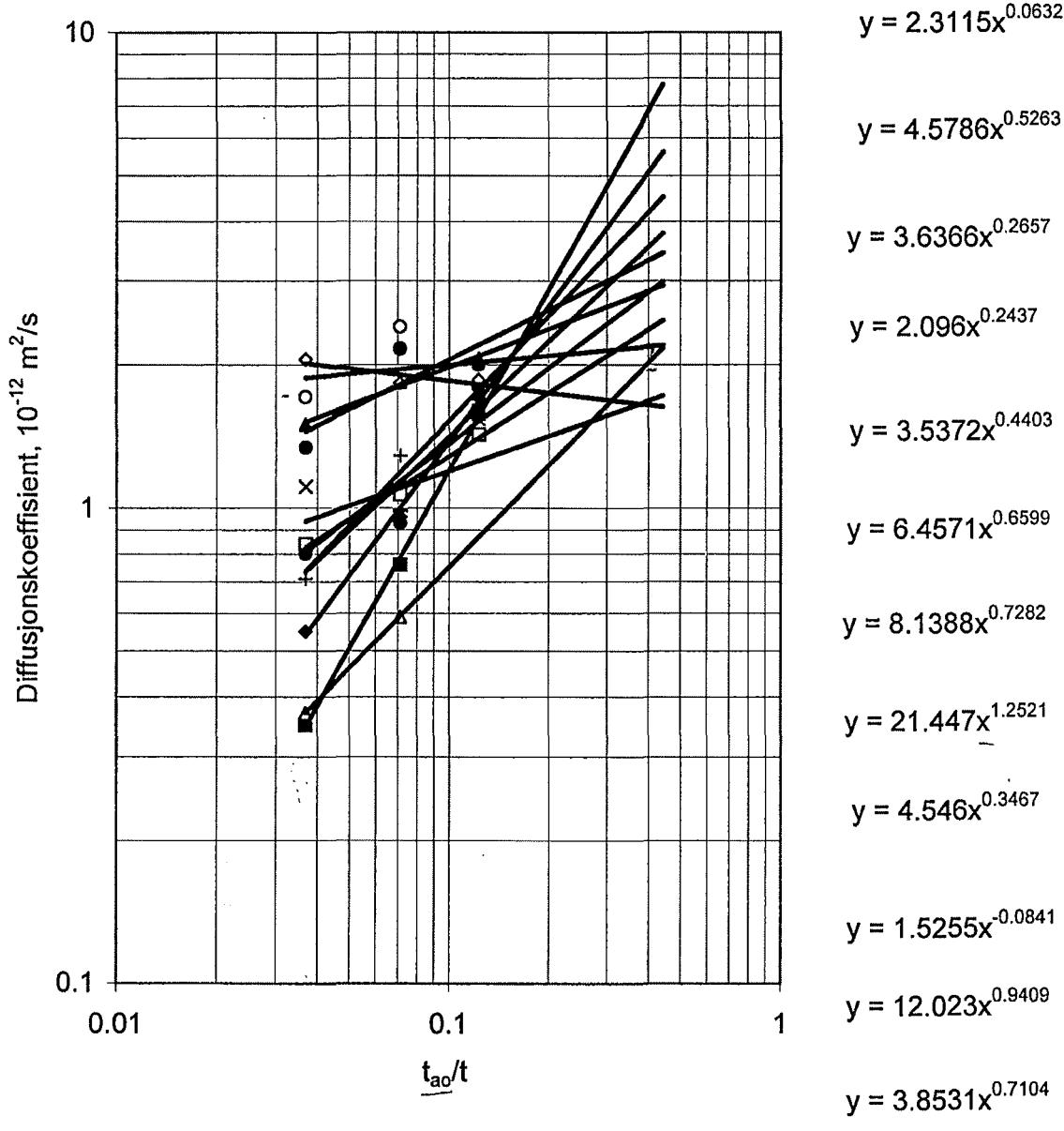
**Østmarkneset 1998 - sagflater  
beregning av alfa for 200 dg - 2 års eksponering**



**Østmarkneset 1998 - støpehud  
beregning av alfa for 200 dg - 2 års eksponering**

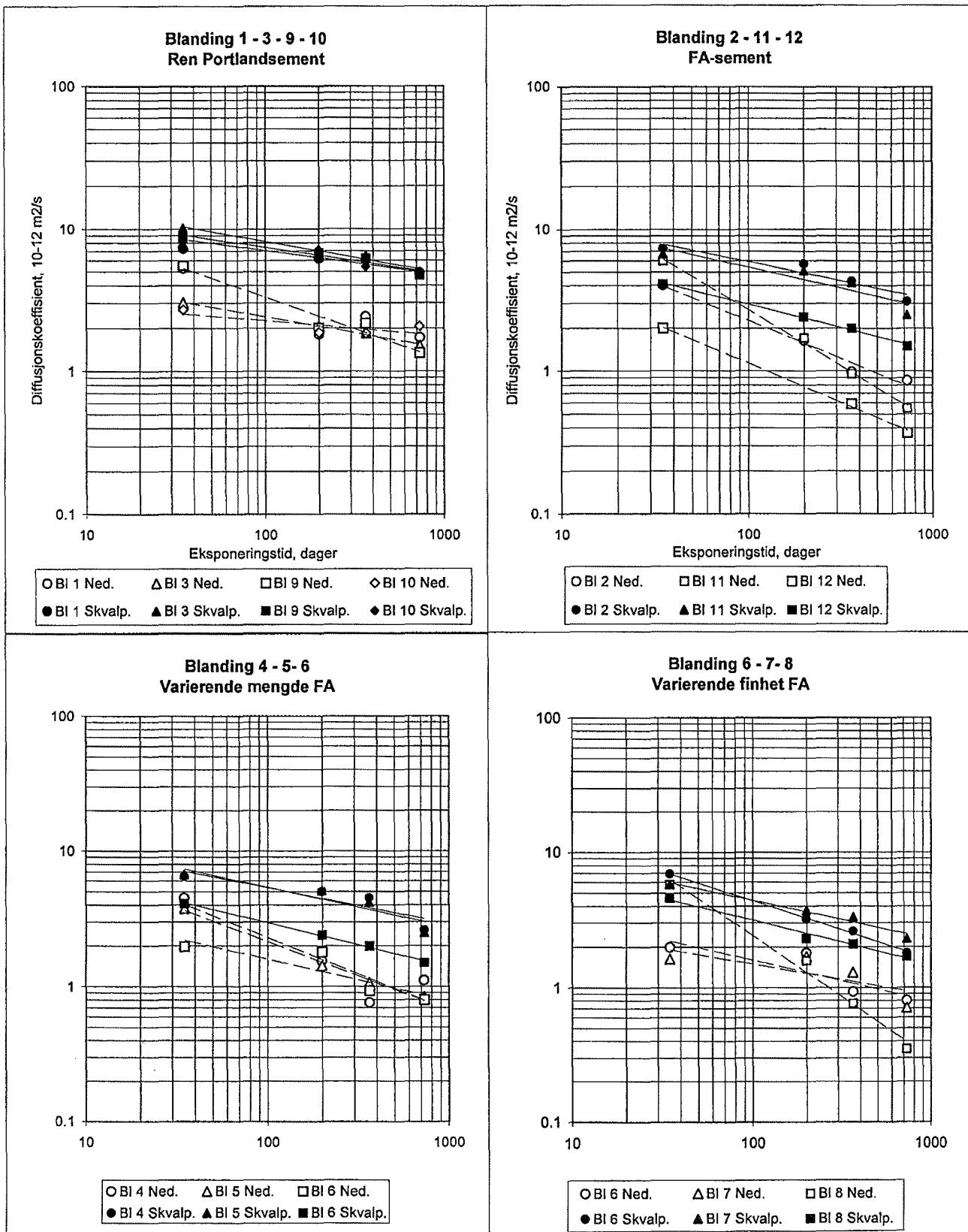


**Norcem Brevik (Ressursvennlig) - sagflater  
beregning av alfa for 200 dg - 2 års eksponering**



## **VEDLEGG 2**

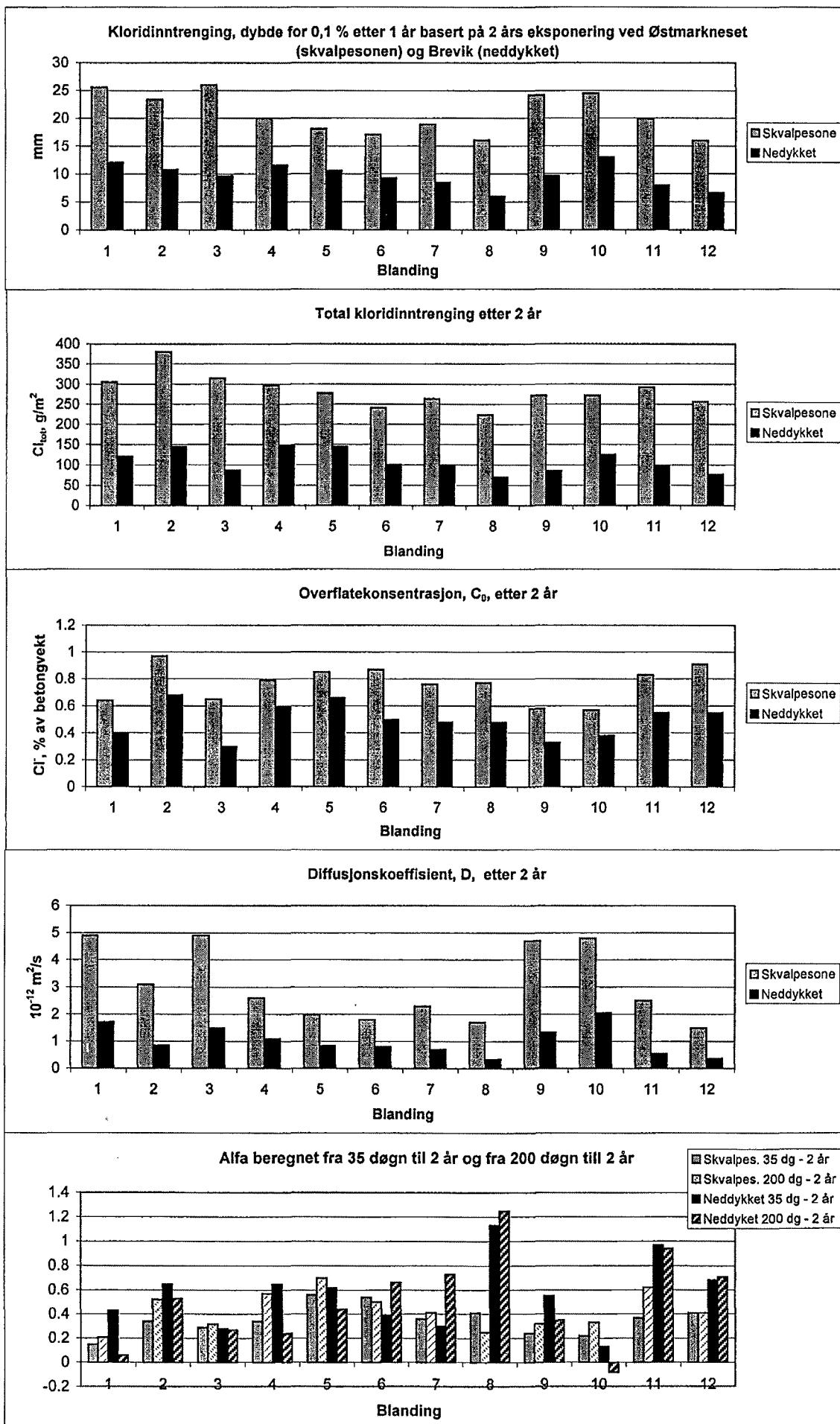
**Diffusjonskoeffisienter for sagflater for prøver  
eksponert neddykket og i skvalpesonen**

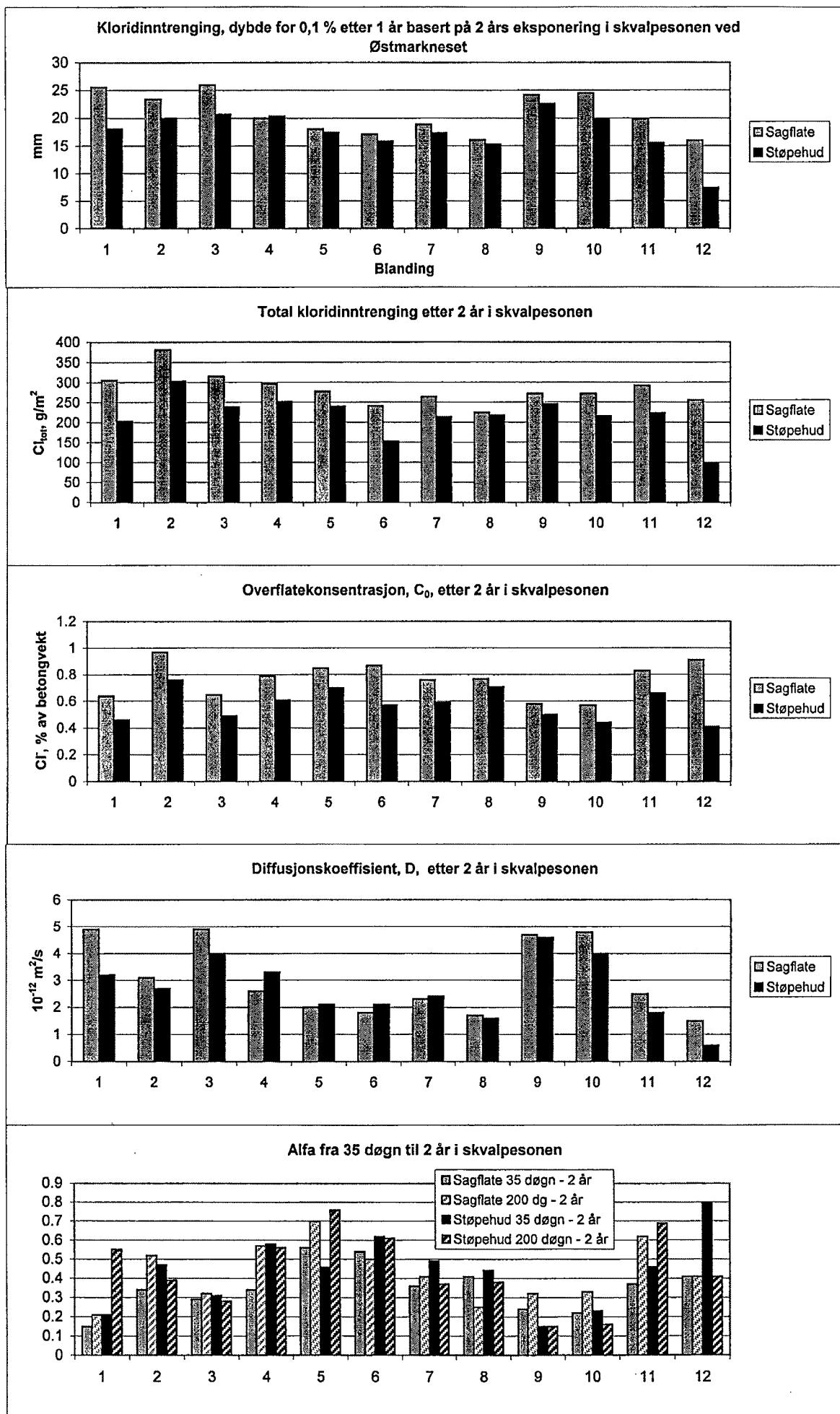


## **VEDLEGG 3**

**Side 1: Sammenstilling av alle resultater fra  
Østmarkneset og Brevik (eksponering av sagflater)**

**Side 2: Sammenstilling av alle resultater fra  
eksponering av både sagflater og støpehud i  
skvalpesonen ved Østmarkneset**





**Vedlegg A6**

**SINTEF prøvingsrapport 70100/11(Akselerert klorid-inntringing ved neddykking i saltløsning i hennhold NT Build 443)**

**(- vedlegg 2 )**



**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAVGIVER

## RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG DP BESTANDIGHET/Kloridinntrenging

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

OPPDRAGETS ART

### Del 11

#### Akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltlösning i henhold til NT Build 443

ARKIVKODE	GRADERING	FAGLIG ANSVARLIG	RAPPORTNUMMER
	Fortrolig	Harald Justnes	70100/11
ELEKTRONISK ARKIVKODE PRØVINGSRAPPORT.doc		SAKSBEARBEIDER	ANT SIDER/VEDLEGG
PROSJEKTNR 22M017.07	DATO 2003-01-23	Ola Skjølvold	2/2

## 1 PRØVING

Data for materialsammensetning, prøving av fersk betong og utstøping av prøvestykker er gjengitt i prøvingsrapport 70100/1.

Sammensetningen av pastaen i de ulike blandinger er gjengitt i Tabell 1.

### 1.1 Prøvestykker

For hver av 12 blandinger ble det utstøpt 3 stk sylinder for bestemmelse av akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltlösning (NT Build 443) og påsprøyting av sjøvann i kammer (SINTEFs interne prosedyre KS70 116, modifisert). Etter 6 måneders vannlagring ble sylinderne delt i to, og en halvdel fra hver sylinder ble benyttet til hver type prøving. Resultatene fra påsprøytingen av sjøvann rapporteres separat.

### 1.2 Prøving, NT Build 443

Prøvingen ble utført i henhold til NT Build 443 ved 35 døgns neddykking i saltlösning med 165 g NaCl pr liter løsning. Umiddelbart (samme dag) etter avsluttet eksponering ble det frest tynne sjikt (1-2 mm) fra overflata inn til total dybde 21 mm. Kloridinnholdet i freste sjikt ble bestemt spektrofotometrisk i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS70 108.

Kloridprofilene for alle blandinger er gjengitt i VEDLEGG 1. Beregnet diffusjonskoeffisient ( $D_{Cl}$ ) og overflatespenning ( $C_0$ ) for alle blandinger er gjengitt i Tabell 2 og 3, Resultatene er også framstilt grafisk i Figur 1.

Alle måleverdier og beregninger for alle prøvestykker er gjengitt i VEDLEGG 2.

**Tabell 1 Pastasammensetning**

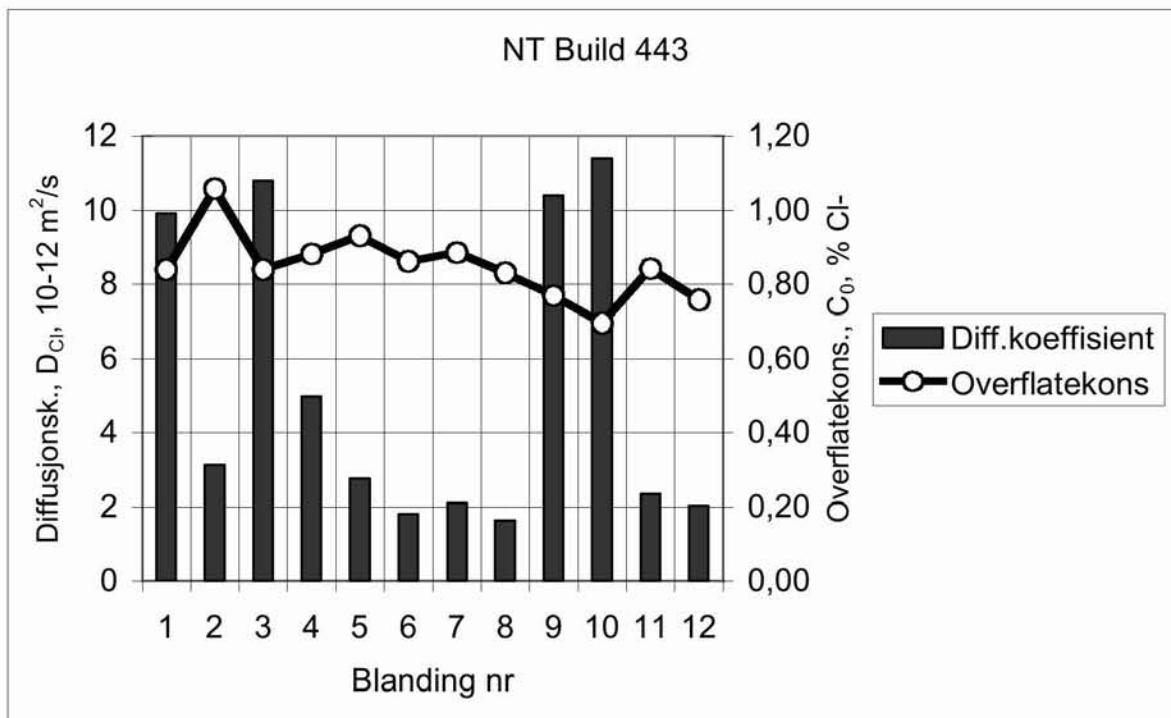
Blanding nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 624				37	74	128						
	Umalte							73					
	Finmalt 1010								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
v/b		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40

**Tabell 2 Prøvingsresultater, blanding 1-6**

Blanding		1	2	3	4	5	6
C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup>	Middel	0,84	1,06	0,84	0,88	0,93	0,86
	St.avvik	0,07	0,06	0,04	0,05	0,06	0,07
D <sub>Cl</sub> , 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	Middel	9,91	3,12	10,8	4,98	2,75	1,80
	St.avvik	0,92	0,40	0,31	0,13	0,45	0,17

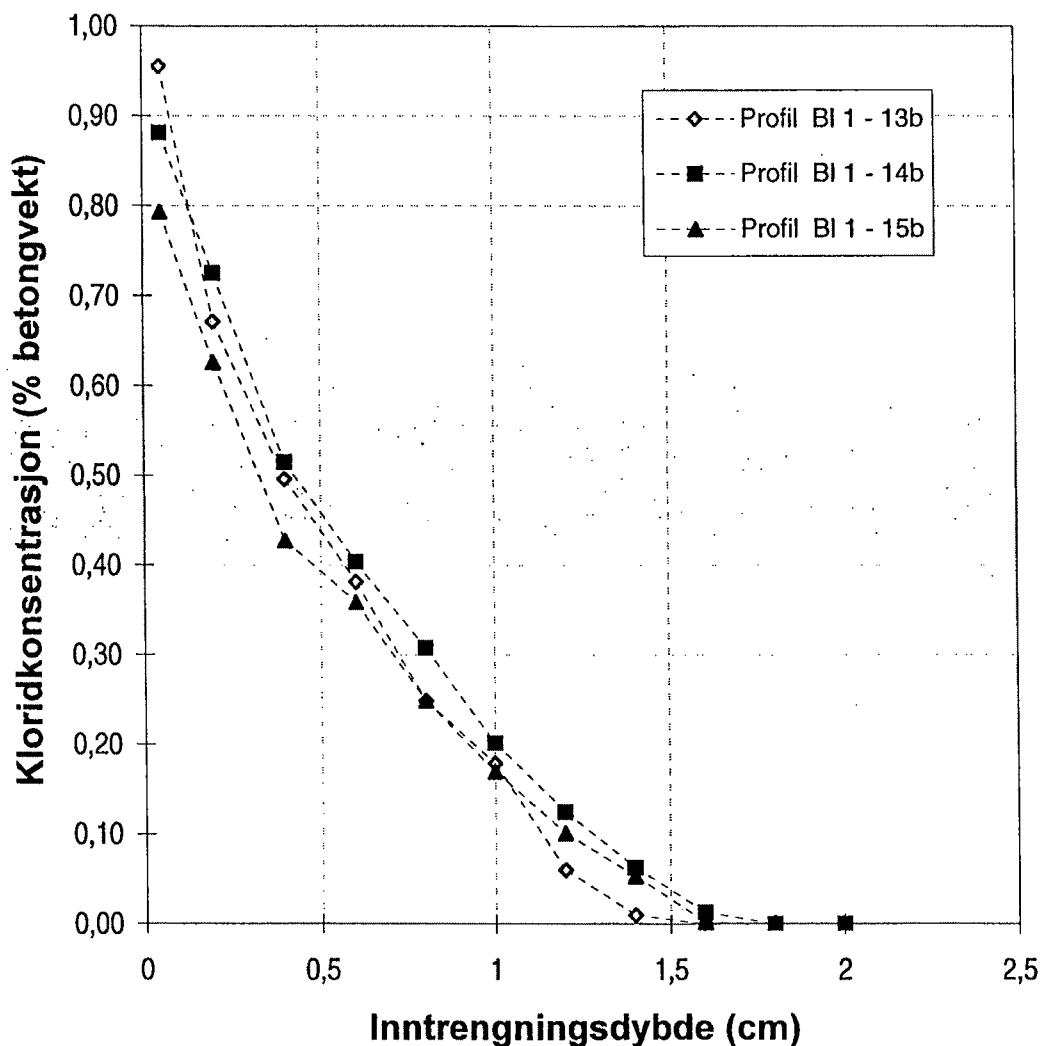
**Tabell 3 Prøvingsresultater, blanding 7-12**

Blanding		7	8	9	10	11	12
C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup>	Middel	0,89	0,83	0,77	0,70	0,84	0,76
	St.avvik	0,04	0,02	0,04	0,03	0,11	0,07
D <sub>Cl</sub> , 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	Middel	2,10	1,63	10,4	11,4	2,35	2,03
	St.avvik	0,11	0,02	0,36	0,74	0,28	0,41

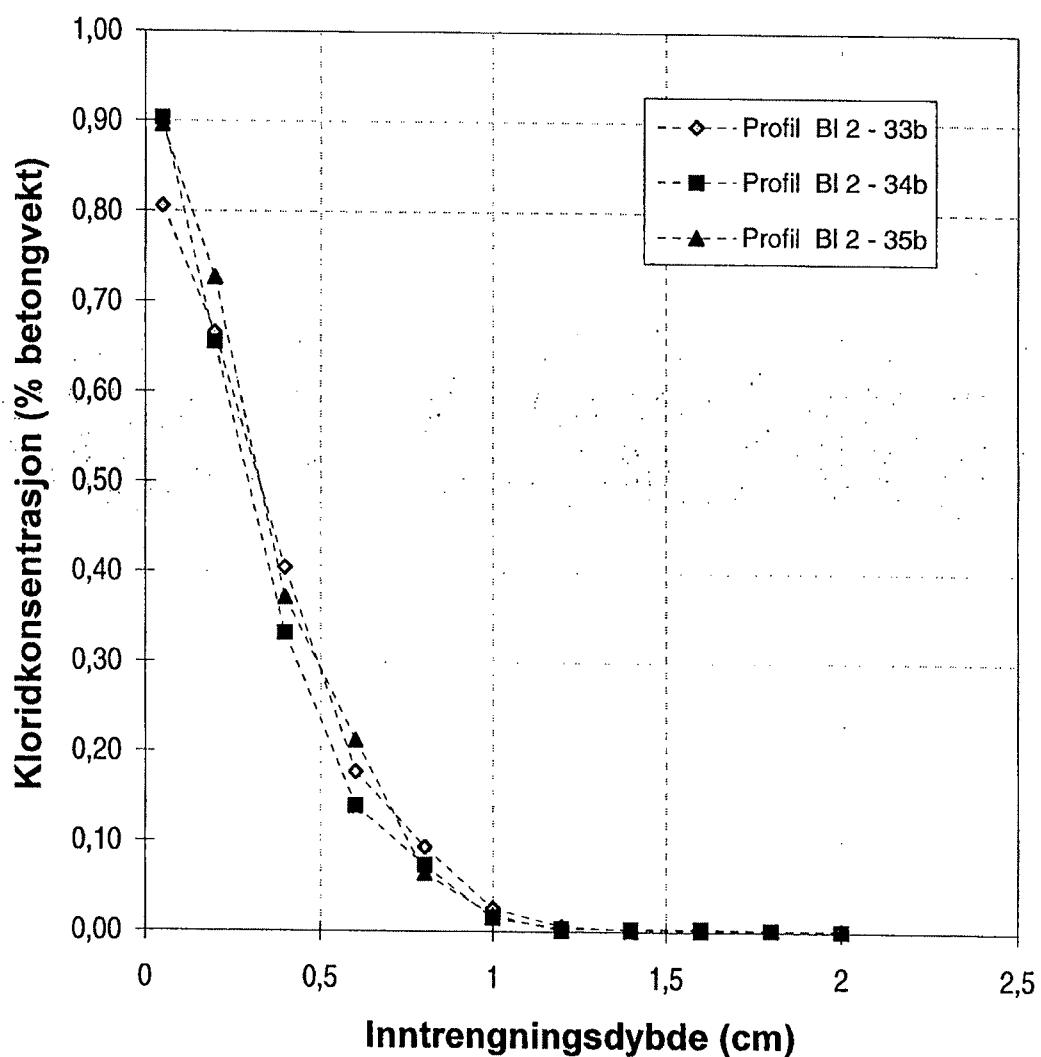

**Figur1** Diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for 12 blandinger

**Vedlegg 1****Kloridprofiler - samleplott  
(12 sider)**

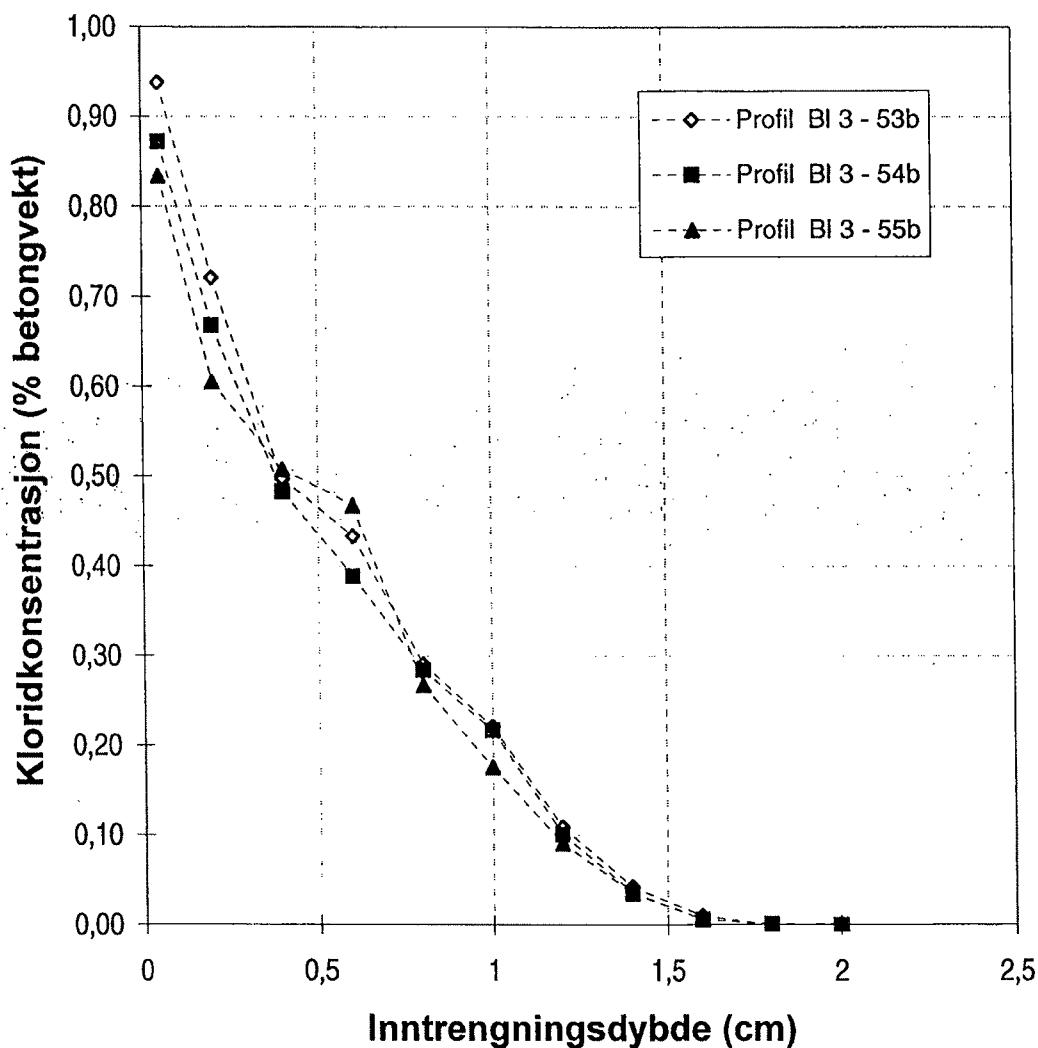
## Blanding 1



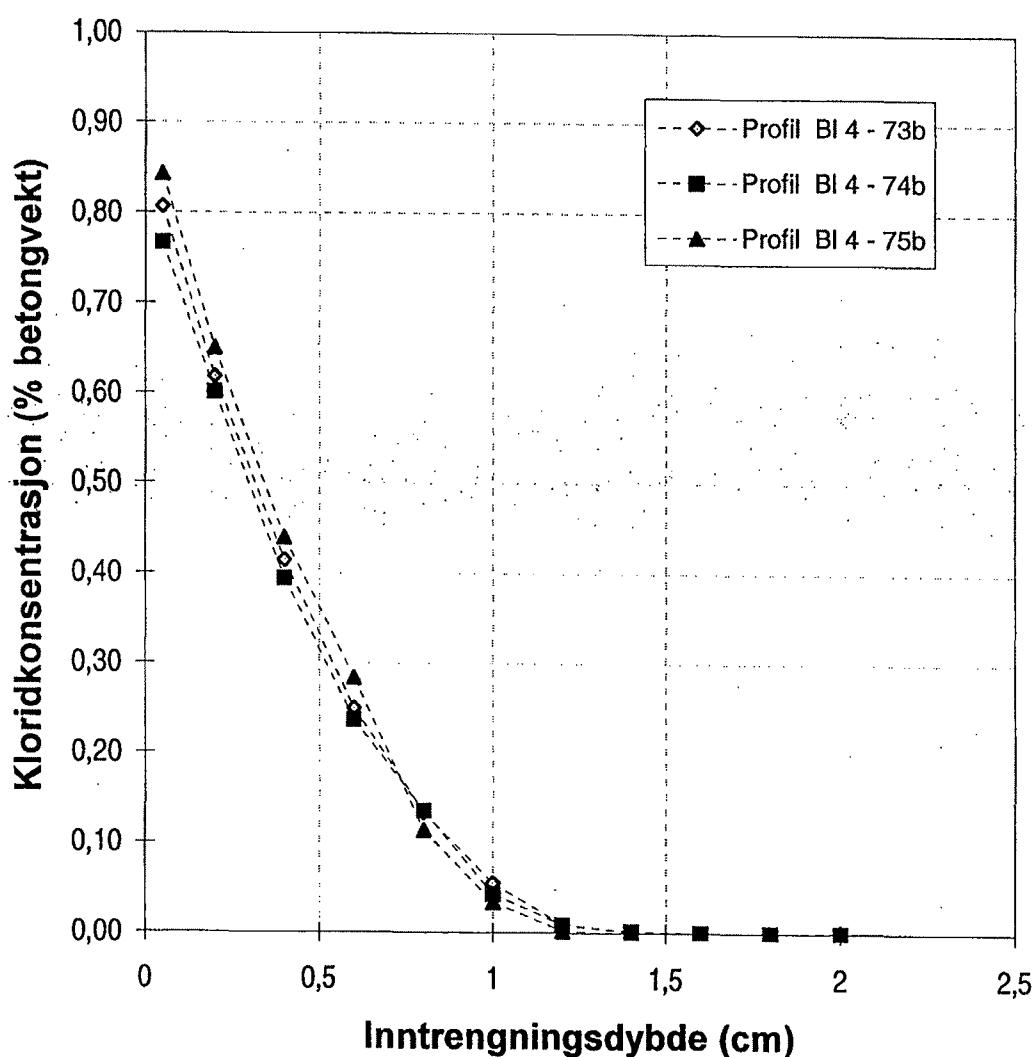
## Blanding 2



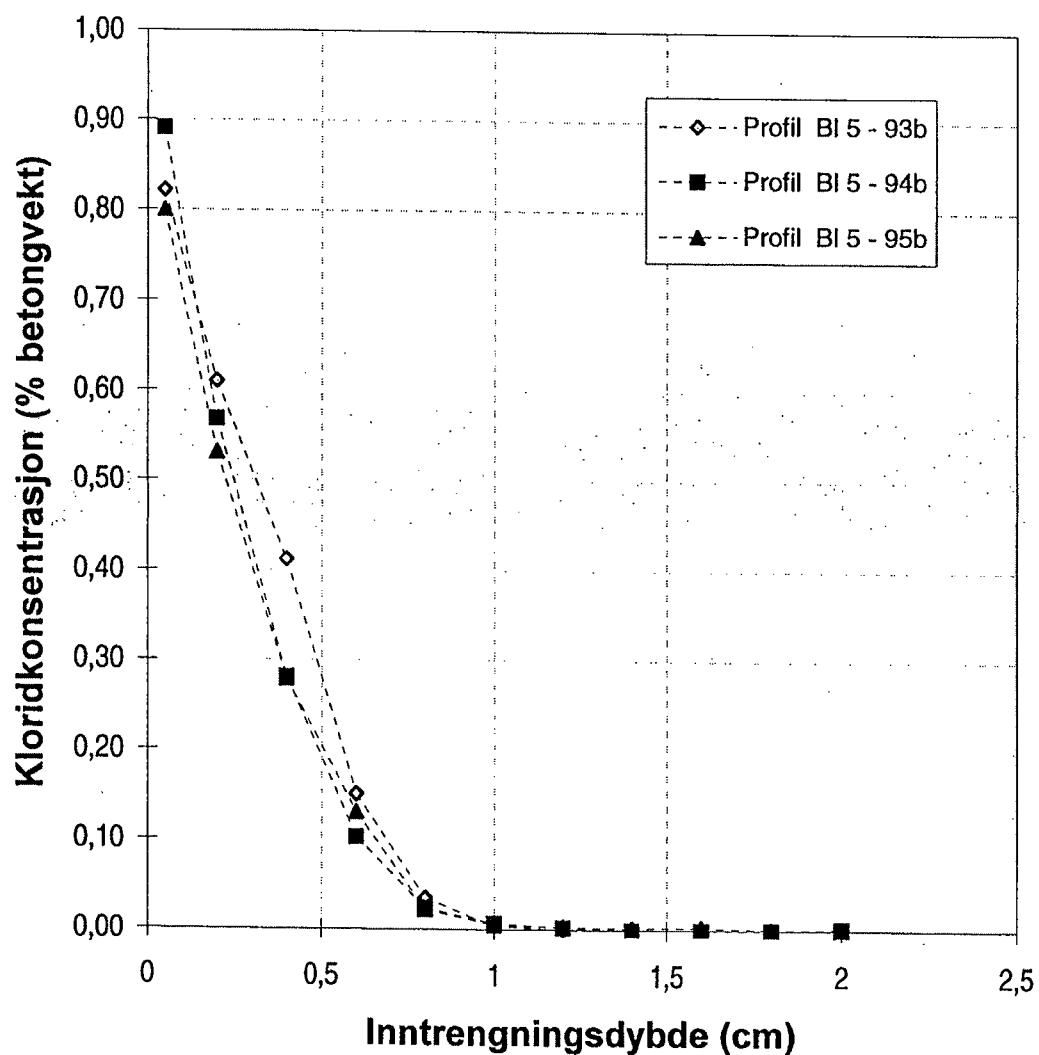
### Blanding 3



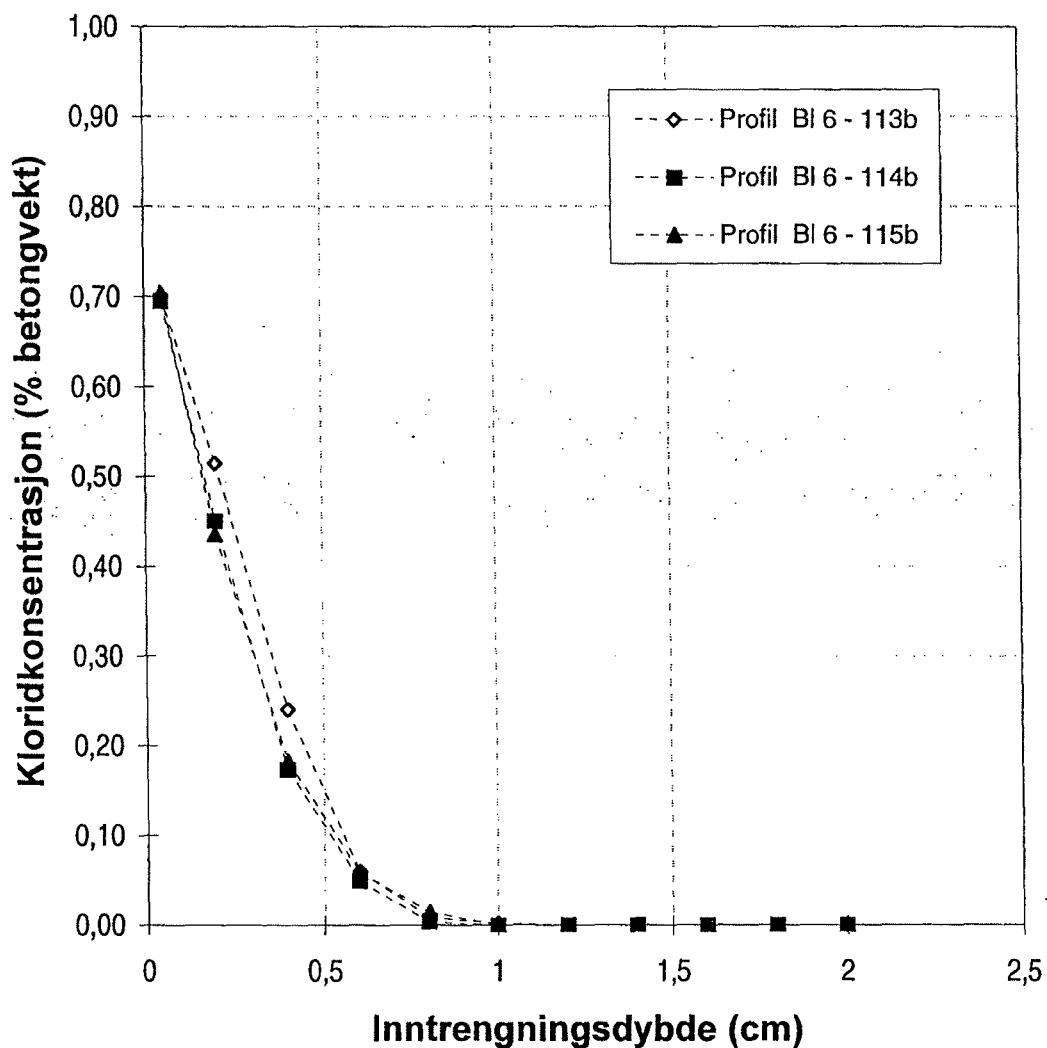
## Blanding 4



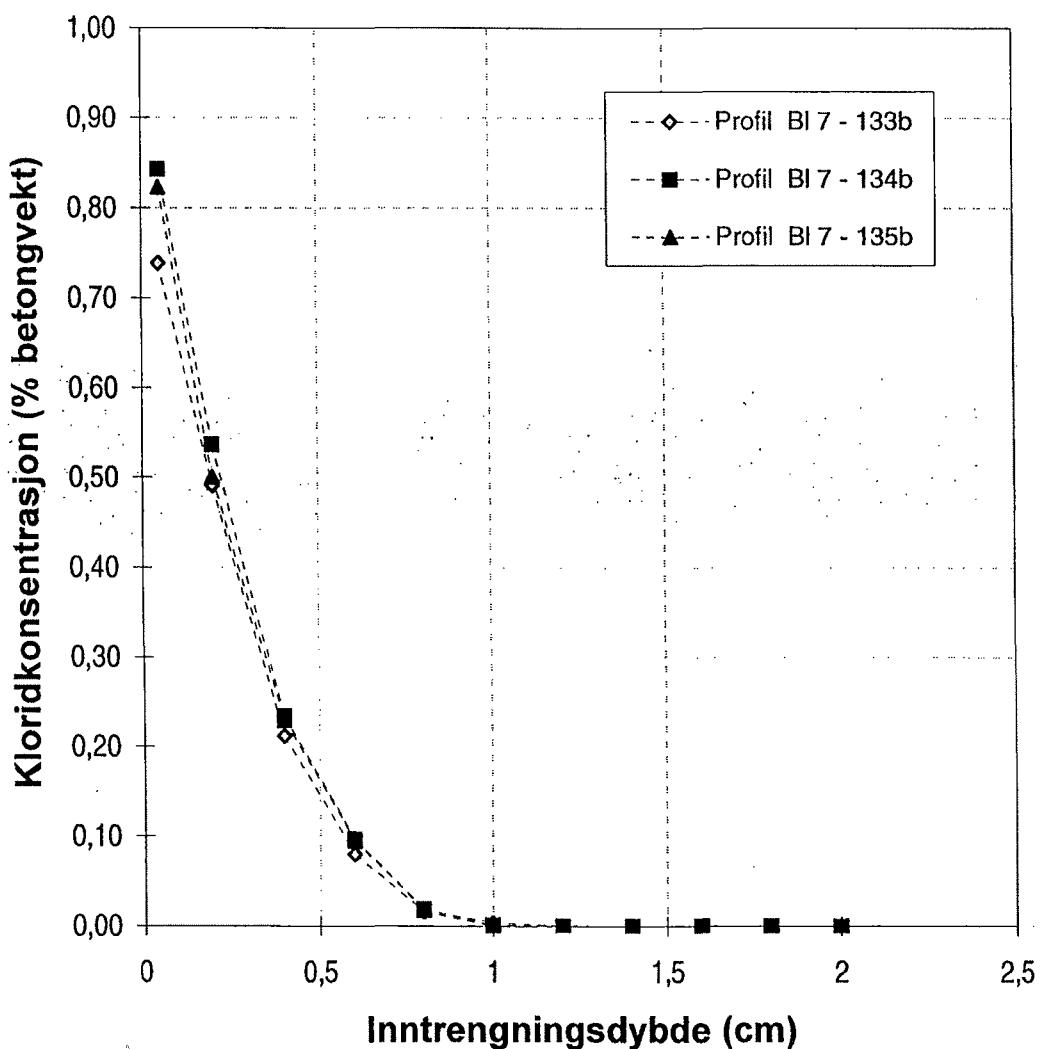
## Blanding 5



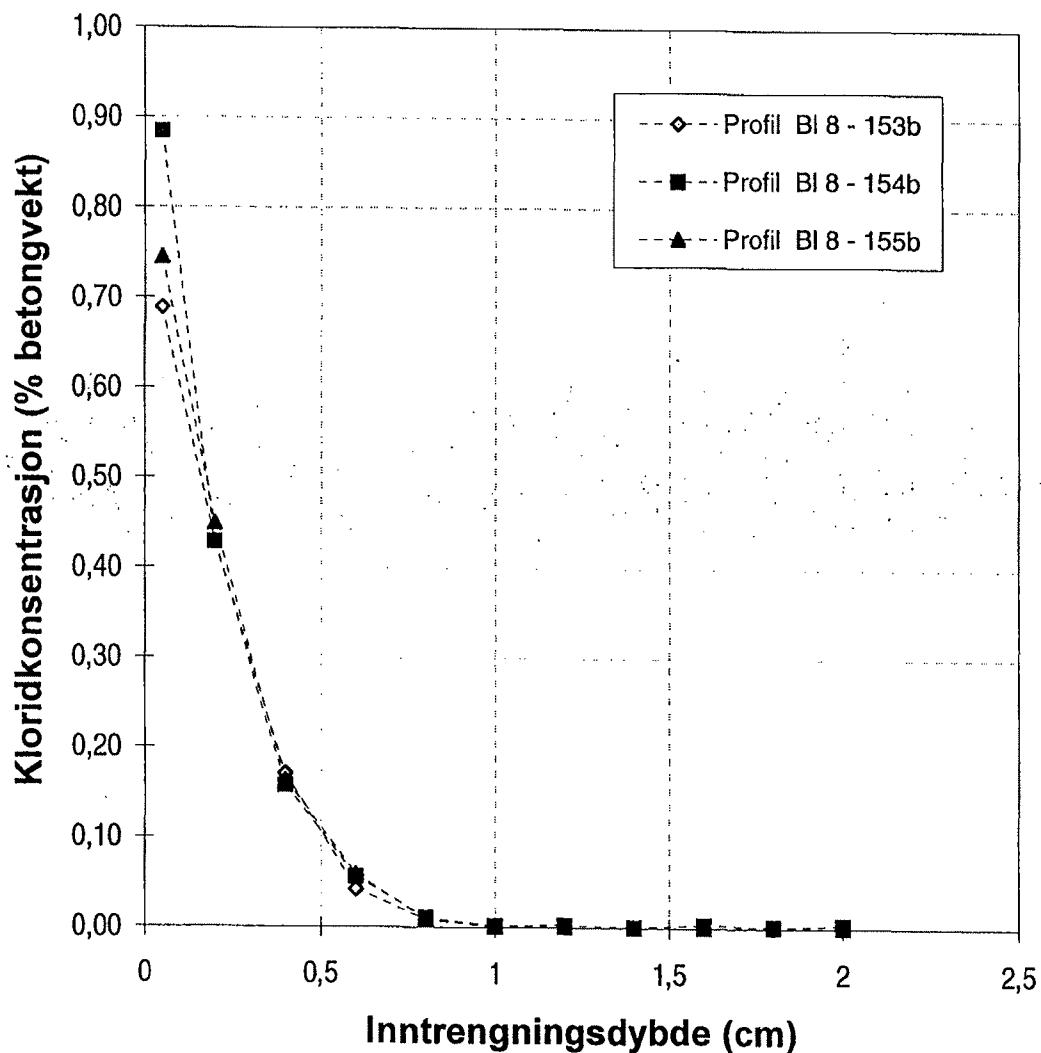
## Blanding 6



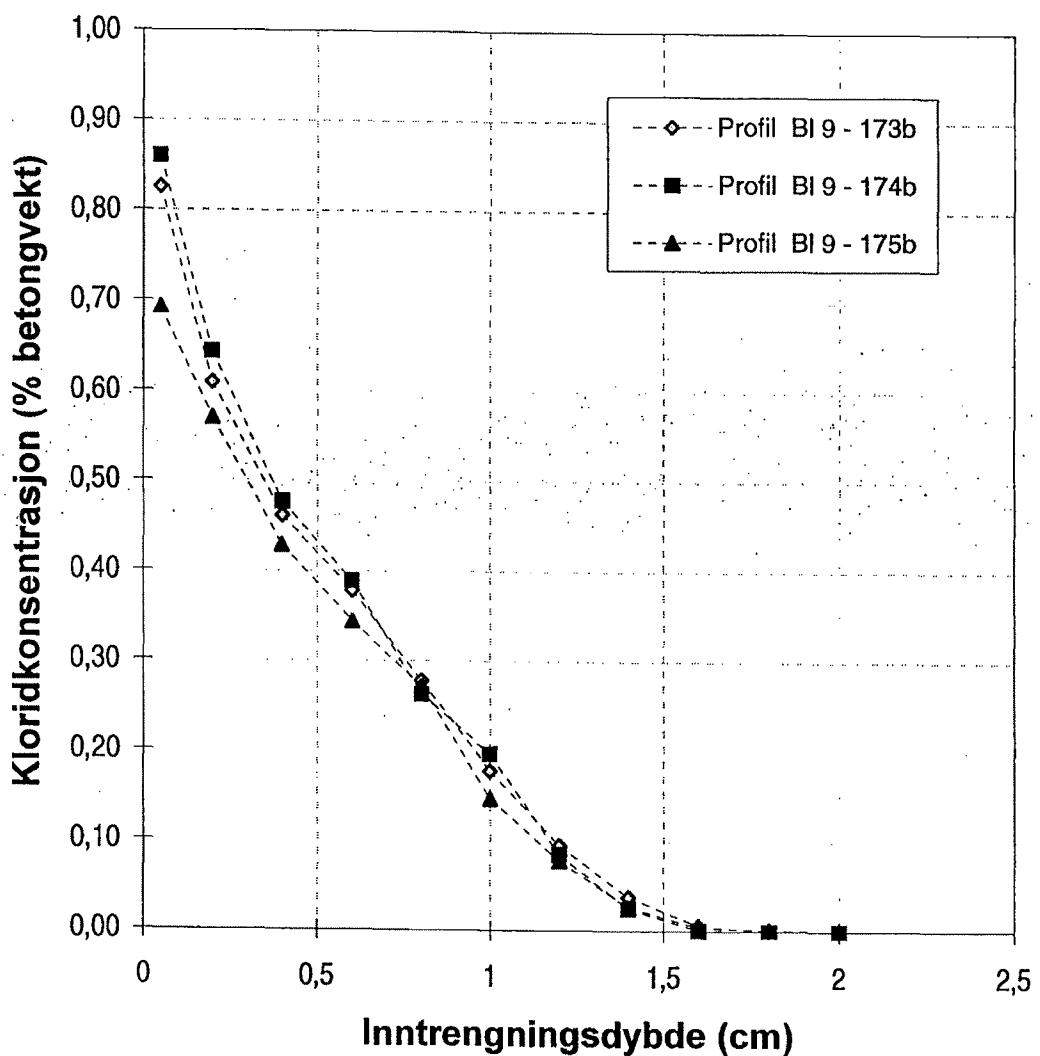
## Blanding 7



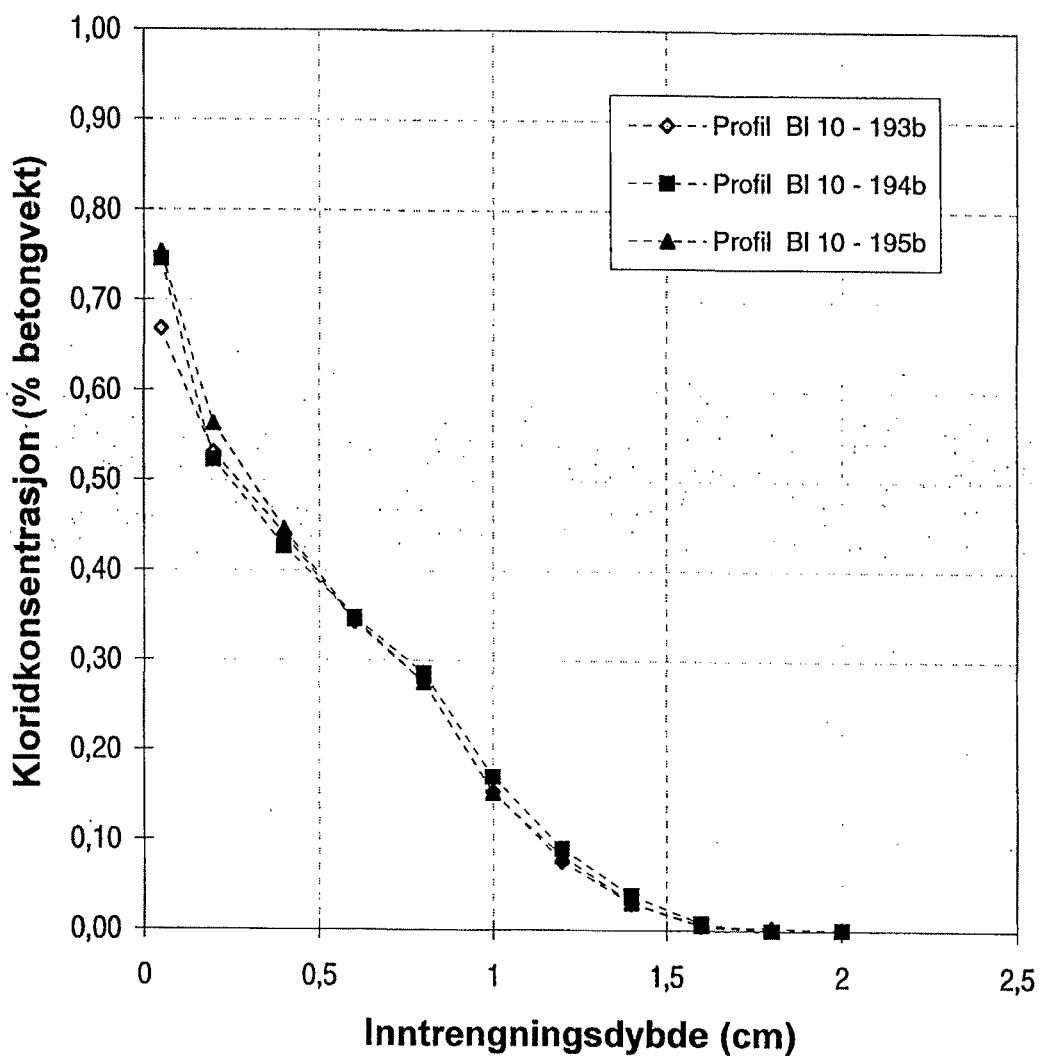
## Blanding 8



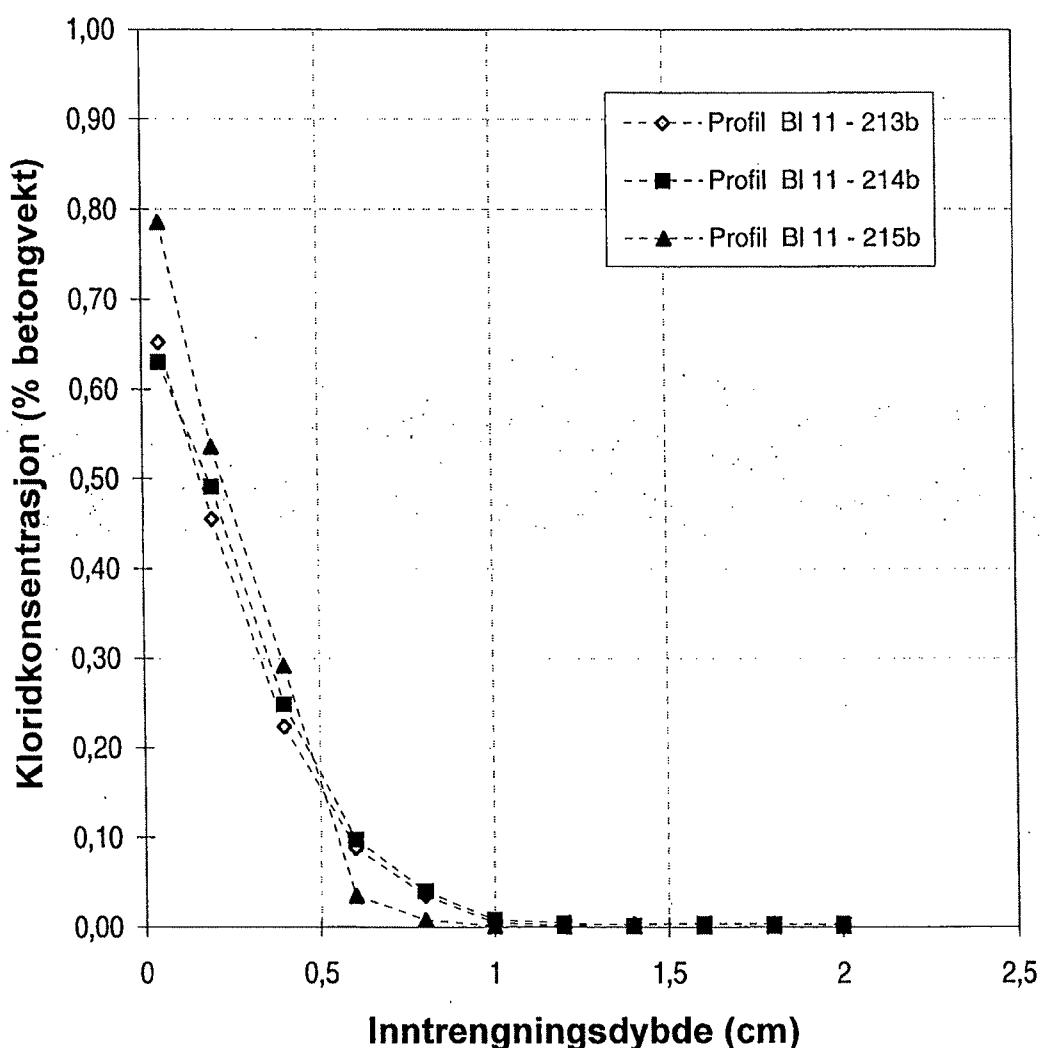
## Blanding 9



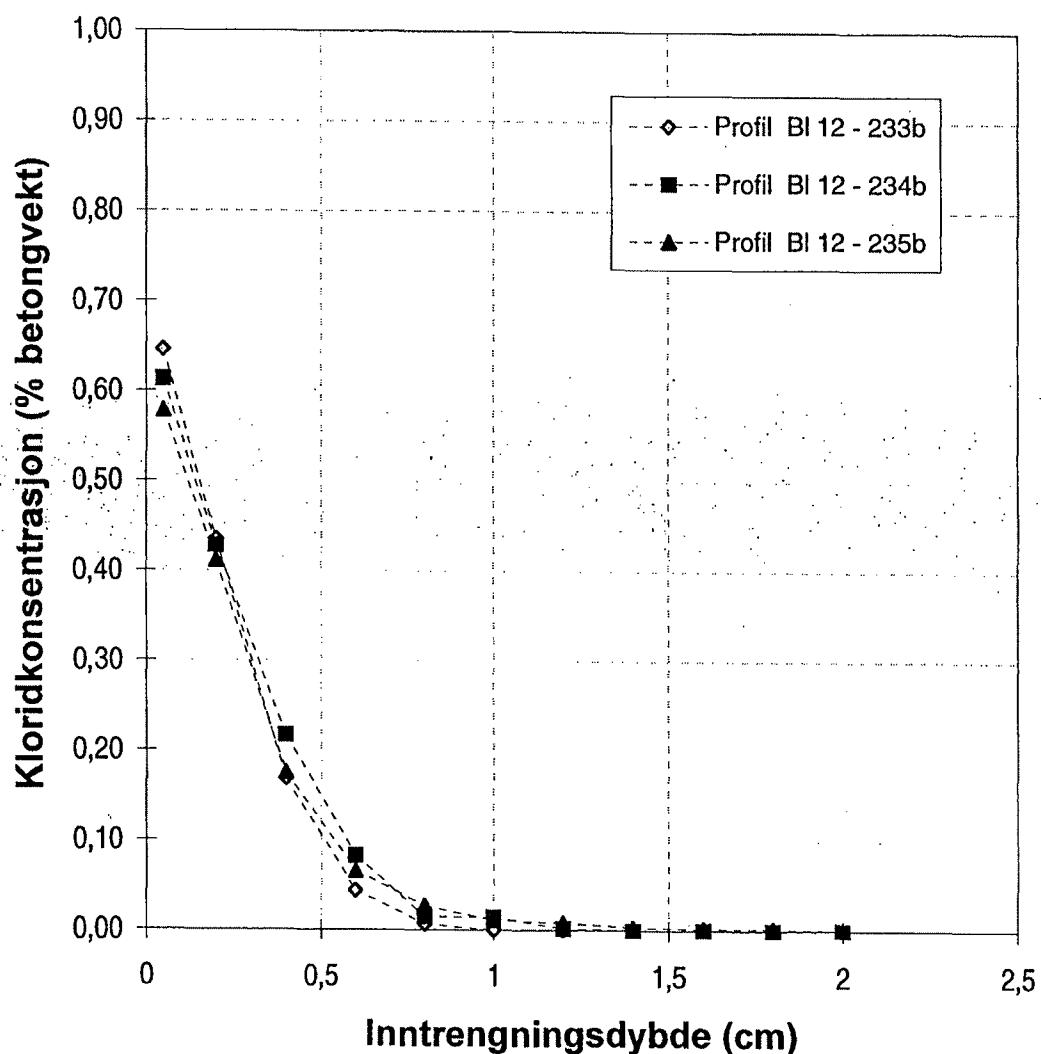
## Blanding 10



## Blanding 11



## Blanding 12



**VEDLEGG A7:** SINTEF prøvingsrapport 70100/12 (Akselerert kloridinnntrenging ved-  
påsprøyting av sjøvann (KS70 116 modifisert)

(- VEDLEGG 2)



**SINTEF**

**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAAGSGIVER

## RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG DP BESTANDIGHET/Kloridinntrenging

BESTILLING / OPPDRAAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

OPPDRAAGETS ART

### Del 12

#### Akselerert kloridinntrenging ved påsprøyting av sjøvann (KS70 116 modifisert)

ARKIVKODE	GRADERING		RAPPORTNUMMER
	Fortrolig	Harald Justnes	70100/12
ELEKTRONISK ARKIVKODE H:\pro\22m017\07\70100-12 Prøvingsrapport			
PROSJEKTNR 22M017.07	DATO 1999-05-06	SAKSBEARBEIDER Ola Skjølvold	ANT SIDER/VEDLEGG 2/2

## 1 PRØVING

Data for materialsammensetning, prøving av fersk betong og utstøping av prøvestykker er gjengitt i prøvingsrapport 70100/1.

Sammensetningen av pastaen i de ulike blandingene er gjengitt i Tabell 1.

### 1.1 Prøvestykker

For hver av 12 blandinger ble det utstøpt 3 stk sylinder for bestemmelse av akselerert kloridinntrenging ved neddykking i saltløsning (NT Build 443) og påsprøyting av sjøvann i kammer (SINTEFs interne prosedyre KS70 116, modifisert). Etter 6 måneders vannlagring ble sylinderne delt i to, og en halvdel fra hver sylinder ble benyttet til hver type prøving. Resultatene fra prøving i henhold til NT Build 443 rapporteres separat.

### 1.2 Prøving, påsprøyting av sjøvann

Prøvingen ble i hovedsak utført i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS70 116, men det ble benyttet sjøvann istedenfor NaCl-løsning. Sjøvannets NaCl-innhold var ca 3 %. Umiddelbart (samme dag) etter avsluttet eksponering ble det frest tynne sjikt (1-2 mm) fra overflata inn til total dybde 21 mm. Kloridinnholdet i freste sjikt ble bestemt spektrofotometrisk i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS70 108.

Kloridprofilene for alle blandinger er gjengitt i VEDLEGG 1. Beregnet diffusjonskoeffisient ( $D_{Cl}$ ) og overflatespenning ( $C_0$ ) for alle blandinger er gjengitt i Tabell 2 og 3. Resultatene er også framstilt grafisk i Figur 1.

Alle måleverdier og beregninger for alle prøvestykker er gjengitt i VEDLEGG 2.

**Tabell 1 Pastasammensetning**

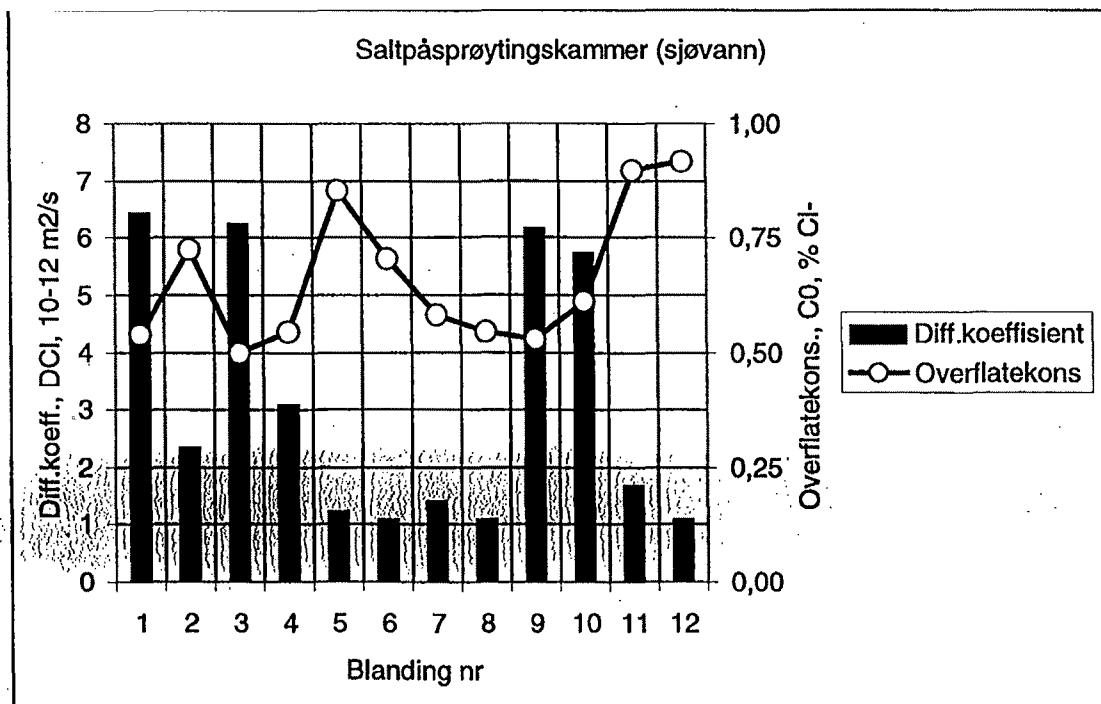
Blanding nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flyge- aske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 624				37	74	128						
	Umalt							73					
	Finmalt 1010								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
v/b		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40

**Tabell 2 Prøvingsresultater, blanding 1-6**

Blanding		1	2	3	4	5	6
C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup>	Middel	0,54	0,72	0,50	0,54	0,85	0,70
	St.avvik	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,12
D <sub>Cl</sub> , 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	Middel	6,42	2,35	6,25	3,08	1,22	1,10
	St.avvik	0,10	0,08	0,49	0,33	0,23	0,07

**Tabell 3 Prøvingsresultater, blanding 7-12**

Blanding		7	8	9	10	11	12
C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup>	Middel	0,58	0,54	0,53	0,61	0,90	0,92
	St.avvik	0,09	0,04	0,00	0,03	0,04	0,08
D <sub>Cl</sub> , 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	Middel	1,40	1,08	6,16	5,73	1,68	1,08
	St.avvik	0,17	0,01	0,40	0,24	0,28	0,05

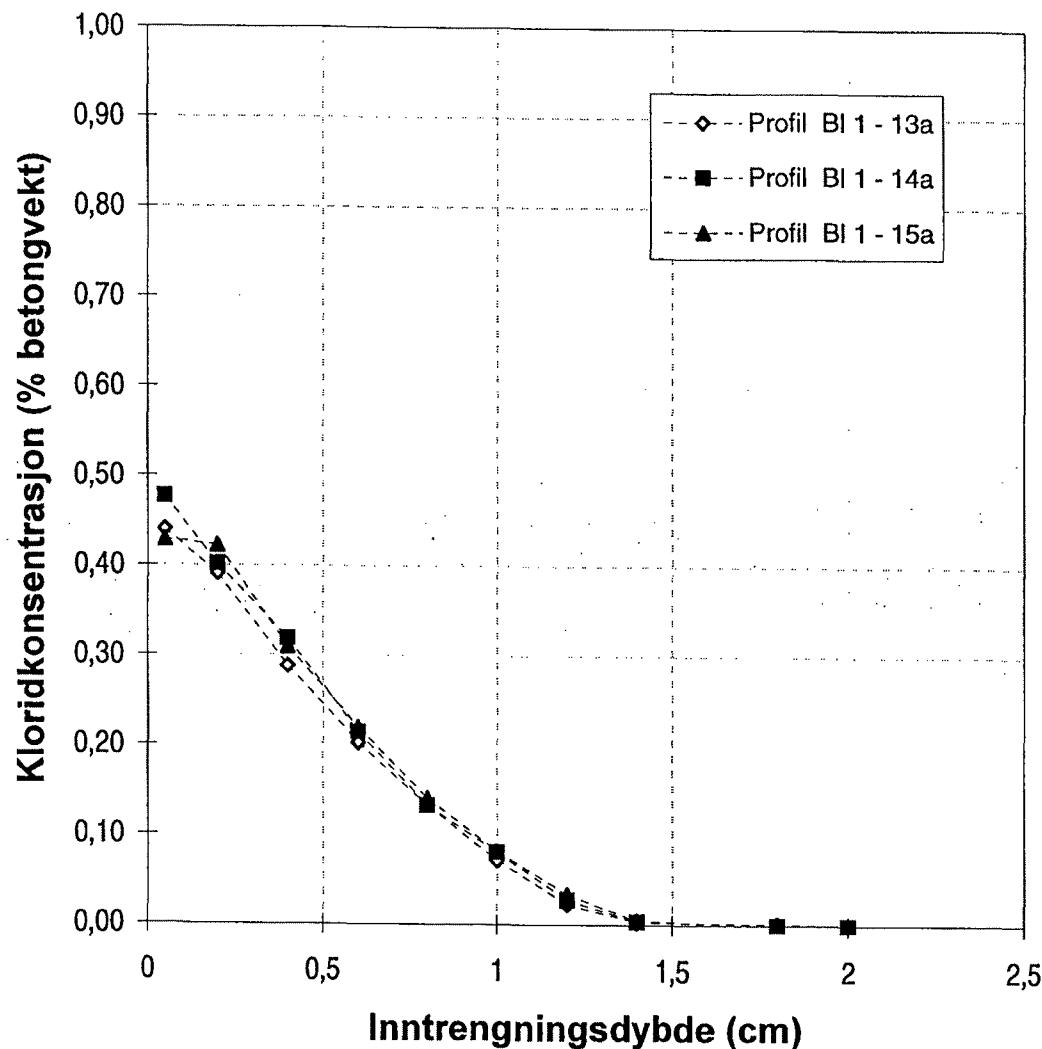

**Figur 1** Diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon for 12 blandinger

## **Vedlegg 1**

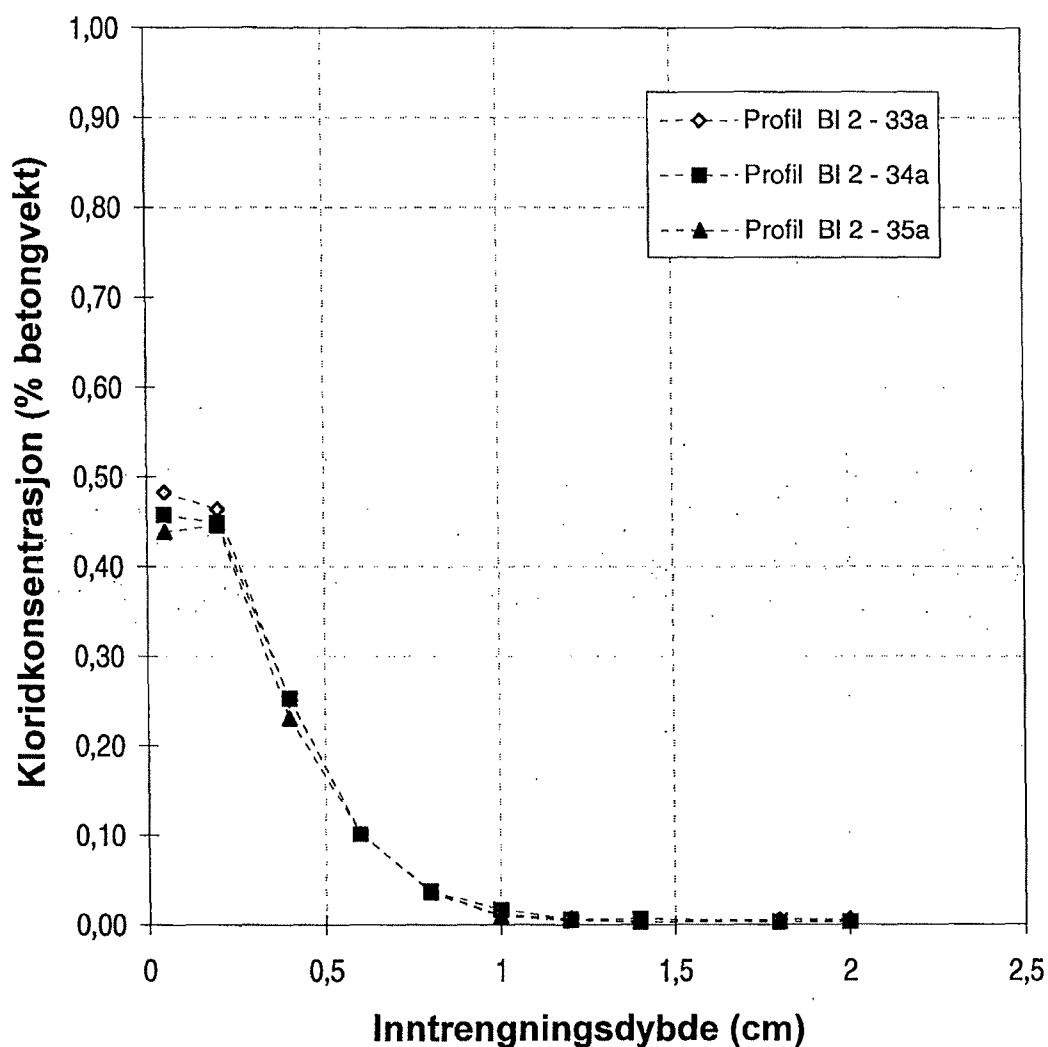
**Kloridprofiler - samleplott**

**(12 sider)**

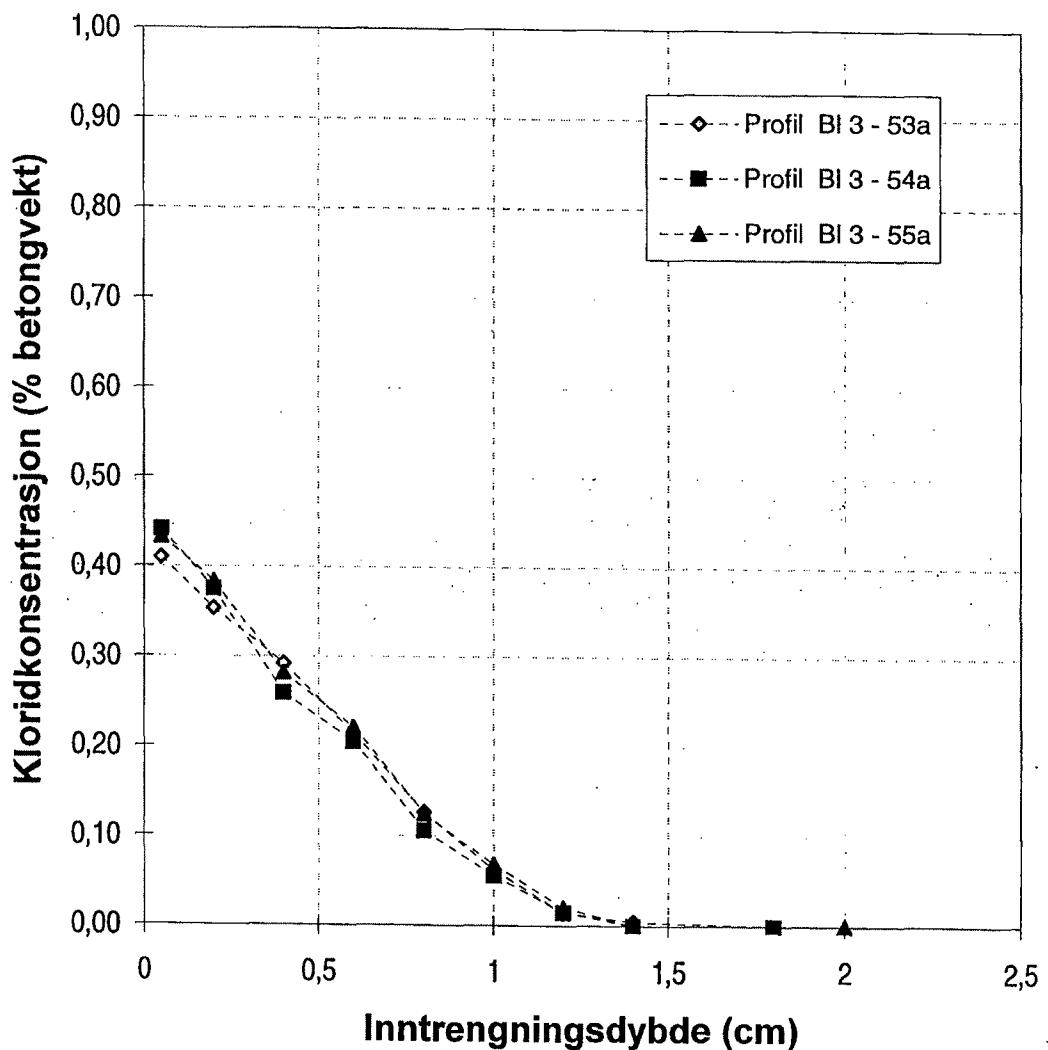
## Blanding 1



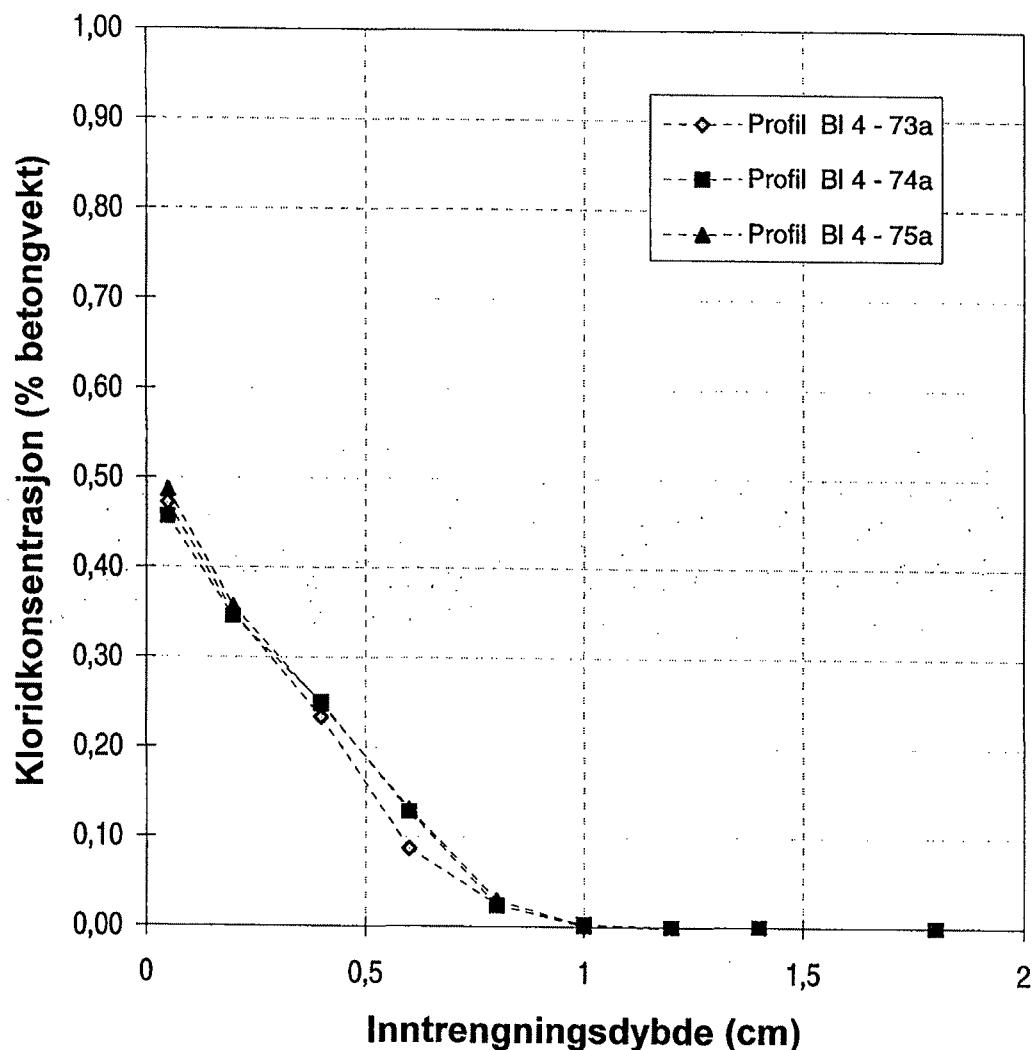
## Blanding 2



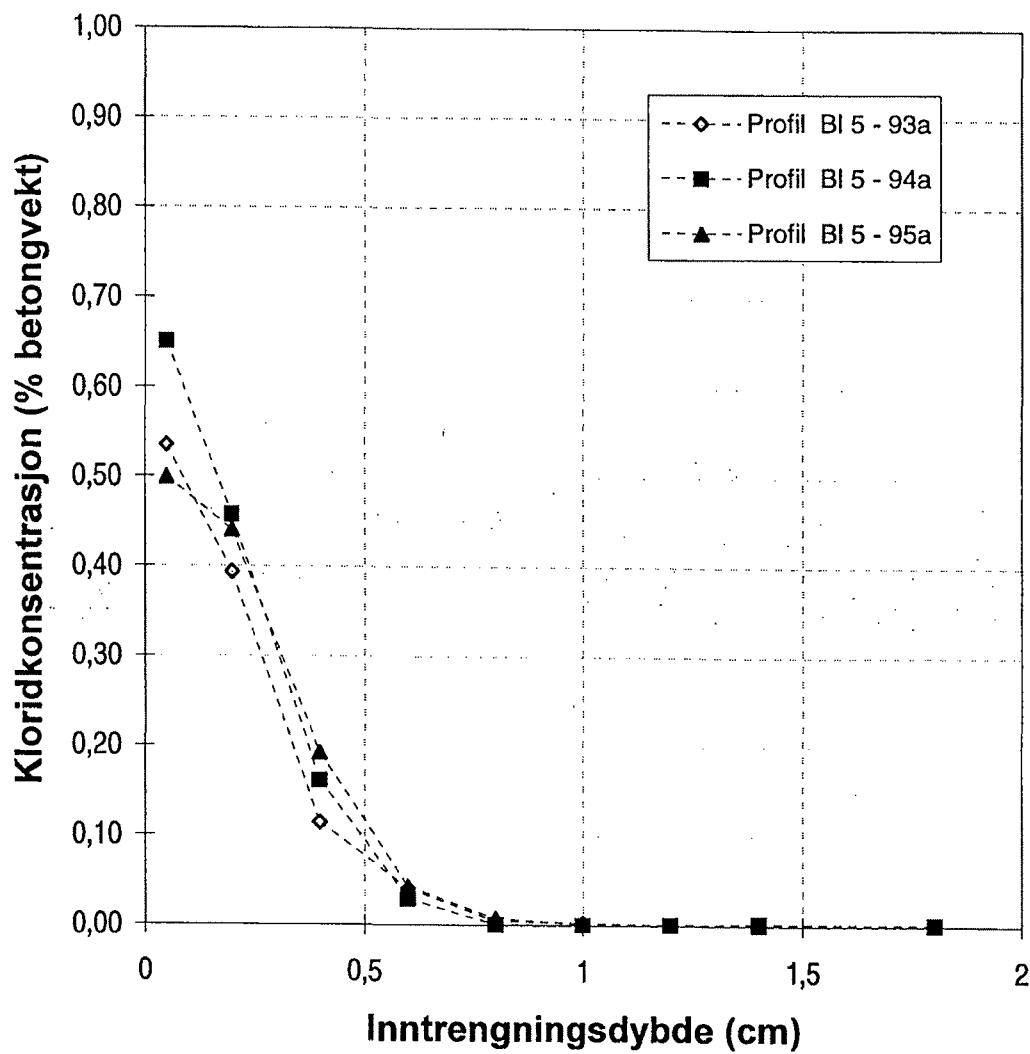
### Blanding 3



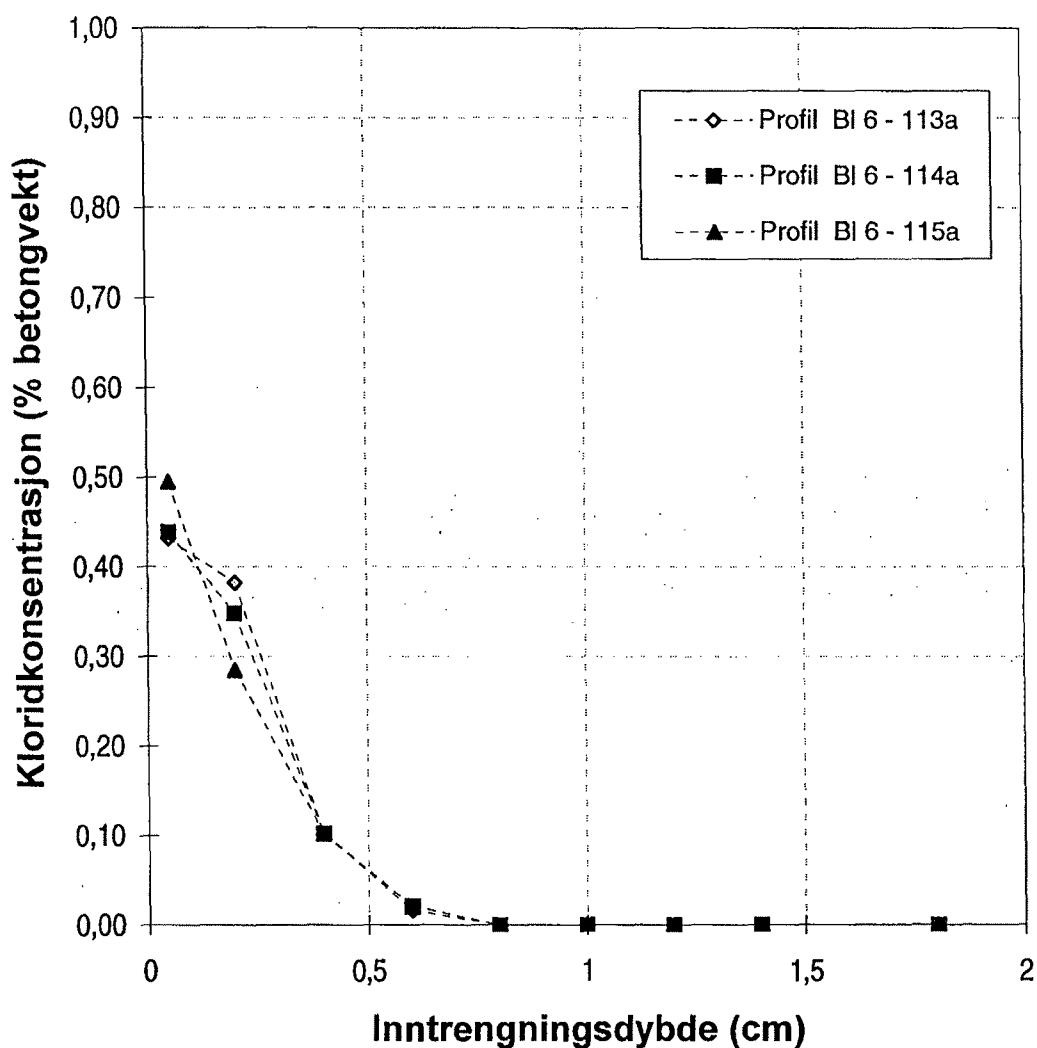
## Blanding 4



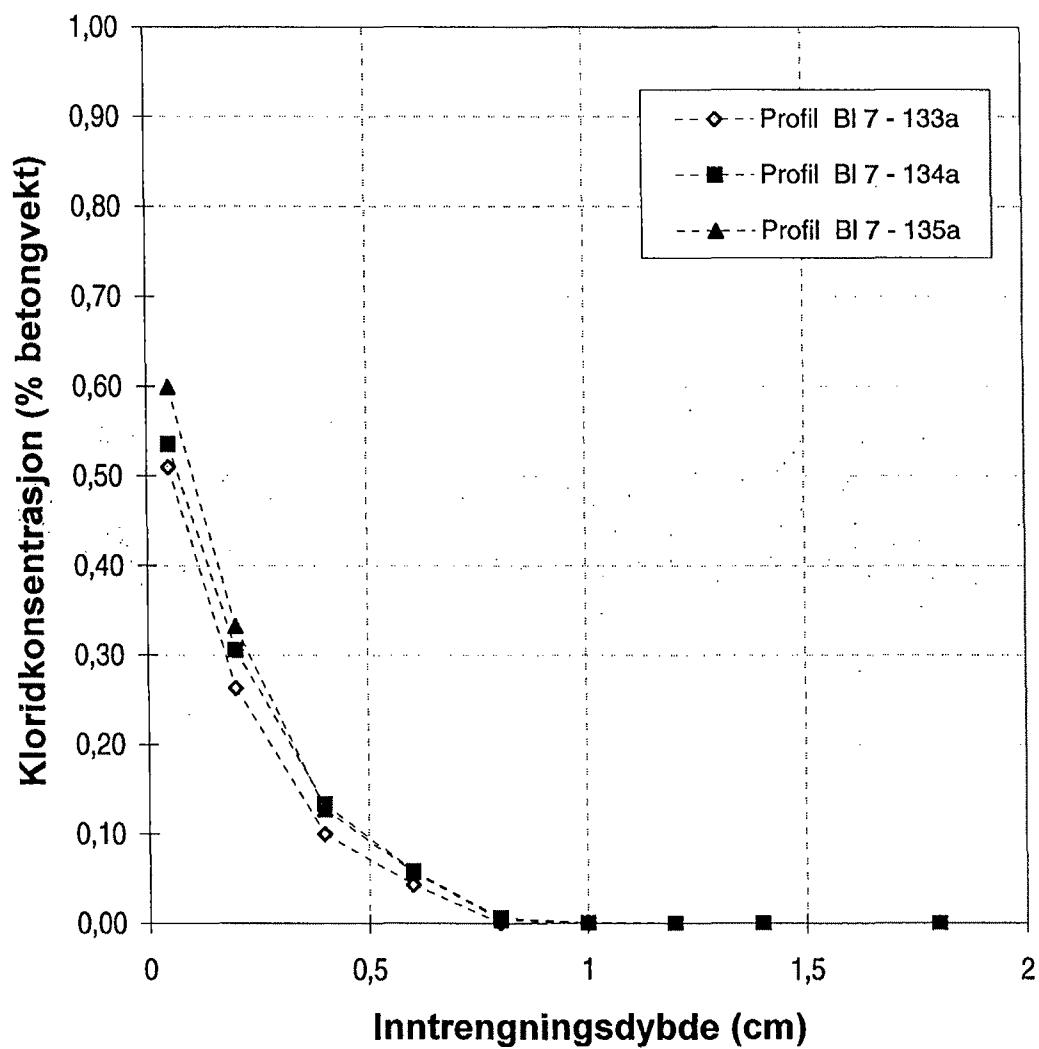
## Blanding 5



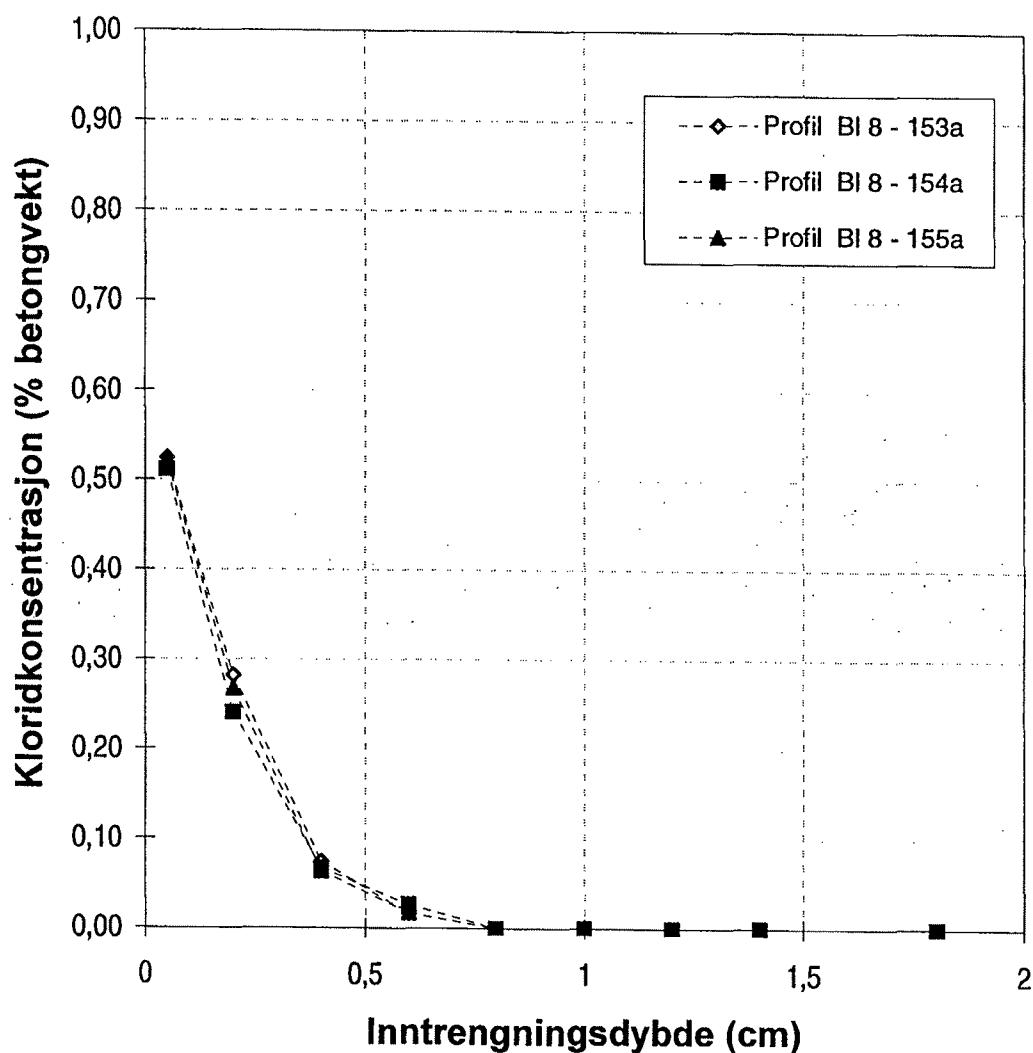
## Blanding 6



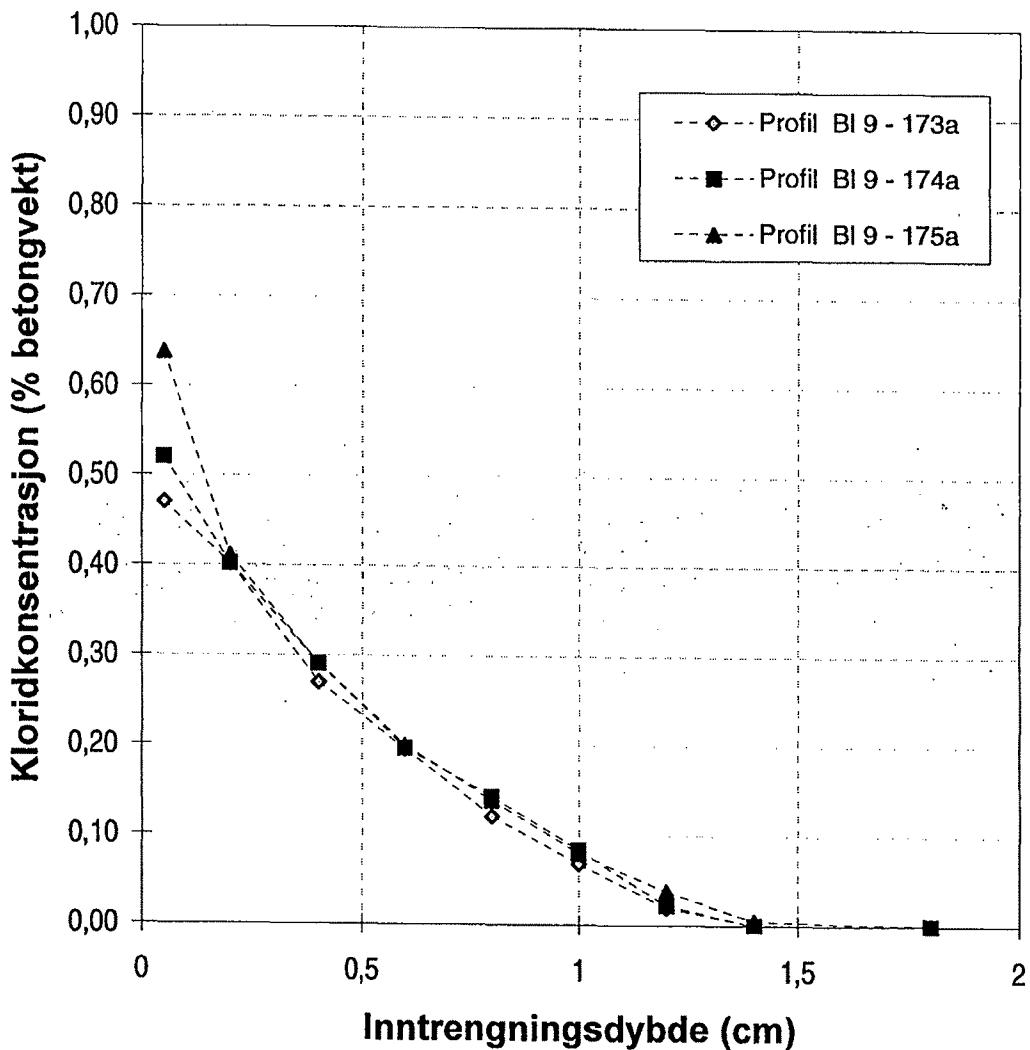
## Blanding 7



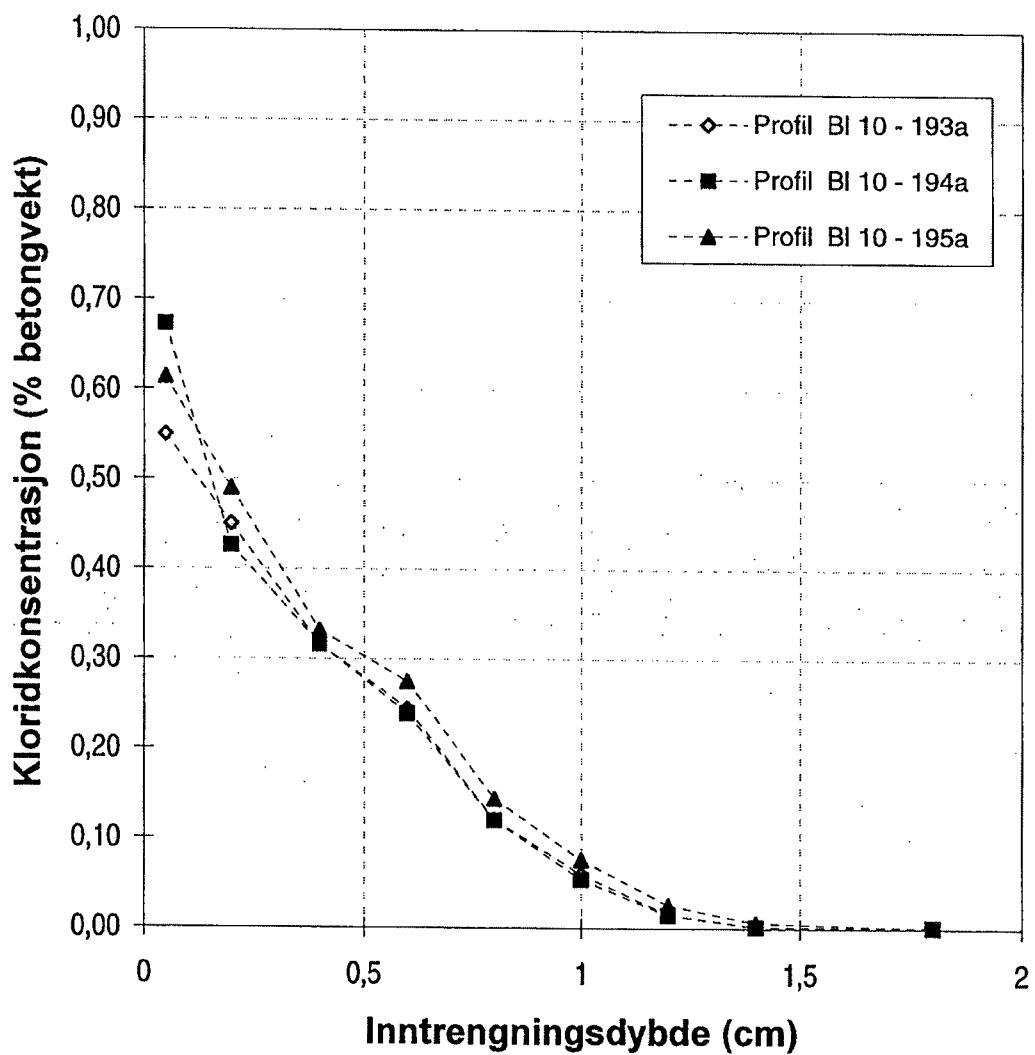
## Blanding 8



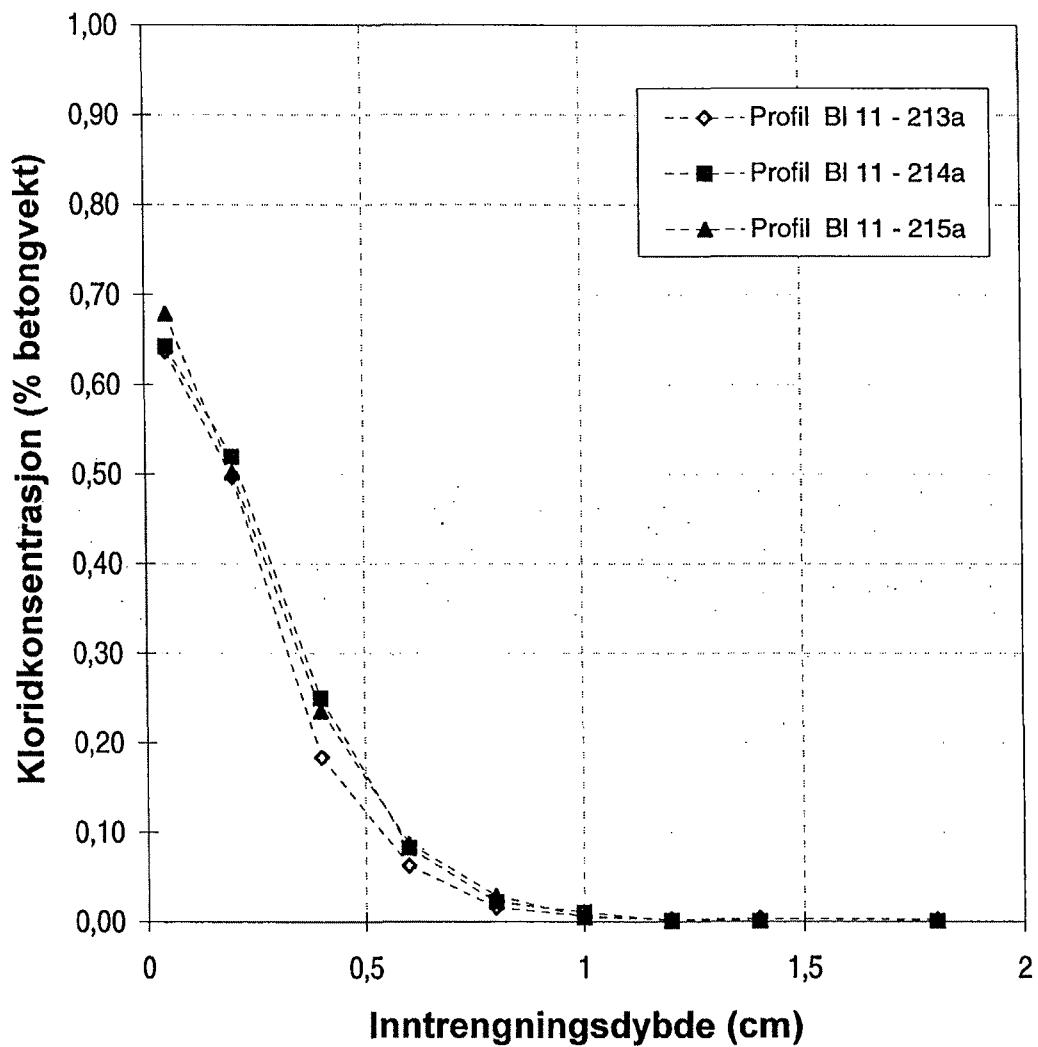
## Blanding 9



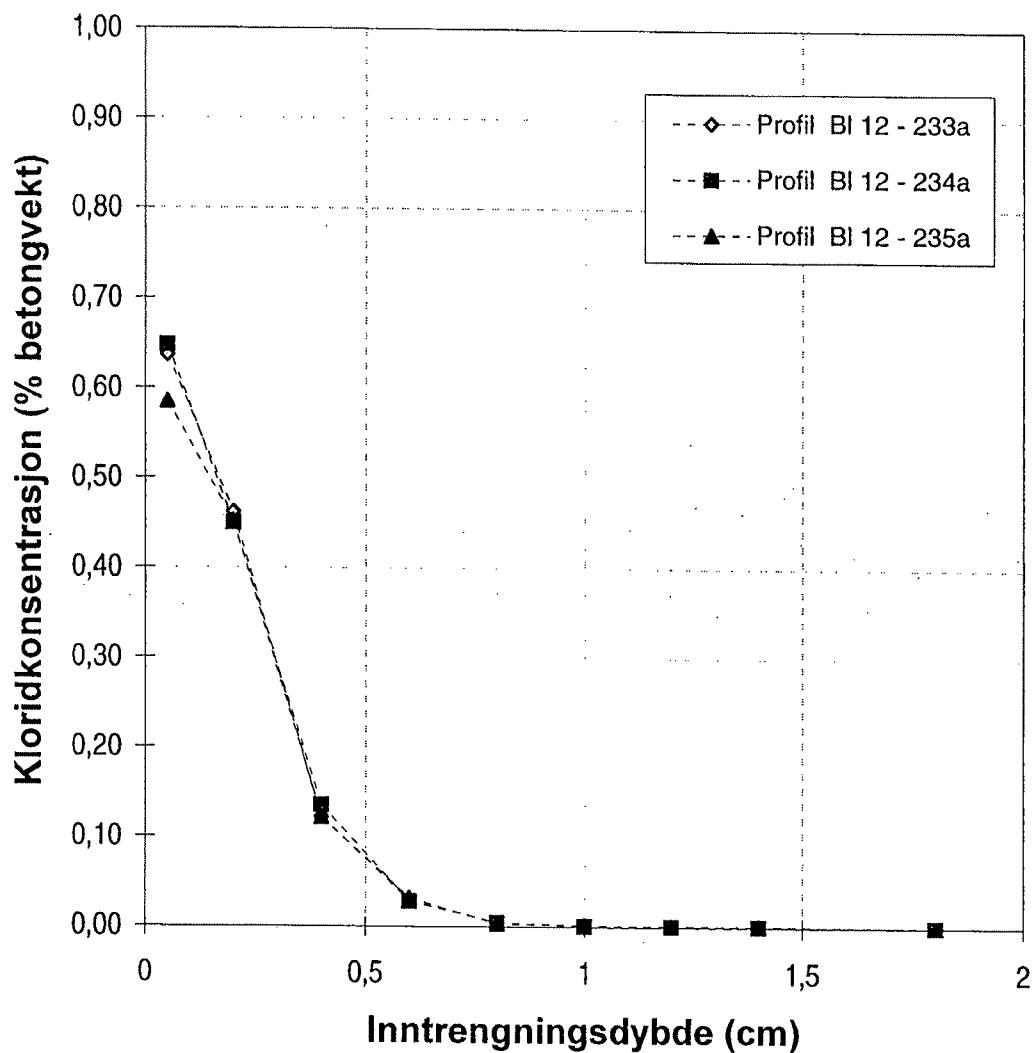
## Blanding 10



## Blanding 11



## Blanding 12



**VEDLEGG A8:** **SINTEF prøvingsrapport 70100/3 (Bestemmelse av elektrisk motstandsevne for herdet betong)**



**SINTEF**

**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7034 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKTSGIVER

**RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG**  
**DP BESTANDIGHET/Kloridinntrenging**

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

OPPDRAKETS ART

## Del 3

### Bestemmelse av elektrisk motstandsevne for herdnet betong

ARKIVKODE	GRADERING		
	Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE pro\22m017\07\70100-3	FAGLIG ANSVARLIG Harald Justnes	RAPPORTNUMMER 70100/3	
PROSJEKTNR 22M017.07	DATO 2003-01-23	SAKSBEARBEIDER Ola Skjølvold	ANT SIDER/VEDLEGG 1

Data for materialsammensetning, prøving av fersk betong og utstøping av prøvestykker er gjengitt i prøvingsrapport 70100/1.

Fra hver av 12 blandinger ble det utstøpt 1 stk 100 mm terning for bestemmelse av elektrisk motstandsevne. Etter avforming ved 1 døgns alder ble terningene lagret i vann ved 20°C i ca 6 måneder før prøving.

Elektrisk motstand ble målt ved 1,0 kHz. Terningenes sideflater var innsatt med vannbasert elektrisk ledende gel for å sikre god kontakt mellom elektrode og betongoverflate. På grunnlag av målt motstand er det foretatt beregning av spesifikk motstand  $\rho$  (resistivitet).

$$\rho = RA/l \text{ (}\Omega\text{m)}$$

$$R = \text{målt motstand } (\Omega)$$

$$A = \text{terningens sideflate } (m^2)$$

$$l = \text{terningens sidekant } (m)$$

Resultatene er gjengitt i Tabell 1 - 2.

**Tabell 1 Prøvingsresultater for blanding 1-6**

Blanding	1	2	3	4	5	6
Spesifikk elektrisk motstand, $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	70,3	162,5	76,6	179,0	269,0	353,0

**Tabell 2 Prøvingsresultater for blanding 7-12**

Blanding	7	8	9	10	11	12
Spesifikk elektrisk motstand, $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	179,0	254,0	85,0	101,0	224,0	420,0

**VEDLEGG A9: SINTEF prøvingsrapport 70100/10 (Bestemmelse av elektrisk motstand etter 2 års vannlagring)**



**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# PRØVINGSRAPPORT

OPPDRAKGIVER

**RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG**  
**DP BESTANDIGHET/Kloridinntrenging**

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

OPPDRAGETS ART

## Del 10

### Bestemmelse av elektrisk motstand etter 2 års vannlagring

ARKIVKODE	GRADERING		
	Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE i:\pro\22m017\07\70100-10 Prøvingsrapport	FAGLIG ANSVARLIG Harald Justnes	RAPPORTNUMMER 70100/10	
PROSJEKTNR 22M017.07	DATO 2000-09-05	SAKSBEARBEIDER Ola Skjølvold	ANT SIDER/VEDLEGG 1

Data for materialsammensetning, prøving av fersk betong og utstøping av prøvestykker er gjengitt i prøvingsrapport 70100/1.

## 1 PRØVESTYKKER

Fra hver av 12 blandinger ble det blant annet utstøpt 1 stk 100 mm terning som reserveprøve. Etter avforming ved 1 døgns alder ble terningene lagret i vann ved 20°C. Etter vel 2 års vannlagring ble det foretatt måling av elektrisk motstand for disse terningene. Før måling ble det saget av 10 mm fra to motstående sideflater. Det ble foretatt måling både på sagflater og støpehudflater. Terningene ble deretter lagt tilbake i vannbad for evt senere målinger av elektrisk motstand.

## 2 ELEKTRISK MOTSTAND

Elektrisk motstand ble målt ved 1 kHz etter på vannmettede terninger. Terningenes endeflater var innsatt med vannbasert elektrisk ledende gel for å sikre god kontakt mellom elektrode og betongoverflate. På grunnlag av målt motstand er det foretatt beregning av spesifikk motstand  $r_0$  (resistivitet)

$$r_0 = RA/l \text{ (ohmm)}$$

$R$  = målt motstand (ohm)

$A$  = skivens endeflate (m<sup>2</sup>)

$l$  = avstand mellom endeflatene (m)

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

**Tabell 1 Resistivitet ohmm, middelverdier**

Blanding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Støpehud	96	458	97	330	642	1019	516	618	115	112	631	943
Sagflate	88	443	93	298	597	962	515	593	103	99	608	917

**VEDLEGG A10: SINTEF prøvingsrapport 70100/13R (Bestemmelse av porøsitet og elektrisk motstand etter 2 års eksponering i tidevannsonen)**

**SINTEF****SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betongPostadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretakregisteret: NO 948 007 029 MVA

**PRØVINGSRAPPORT**

## OPPDRAKGSGIVER

**RESSURSVENNLIG KVALITETS BETONG**  
**DP BESTANDIGHET/Kloridinntrenging**

## BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF

Terje Rønning / Knut Kjellsen

## OPPDRAGETS ART

**Del 13****Bestemmelse av porositet og elektrisk motstand etter 2 års eksponering i tidevannssonen**

ARKIVKODE	GRADERING		RAPPORTNUMMER
i:\pro\22m017\07\70100-13 Prøvingsrapport		Harald Justnes	70100/13R
PROSJEKTNR	DATO	SAKSBEARBEIDER	ANT SIDER/VEDLEGG
22M017.07	2000-09-05	Ola Skjølvold	3

Data for materialsammensetning, prøving av fersk betong og utstøping av prøvestykker er gjengitt i prøvingsrapport 70100/1. Etter eksponering i felt i 2 år, ble det etter fresing for bestemmelse av kloridprofil (se Prøvingsrapport 70100/8) tatt ut skiver fra utvalgte blandinger for bestemmelse av elektrisk motstand og porositet.

**1 PRØVESTYKKER****1.1 Støping og herding**

Fra hver av 12 blandinger ble det utstøpt 12 stk Ø100/200 mm sylinder for feltekspesering. Etter avforming ved 1 døgns alder ble sylinderne lagret i vann ved 20°C i 23 døgn.

**1.2 Preparering**

I perioden 24-28 døgn etter utstøping, ble alle sylinderne delt på tvers på midten slik at det ble tildannet i alt 24 prøvestykke fra hver blanding. Prøvestykkene (Ø100/100 mm sylinder) ble forseglet med epoksy på cylinderflatene, slik at begge endeflatene var frie for eksponering.

**2 EKSPONERING I SJØVANN**

Ferdig preparerte prøvestykke ble plassert i trekasser i tidevannssonen på Østmarkneset i Trondheimsfjorden. Trekassene har åpninger på alle sider slik at sjøvannet fritt kan strømme inn og ut av kassene. Alle prøvestykke ble utplassert for eksponering ved 28 døgns alder.

### 3 PRØVING

#### *Skiver tilnærmet uten klorider*

Etter 2 års eksponering ble tre prøvestykker fra hver blanding hentet inn til laboratoriet for bestemmelse av kloridprofil fra begge ender. Etterpå ble sylinderne for utvalgte blandingerrenskaret, slik at det fra sylinderne midtre del ble tildannet 18 mm skiver (skiver tilnærmet uten klorider). Etter vannmetning og måling av elektrisk motstand ble skivene splittet i to, og porøsitet ble bestemt for den ene halvdelen av hver skive.

#### *Skiver med 2-års kloridprofil*

På grunn av til dels stor kloridinnitrenging, ble alle gjenværende sylinder på Østmarkneset hentet inn til laboratoriet for ompreparering ved ca 2 års alder (april 2000). Det ble kappet av 40 mm av en ende for hver cylinder, og sagflaten ble forseglet med epoksy før prøvene på nytt ble satt ut i sjøen. Alle sylinderne har etter omprepareringen kun en intakt eksponeringsflate.

Avkappede endestykker (3 stk med eksponert sagflate og 3 stk med eksponert støpehudflate, alle med lengde 35 mm) for utvalgte blandinger ble lagt i sjøvann for vannmetning før måling av elektrisk motstand. Kloridprofiler for disse skivene går fram av prøvingsrapport 70100/9, der resultatene fra prøving av parallellprøver er rapportert.

#### 3.1 Elektrisk motstand

Elektrisk motstand ble målt ved 1 kHz etter vannmetning. Skivenes endeflater var innsatt med vannbasert elektrisk ledende gel for å sikre god kontakt mellom elektrode og betongoverflate. På grunnlag av målt motstand er det foretatt beregning av spesifikk motstand  $\rho$  (resistivitet)

$$\rho = RA/l \text{ (ohmm)}$$

$$R = \text{målt motstand (ohm)}$$

$$A = \text{skivens endeflate (m}^2\text{)}$$

$$l = \text{avstand mellom endeflatene (m)}$$

Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

**Tabell 1 Resisitvitet ohmm, middelverdier (standardavvik)**

<b>Blanding</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
Skiver uten klorider		150 (7,7)	284 (2,1)	147 (6,6)	237 (14,9)	415 (28,0)	504 (5,2)	155 (5,1)
Skiver med klorider	Støpehud	116 (1,3)	213 (11,7)	119 (3,2)	210 (4,6)	292 (14,7)	387 (31,8)	119 (7,0)
	Sagflate	113 (4,4)	181 (21,0)	116 (4,1)	191 (3,7)	285 (8,2)	347 (11,9)	111 (4,0)

### 3.2 Porøsitet

Porøsiteten ble bestemt i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS 70 110 (forenklet prosedyre) for halve skiver fra midten av sylinderne (sjikt uten klorider). Basert på vekt etter

- tørking ved 105°C i 7 døgn
- vannlagring i 7 døgn (vekt i luft og vann)
- trykksmetning ved 50 atm i to døgn

er det foretatt beregning av

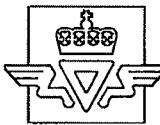
- fast stoff densitet
- tørr densitet
- kapillær porøsitet
- makroporøsitet (luft)
- total porsøitet (kapillær porøsitet + luft)

Resultatene er gjengitt i Tabell 2.

**Tabell 2 Resultater, middelverdier (standardavvik)**

Blanding	1	2	3	4	5	6	9
Fast stoff densitet, kg/m <sup>3</sup>	2656 (11)	2674 (12)	2655 (5,4)	2658 (2,9)	2656 (3,5)	2674 (3,3)	2658 (8,1)
Tørr densitet, kg/m <sup>3</sup>	2280 (13)	2244 (12)	2273 (8,0)	2262 (8,0)	2249 (23)	2244 (7,0)	2293 (7,0)
Kapillær porøsitet, %	12,4 (0,2)	13,6 (0,1)	12,5 (0,2)	12,7 (0,2)	12,7 (0,7)	14,1 (0,0)	12,0 (0,4)
Makroporøsitet, %	1,7 (0,1)	2,4 (0,0)	1,9 (0,3)	2,1 (0,3)	2,6 (0,2)	2,0 (0,2)	1,8 (0,1)

**VEDLEGG A11: Statens vegvesen notat av 2001-03-22 (Elektrisk motstand-målinger over 2 år)**



**Notat**

Vår saksbehandler - innvalgsnr.  
**Ola Skjølvold - 220 73491**

Vår dato  
**2001-03-22**

Vårt ark nr.

Vår referanse  
**OS**  
Deres referanse

Til: Finn Fluge  
Fra: Ola Skjølvold  
Kopi: Norcem FoU v/Knut Kjellsen

## ELEKTRISK MOTSTAND - MÅLINGER OVER 2 ÅR

Innen prosjektet "Ressursvennlig kvalitetsbetong" ble det utstøpt 2 prøveserier (12 varianter) med ulik pastasammensetning. For prøver utstøpt ved SINTEF i Trondheim er det foretatt flere målinger av elektrisk motstand.

Det er målt på følgende aldre og prøver

- 6 mnd samt 2 og 3 år for 100 mm terninger lagret i vann av ca 20°C i laboratoriet
- 2 år for 20 mm skiver tatt ut fra ikke kloridholdig sone av 100 mm sylinder eksponert i skvalpesonen ved Østmarkneset
- 2 år for 40 mm skiver tatt ut fra yttersjiktet fra 100 mm sylinder eksponert i skvalpesonen ved Østmarkneset

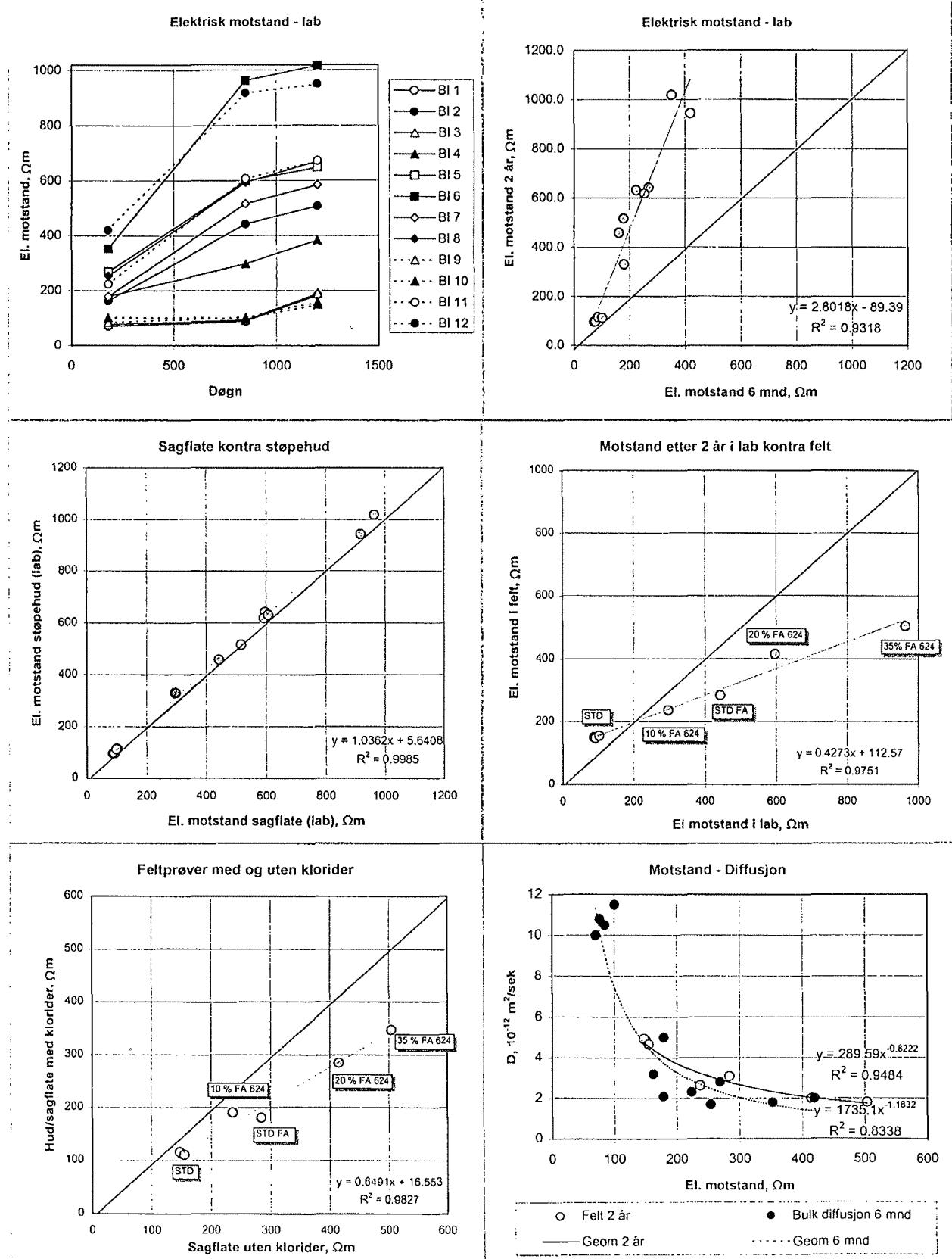
Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

**Tabell 1 Pastasammensetning og elektrisk motstand etter ulik lagring i inntil 2 år**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sement kg/m <sup>3</sup>	Anleggsegment	374		94	83	74	59	73	73				
	Standard. FA		369									407	386
	Standardsement			280	247	221	178	220	220	369			
	Industrisement										369		
Flygeaske, kg/m <sup>3</sup>	Finmalt 624				37	74	128						
	Umalt							73					
	Finmalt 1010								73				
Silikastøv, kg/m <sup>3</sup>													16
v/b		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40
Elektr. mots. Ωm	6 mnd i lab. (støpehud)	70	163	77	179	269	353	179	254	85	101	224	420
	2 år i lab. (sagflate)	88	443	93	298	597	962	516	593	103	99	608	917
	2 år i lab. (støpehud)	96	458	97	330	642	1019	516	618	115	112	631	943
	3 år i lab. (sagflate)	183	507	189	384	685	1017	584	671	159	149	672	950
	2 år i felt (sagfl. u/klorid)	150	284	147	237	415	504			155			
	2 år i felt (sag/hud m/klor)	113	181	116	191	285	347			111			

I VEDLEGG er det foretatt plotting av følgende sammenhenger:

- utvikling av elektrisk motstand for laboratorielagrede prøver fra 6 mnd til 3 år
- elektrisk motstand målt på støpehud versus sagflater etter 2 år i laboratoriet
- elektrisk motstand målt etter 2 år på lab.lagrede prøver versus felteksponte prøver
- elektrisk motstand for felteksponte prøver med og uten innstengte klorider
- elektrisk motstand versus diffusjonskoeffisient (bulk diffusjon) bestemt etter 6 måneders vannlagring i laboratoriet, og elektrisk motstand versus diffusjonskoeffisient målt etter 2 års feltekspontering



**VEDLEGG A12:** SINTEF notat av 2001-04-05 (Mikrostruktur av betong eksponert for sjøvann i felt i 2 år)



**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

ARKIVKODE	GRADERING		
	Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE			
l:/pro/22m017/07/felt/2 år/sem/xhjue001.doc			
PROSJEKTNR.	DATO	SAKSBEARBEIDER/FORFATTER	ANTALL SIDER
22m017.07	2001-04-05	Dr. Harald Justnes	7/5

# NOTAT

GJELDER

**P 629 "BETONGKONSTRUKSJONERS LIVSLØP", DP1, A2:  
"Mikrostruktur av betong eksponert for sjøvann i felt i 2 år"**

GÅR TIL

Knut Ose Kjellsen, Norcem  
Ola Skjølvold, SINTEF

BEHANDLING	UTTALElse	ORIENTERING	ETTER AVTALE
x		x	

## 1 INNLEDNING

Dette notat er en revidert utgave av samme notat datert 2000-08-11, og erstatter dette.

Betong eksponert for sjøvann i 2 år i tidevannssonen på Østmarkneset utenfor Trondheim har vært undersøkt med hensyn på en rekke egenskaper av SINTEF. Det ble blant annet funnet store forskjeller i kloriddiffusjonskoeffisient for betong med ulik sammensetning. Betong med flygeaske hadde spesielt lav diffusjonskoeffisient, og det var et maksimum i kloridinnholdet ca 5 mm innenfor overflaten. For å undersøke årsaken til dette ble mikrostrukturen til betong med 0 (prøve B1.3) og 35 % flygeaske (prøve B1.6) på erstatningsbasis inspisert ved hjelp av sveipelektronmikroskopi (SEM).

## 2 EKSPERIMENTELT

En 10 mm lang prøve fra overflaten og inn ble støpt inn i epoksy og planpolert for undersøkelse med SEM (ren etanol ble benyttet som kjølemiddel ved saging og polering). Prøvene ble studert i modus tilbakespredte elektroner (BEI = backscattered electron imaging) som differensierer detaljer i mikrostrukturen i gråtone nyanser. Sammensetningen av enkelte uvanlige detaljer ble bestemt ved hjelp av punkt analyse (ca 1  $\mu\text{m}^3$  volum) med hensyn på de ulike elementer (EDX = energy dispersive analysis of X-rays). Elementfordelingen i enkelte BEIs ble også kartlagt (mapping), samt at elementfordelingen som funksjon av avstanden fra overflaten inn til 5 mm ble målt for begge prøver. Det siste ble gjort ved å måle elementfordelingen i tre ulike områder på ca 100  $\mu\text{m}^2$  for hvert nivå og ta gjennomsnittet av disse. Områdene ble valgt i bindemiddelet for å unngå innvirkning av tilslag.

## 3 RESULTATER

En 100 x forstørrelse (Fig 1) av betongen uten flygeaske viser et grått tynt belegg (ca 5  $\mu\text{m}$ ) som i følge EDAX består av elementene Ca, C og O (se vedlegg 1). Det er da sannsynligvis kalsiumkarbonat som har felt ut fra sjøvannet. Den mørke sonen innenfor på ca 10  $\mu\text{m}$  bredde er rik i magnesium ifølge EDAX (se vedlegg 2).

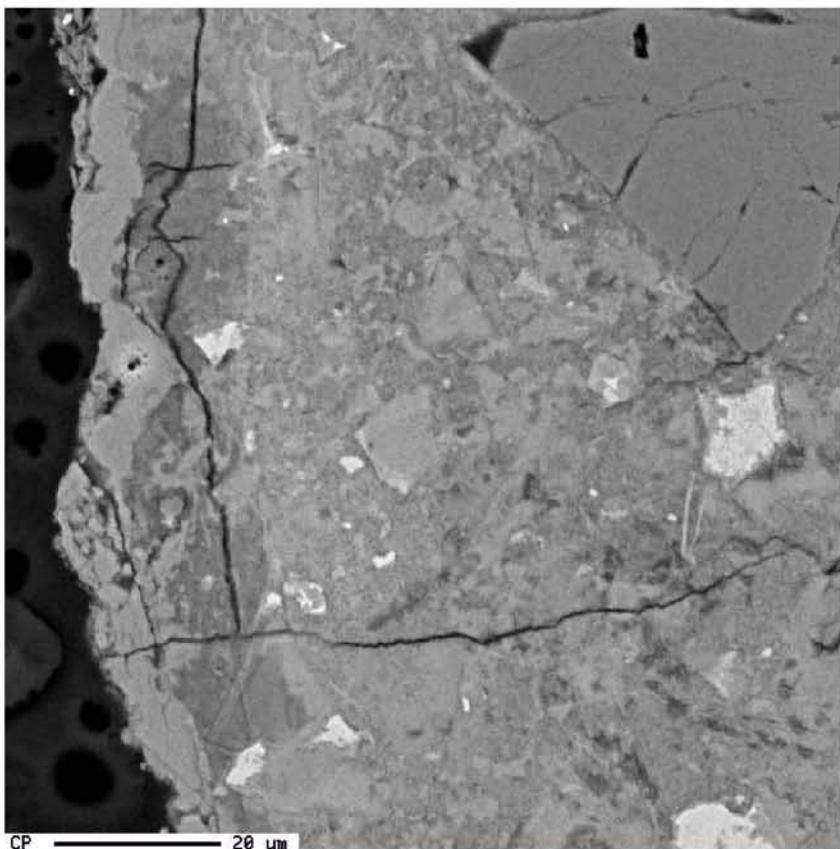
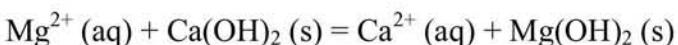


Fig. 1 100 x BEI av overflaten av betong uten flygeaske.

Dette er et vanlig fenomen for betong eksponert for sjøvann, da sjøvann er mettet med hensyn til kalsiumkarbonat og betong er et utmerket substrat for kimdannelse og krystallvekst av kalsiumkarbonat. Sjøvann inneholder også en del magnesium (1.35 g/l) dette vil diffundere inn og gi en ionebytting med først og fremst kalsiumhydroksid, men også på sikt med CSH gelen som da etter hvert vil miste noe av sin bindende virkning;



En elementfordeling for Mg, Cl og S som tydelig viser det magnesiumrike sjiktet er gjengitt i fig. 2. De koncentrerte flekkene for klor kan muligens angi posisjoner for kjemiske forbindelser som Friedels salt;  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . EDAX av en slik liten detalj viser i hovedsak elementene Ca, Al, Cl og O (se vedlegg 3), og underbygger dermed dette. Et BEI med denne detaljen er vist i øvre venstre rute i fig. 3 sammen med fordelingen av elementene Al, Cl og S i de tre andre rutene.

Fig. 4 viser en elementfordeling (Mg, Cl og S) i et BEI av betong med 35 % flygeaske fra overflaten og inn. Samme sjøvannseffekt som for betong uten flygeaske observeres; et ytre belegg med kalsiumkarbonat med en mørkere, magnesiumrik sone innenfor.

Fig. 5 viser en elementfordeling (Al, Cl, S) i et BEI av betong med 35 % flygeaske nær overflaten. Områder svært rike i aluminium (røde) er rester av flygeaskekorn (aluminosilikat glass). Det finnes imidlertid også noen punkter som er rik på både klor og aluminium, og sammenliknet med BEI, ser det ut til at dette kan være Friedels salt (punkter angitt i bildetekst). Det virker imidlertid som det er færre av disse punktene i denne prøven sammenliknet med prøven uten flygeaske i fig. 3. Forstørrelsen er imidlertid dobbelt så stor i fig. 5, hvilket betyr at arealet bare er en fjerdedel av arealet i fig. 3. Men selv om dette tas i betraktning, virker det som det er færre punkter som er intense i både Cl og Al sammenliknet med fig. 3.

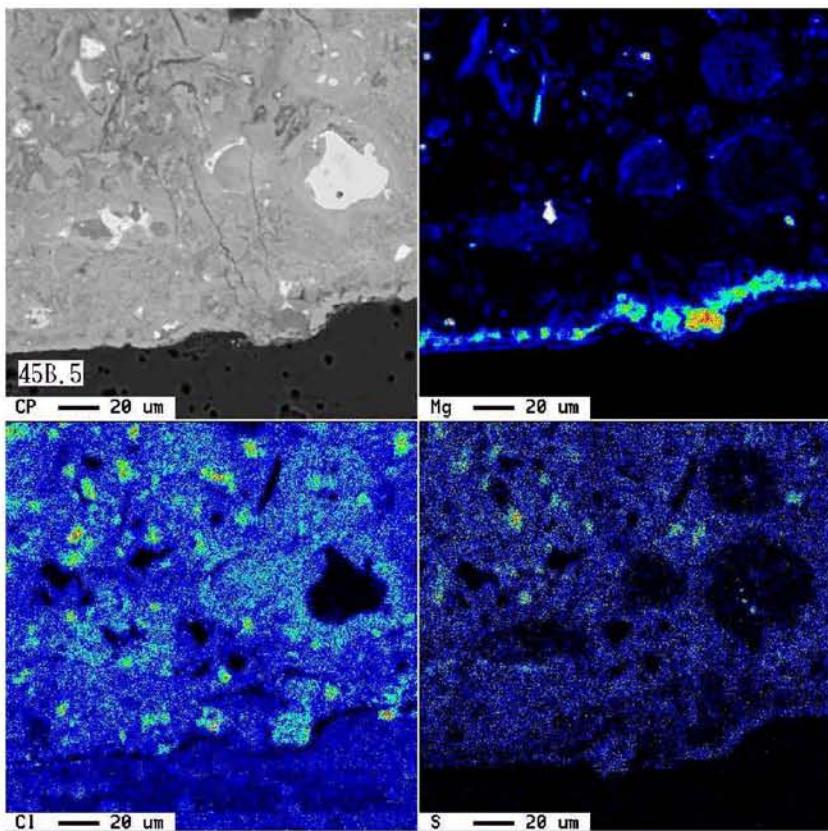


Fig. 2 Elementfordeling nær overflaten for betong uten flygeaske.

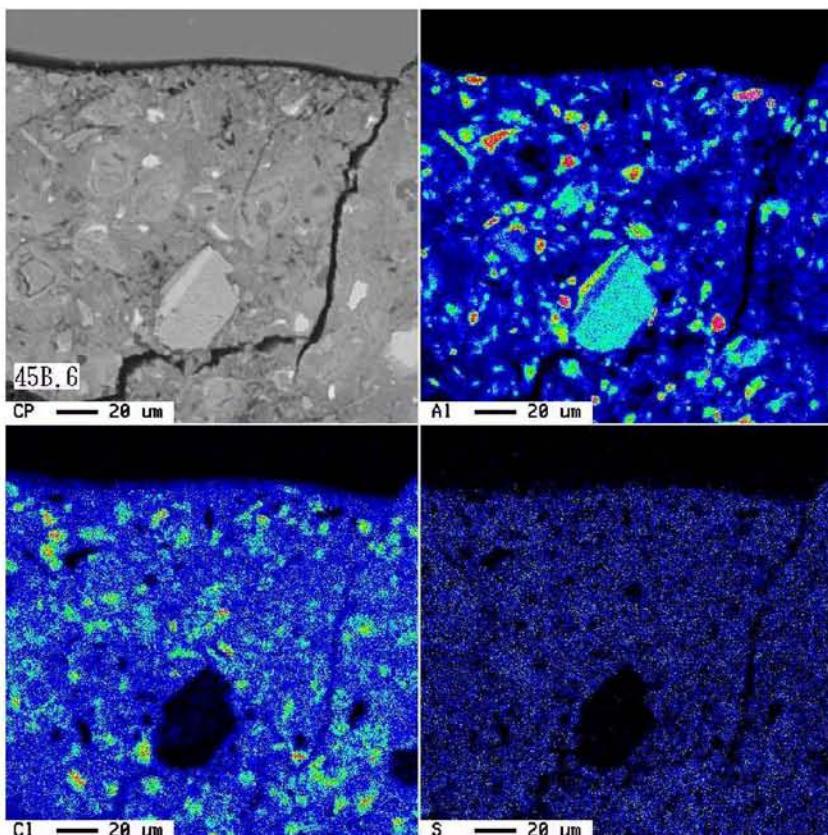


Fig. 3 BEI av betong uten flygeaske med sannsynlige Friedels salt områder hvor både Cl og Al har sterke signal. Kanten av tilslaget i øvre del av bildet er 1,5 mm fra overflaten. Elementspekteret i Vedlegg 3 er tatt i et Al/Cl rikt område litt ovenfor midten av bilderuten.

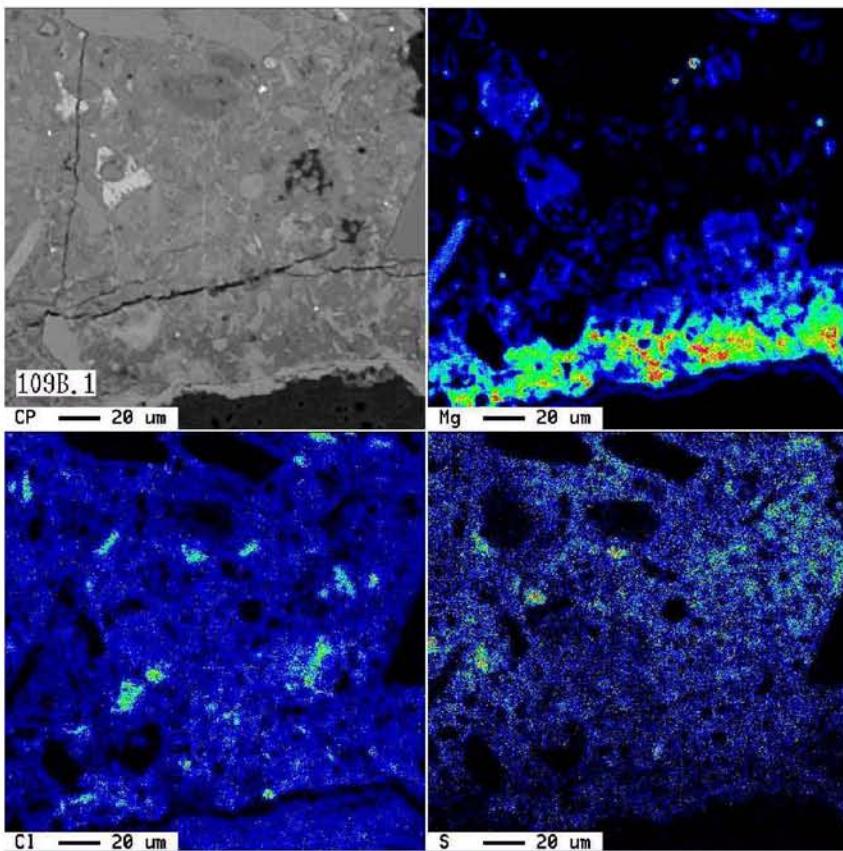


Fig. 4 BEI av betong med 35 % flygeaske med elementfordeling av Mg, Cl og S.

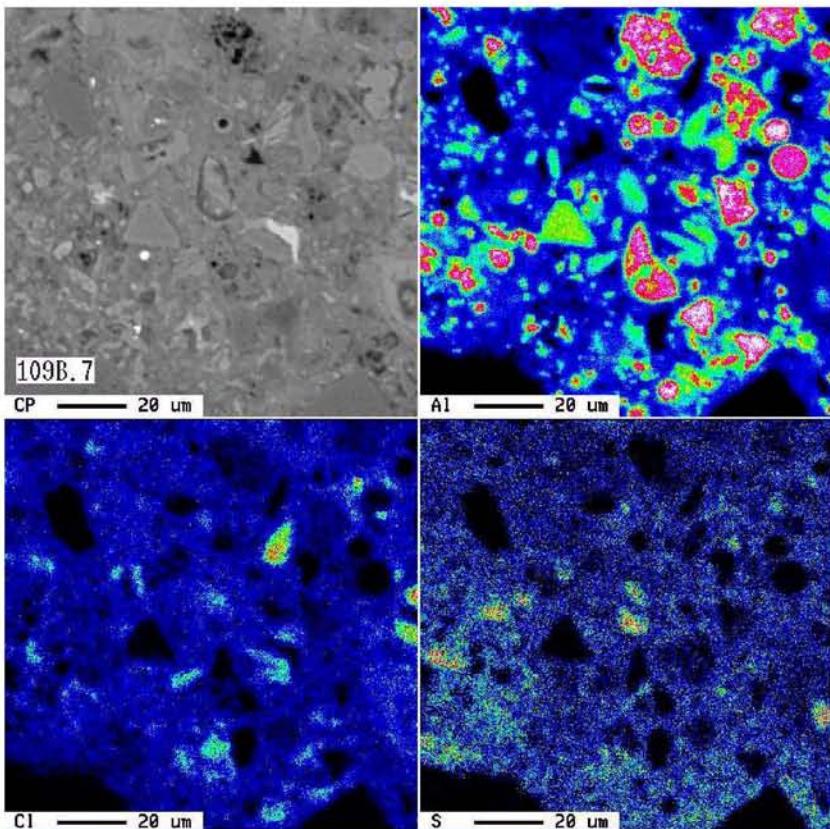


Fig. 5 BEI av betong med 35 % flygeaske med elementfordeling av Al, Cl og S. Enkelte detaljer med høy intensitet i både Al og Cl tyder på Friedels salt (f eks 2 punkter i høyre bildeskant og ovenfor/høyre for midten).

Øvrige strukturelle forskjeller på ytre og indre områder i betong langtidsekspontert for sjøvann, er at cementkorn nær overflaten ofte er gjennomreagerte med en noe mer porøs og oppsprukket struktur mens det i den indre delen oftere finnes kjerner med ureagert cement omgitt av en tett sone med reaksjonsprodukt. Dette er også symptomatisk for betong som er lagret i ferskvann.

Den relative fordelingen av elementene Na, Cl, Mg og S som funksjon av avstanden fra overflaten er vist for betong med 0 og 35 % flygeaske i henholdsvis fig. 6 og 7.

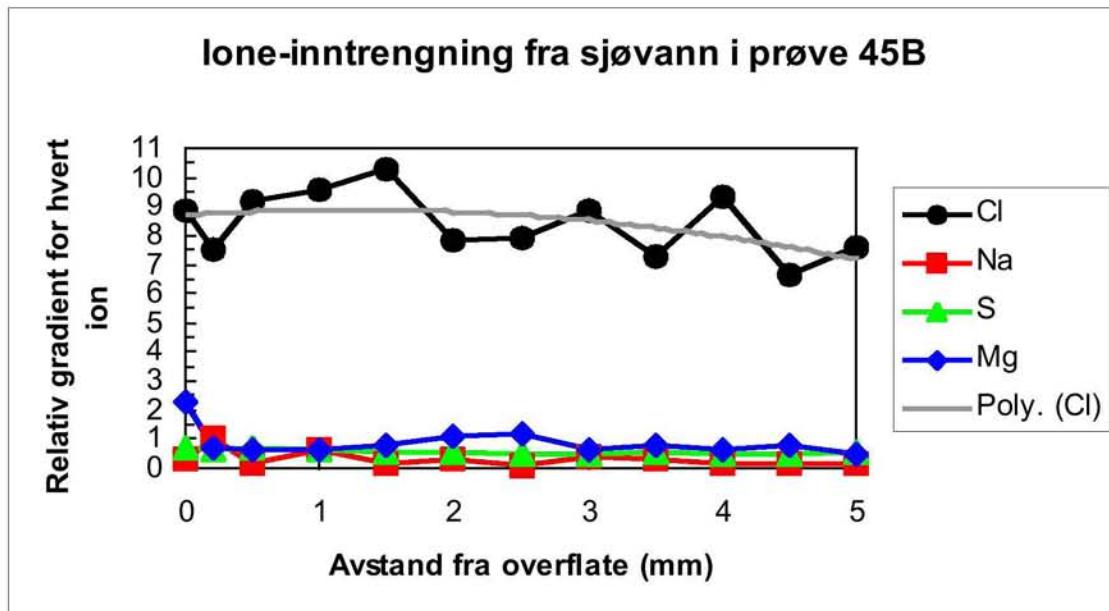


Fig. 6 Den relative fordelingen av Na, Cl, Mg og S som funksjon av avstand fra overflaten for betong uten flygeaske feltekspontert for sjøvann i 2 år.

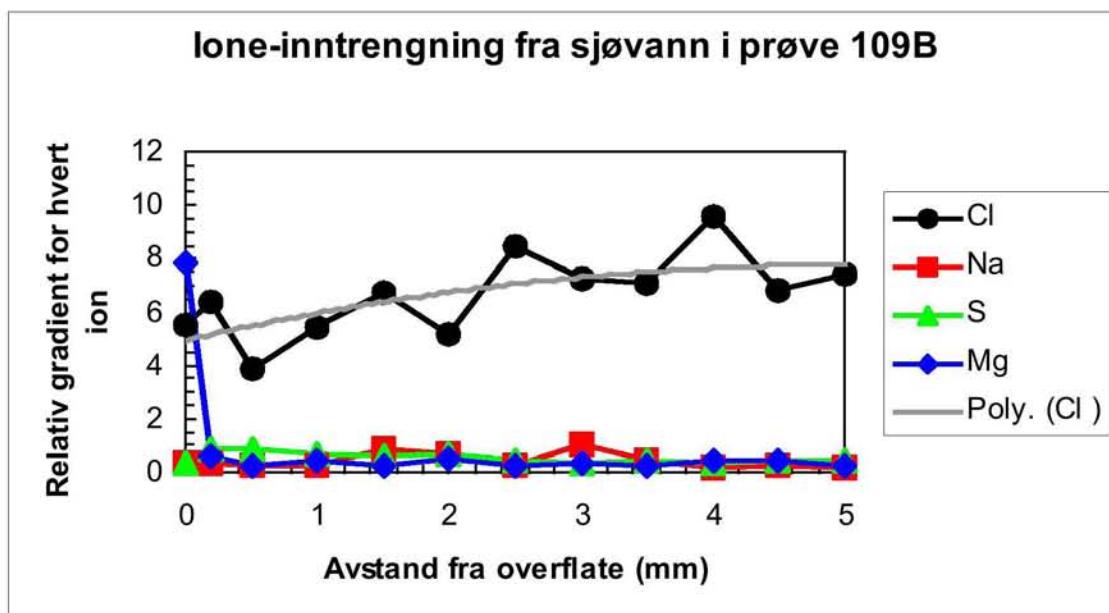


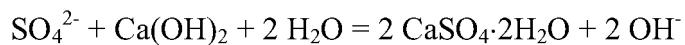
Fig. 7 Den relative fordelingen av Na, Cl, Mg og S som funksjon av avstand fra overflaten for betong med 35 % flygeaske feltekspontert for sjøvann i 2 år.

Det vil naturligvis være en viss spredning i resultatene på grunn av inhomogeniteten til analyseområdene, selv om punktene er et middel av resultatet fra 3 uavhengige områder. Begge profiler viser en anrikning av magnesium i det ytterste sjiktet. Trendlinjen (2. Grads polynom) viser en avtagende tendens for betongen uten flygeaske og en økende tendens for betongen med 35 % flygeaske. Disse trendene er i tråd med kloridprofilene for de samme prøvene gjengitt i henholdsvis vedlegg 4 og 5 inntil 5 mm dybde.

Det relativt høyere nivå av klorider enn øvrige elementer i figurene 6 og 7 kan skyldes en rest av klorider i epoksyen som er brukt til impregneringen av prøven. Alle elementer er imidlertid målt og nivået for hvert element er normalisert til en konstant totalverdi. Dette er gjort for å korrigere for variasjoner i elementnivå på grunn av variasjoner i porøsitet.

Kloridprofilen for betongen uten flygeaske i vedlegg 4 er forholdsvis jevnt avtagende, hvilket er forenlig med Ficks 2. lov om ikke-stasjonær diffusjon. Kloridprofilen for betongen med 35 % flygeaske går imidlertid igjennom et maksimum, hvilket kan forklares med en økt kjemisk binding av klorider i f eks Friedels salt som senere frigjøres ved at langsommere diffunderende ioner (eksempelvis sulfater eller karbonater) binder seg sterkere til aluminatene og frigjør klorider som diffunderer videre. Det er en liten (marginal) tendens til økt sulfat (svovel) nivå i de ytterste 2,5 mm i prøven med flygeaske, men det vites ikke om dette er tilstrekkelig til å gi en slik effekt. Sjøvann er mettet på kalsiumkarbonat, og selv om noe felles på overflaten vet man ikke om noe også vil diffundere innover i betongen og danne karboaluminathhydrater på bekostning av Friedels salt. Karbonater kan desverre ikke detekteres med EDX når man bruker karbonpådamping av prøven for å gjøre den elektrisk ledende. Merk at maksimum kloridnivå for begge prøver er relativt lik (0,68 %), men at denne verdien er ved 0,5 mm i prøven uten flygeaske og ved ca 5 mm i prøven med 35 % flygeaske.

I utgangspunktet var det forventet at ionene skulle diffundere langsommere i betongen med flygeaske siden denne i alle fall på sikt er tettere. En stor del av diffusjonen kan imidlertid ha skjedd i ung alder (f eks første 28 døgn) på grunn av tregt reagerende flygeaske, og midlere kloridprofil etter f eks 2 år behøver derfor ikke være bedre enn for en betong med standard sement. Den nedsatte diffusjonen i en moden flygeaskebetong vil kanskje først gi seg signifikante utslag i forbedret kloridprofil etter ytterligere eksponering (f eks 10 år og utover). Dessuten forbruker flygeaskreaksjonen kalsiumhydroksid. Et større innhold av kalsiumhydroksid i betong uten flygeaske kan faktisk bremse inntrengningen av andre ioner som magnesium (rask ionebytting med kalsiumhydroksid) og sulfater (dannes gips nær overflaten). Dannelsen av gips mellom sulfater og kalsiumhydroksid;



Det var forventet at produktene fra den pozzolane reaksjonen med flygeaske (i.e. kalsiumaluminathhydrater) vil føre til en større andel kjemisk bundne klorider versus fysikalsk adsorberte, selv om dette ikke kunne verifiseres med SEM. Lite er imidlertid undersøkt med hensyn til kjemisk sammensetning av produktene fra flygeaskreaksjonen. Det kan være at det i stedet dannes hydrogranater (kalsiumaluminatsilikathydrater) som ikke binder hverken klorider eller sulfater.

Et maksimum i kloridinnhold et stykke innenfor overflaten er ikke unikt for betong med flygeaske, og har vært observert for annen feltekspontert betong. Foregående diskusjonen peker på mulige årsaker til observasjoner, men grunnlaget er for lite (f eks kun 2 betonger) til å trekke sikre konklusjoner.

## 4 KONKLUSJON

Mikrostrukturen til to betongprøver med 0 og 35 % flygeaske eksponert for sjøvann i tidevannssonen i 2 år ble undersøkt med SEM.

Overflaten til begge prøver var dekket med et tynt lag (ca 5 µm) utfelt kalsiumkarbonat med en magnesiumrik sone (ca 10 µm bred) innenfor.

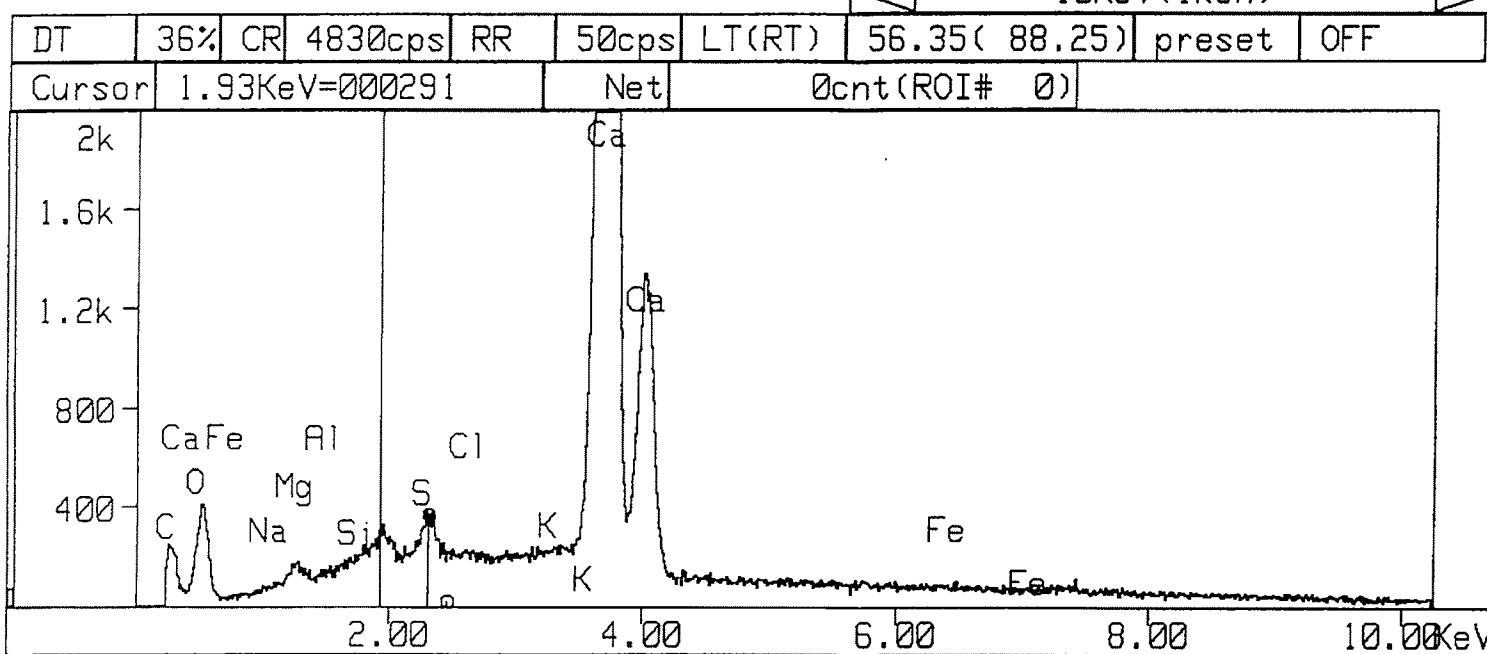
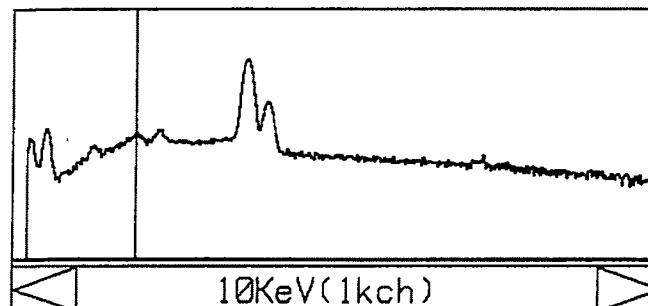
Begge prøver inneholdt korn som var rike på både klorid og aluminium, og som sannsynligvis kan tilskrives Friedels salt;  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Det var ikke mulig å kvantifisere noen forskjell i mengde Friedel salt mellom de to prøvene ved hjelp av denne begrensede SEM undersøkelsen.

Kloridprofilene bestemt med EDX de første 5 mm viste en avtagende tendens for prøven uten flygeaske og en stigende tendens for prøven med 35 % flygeaske. Dette er i samsvar med kloridprofilene fra syreoppslugting av freste sjikt.

Sementkorn nær overflaten var gjennomreagerte og med produkter av en mer porøs og oppsprukket natur enn for sementkorn i prøvens indre som gjerne hadde en ureagert kjerne. Dette er imidlertid typisk for betong som har vært vannlagret i lengre tid.

Den største forskjellen på prøvene var naturlig nok innholdet av aluminosilikater i ureagerte eller delvis reagerte flygeaskekorn i prøven med 35 % flygeaske.

Group : 22M017.07  
Sample : 45B  
ID : 41  
Comment: Carbonate layer



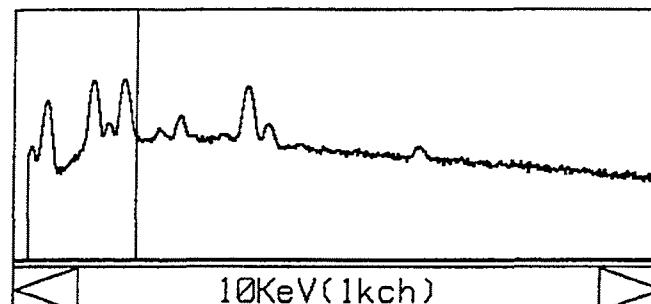
VEDLEGG 1

Group : 22M017.07

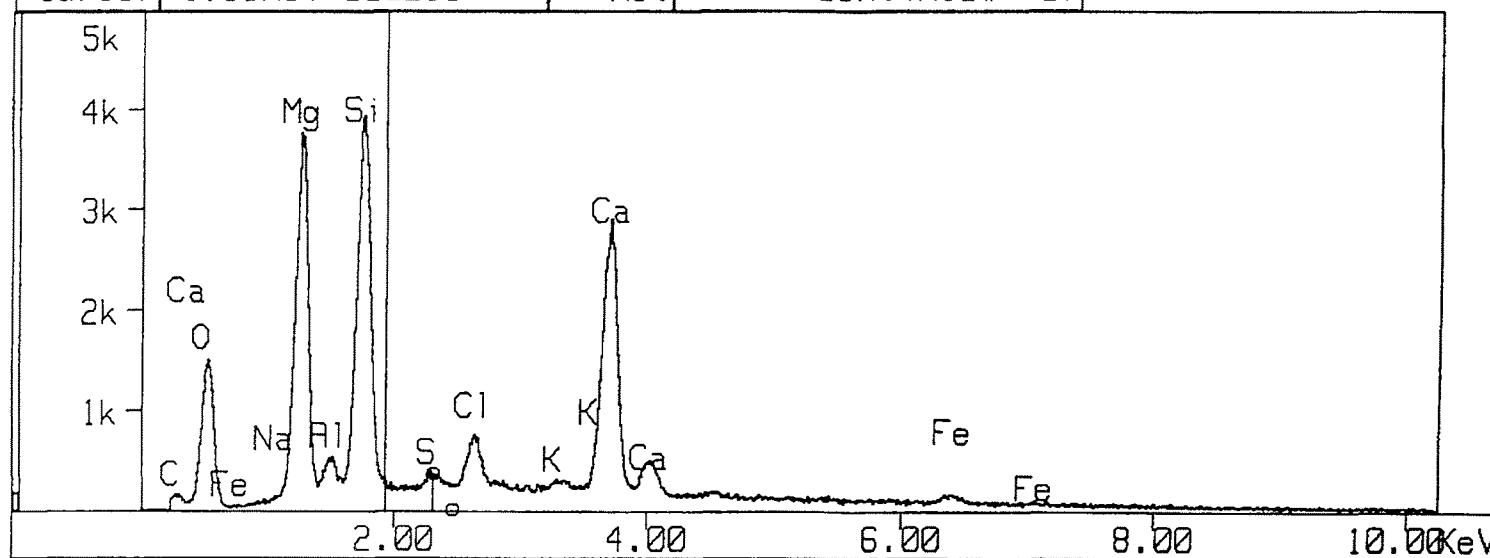
Sample : 45B

ID : 42

Comment: Dark detail inside c  
arbonate layer

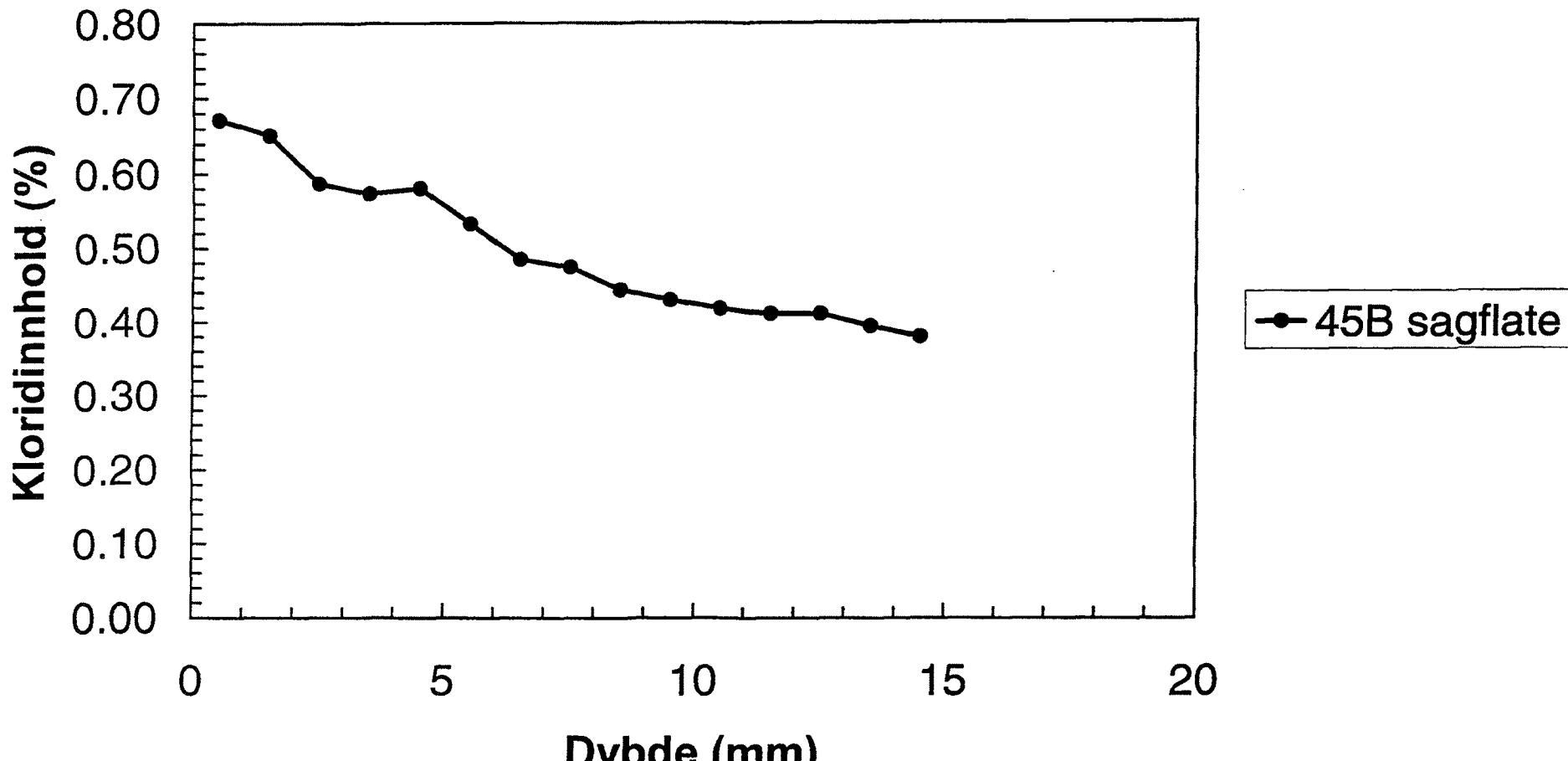


DT	25%	CR	3093cps	RR	29cps	LT(RT)	95.14(127.32)	preset	OFF
Cursor	1.93KeV=000299		Net	0cnt(ROI# 0)					

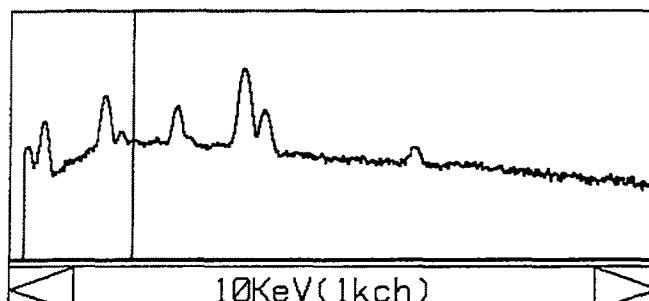


VEDLEKK 2

## Kloridprofil

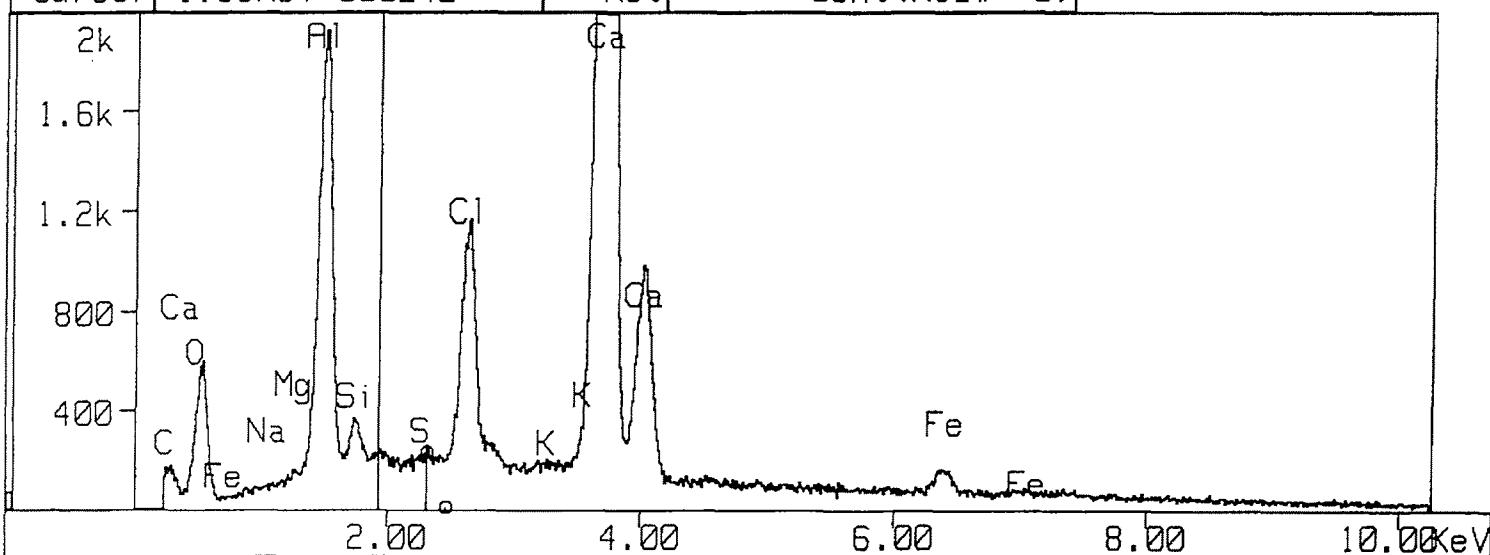


Group : 22M017.07  
Sample : 45B  
ID : 6  
Comment: Friedel salt?



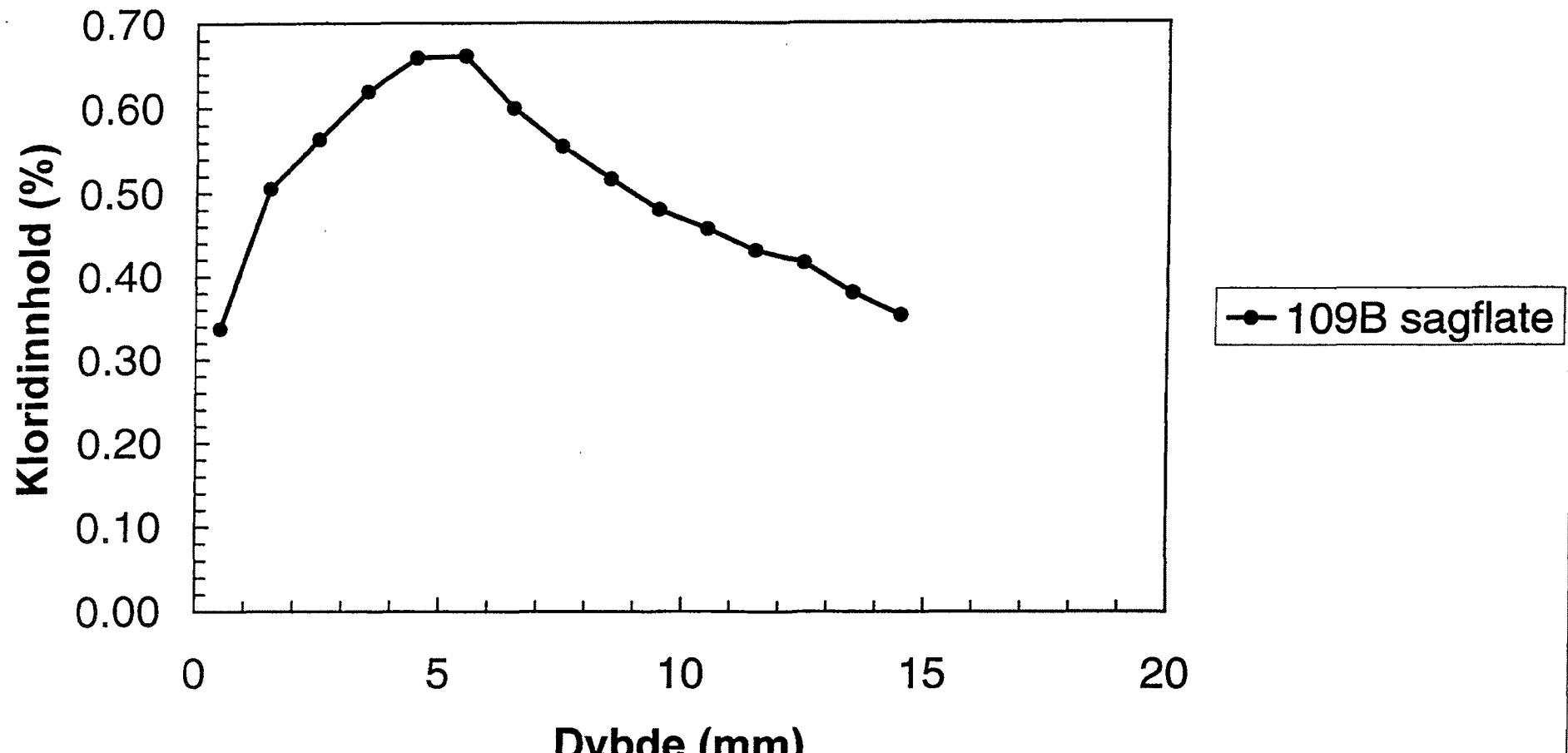
DT	36%	CR	4916cps	RR	48cps	LT(RT)	51.64( 80.95)	preset	OFF
----	-----	----	---------	----	-------	--------	---------------	--------	-----

Cursor 1.93KeV=000242 Net 0cnt (ROI# 0)



VEDLÉKA 3

## Kloridprofil



VEDLECK 5

**VEDLEGG A13:** SINTEF notat 2001-04-05 (Kloridbindings-og adsorpsjonsisotermer for vannlagrede prismaer)



**SINTEF Bygg og miljøteknikk**  
Sement og betong

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3  
Telefon: 73 59 52 24  
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

ARKIVKODE	GRADINGER		
	Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE			
l:/pro/22m017/07/binding/xhjue002.doc			
PROSJEKTNR.	DATO	SAKSBEARBEIDER/FORFATTER	ANTALL SIDER
22m017.07	2001-04-05	Dr. Harald Justnes	3/1

# NOTAT

GJELDER

**P 629 "BETONGKONSTRUKSJONERS LIVSLØP", DP1, A2: "Kloridbindings- og adsorbsjonsisotermer for vannlagrede priser"**

BEHANDLING	UTTALELSE	ORIENTERING	ETTER AVTALE
	x	x	

GÅR TIL

Knut O. Kjellsen, Norcem FoU, Brevik  
Ola Skjølvold, SINTEF, Trondheim

## 1 MÅLSETNING

Dette notat er en revidert utgave av samme notat datert 2000-10-24, og erstatter dette.

Mørtelprøver som har vært vannlagret i 2 år skulle undersøkes med hensyn på kloridbinding/adsorpsjon som funksjon av sementtype og innhold av flygeaske.

## 2 EKSPERIMENTELT

Mørtelprismene ble nedknust i en kjeftknuser etterfulgt av finmalning på skivemølle. Ca. 15 g utørket støv ble veid inn nøyaktig sammen med ca 25 g eksponeringsvæske. Eksponeringsvæsken bestod av natriumklorid, NaCl, i molaritetene 0,1, 0,25, 0,50, 0,75 og 1,0 M, samt naturlig sjøvann. Glassene med suspensjonene ble rotert i 7 døgn før væsken ble filtrert av og analysert med hensyn til kloridmengde og sammenliknet med kloridmengden i den opprinnelige eksponeringsvæsken. Kloridkonsentrasjonen ble målt spektrofotometrisk i henhold til SINTEFs interne prosedyre KS70 108. Bindingen kan anslås ved at disse to verdiene plottes mot hverandre og avviket fra 45° linjen vurderes. Alternativt kan man regne om og presentere bindingen/absorpsjonen av klorider som mg Cl/ g kjemisk bundet vann, siden det er hydratene som eventuelt binder/adsorberer klorider. Begge deler ble gjort, og for å kunne utføre den siste delen ble mengde fysikalsk og kjemisk bundet vann målt på samme pulver som ikke var eksponert for noen kloridløsning.

Den første beregningen av kloridbinding/adsorpsjon ga negative verdier som mest sannsynlig skyldtes at vann ble forbrukt og at kloridene dermed ble oppkonsentrert i løsningen. Pulver ble dermed igjen eksponert for den høyeste og laveste kloridløsningen og kjemisk bundet vann målt før og etter eksponeringen. Det var tydelig at mengden kjemisk bundet vann økte og dermedhydratasjonen og muligens den pozzolane reaksjonen for flygeaske hadde økt i denne perioden. Selv om mørtelen var moden (2 år) så var sannsynligvis ureagerte korn dekket av hydratasjonsprodukter blitt frilagt under nedmalingen slik at de kunne hydratisere videre. Når dette ble korrigert for i beregningene, så var bare et fåtall verdier marginalt på negativ side

(usikkerhet i målinger). Kjemisk bundet vann for prøver eksponert for løsninger mellom laveste og høyeste kloridkonsentrasjon ble estimert via interpolasjon.

### 3 RESULTATER

Kloridbindingsisotermen for ulike sementer er vist i Fig. 1, mens kloridbinding/adsorpsjon per kjemisk bundet vann for de samme sementer er vist i Fig. 2. De samme figurer for 1:3 blanding av anlegg:standard cement med ulike doseringer av flygeaske er vist i henholdsvis Fig. 3 og 4. Enkeltverdier er gitt i Vedlegg 1.

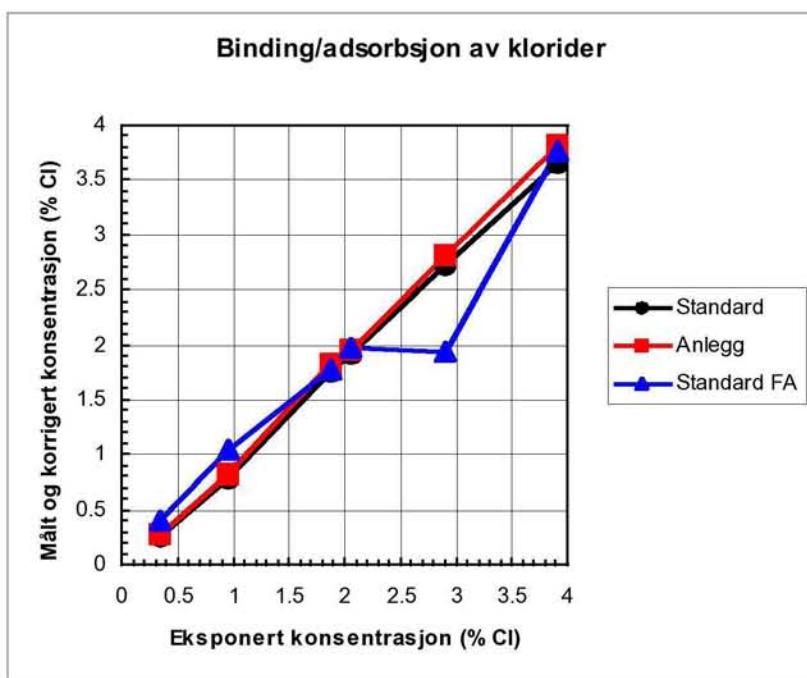


Fig. 1 Kloridbindingsisotemer for ulike sementer.

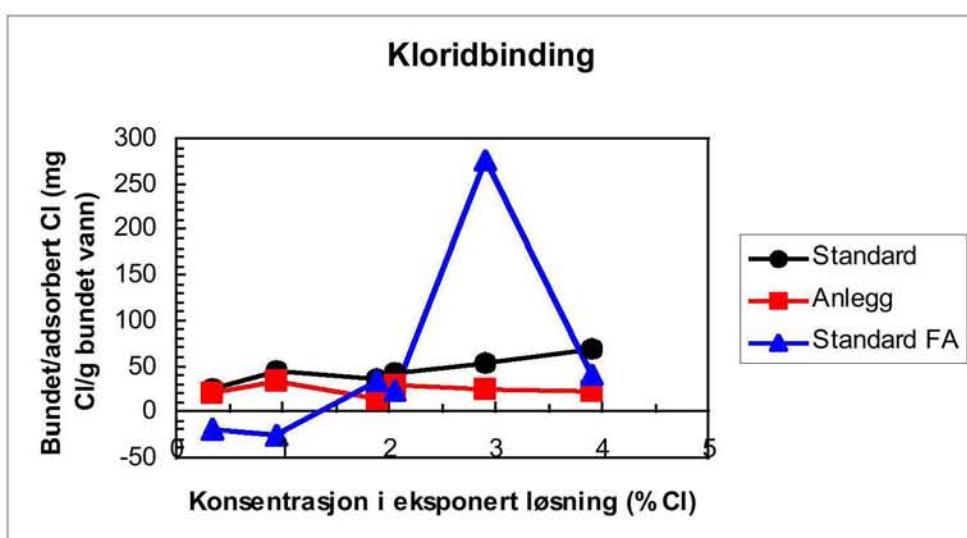


Fig. 2 Kloridbinding/adsorpsjon beregnet relativt til kjemisk bundet vann for ulike sementer (den store enkeltverdien for Standard FA er sannsynligvis en feilmåling).

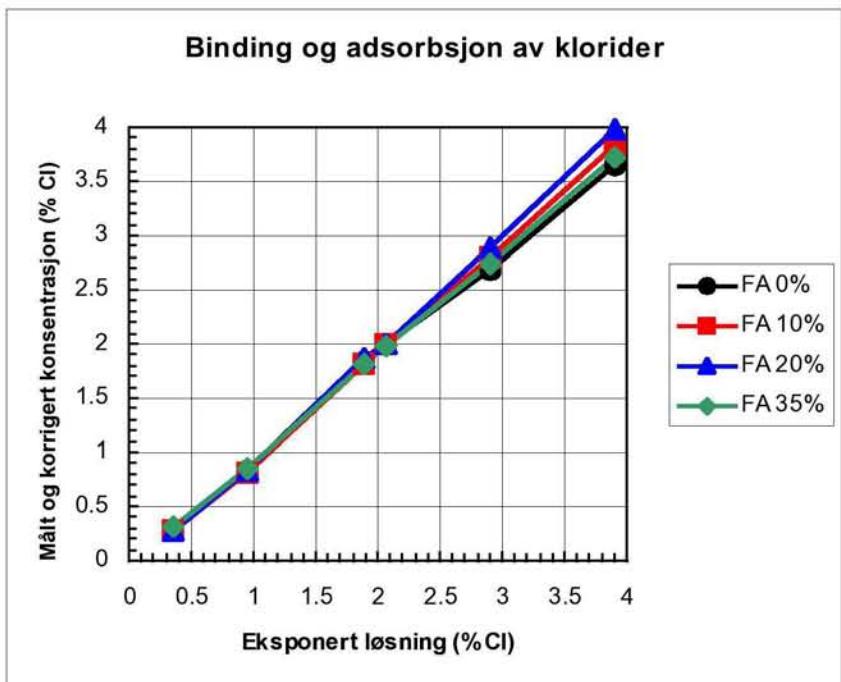


Fig. 3 Kloridbindingsisotermer for 1:3 anlegg:standard sement med ulik mengde flygeaske.

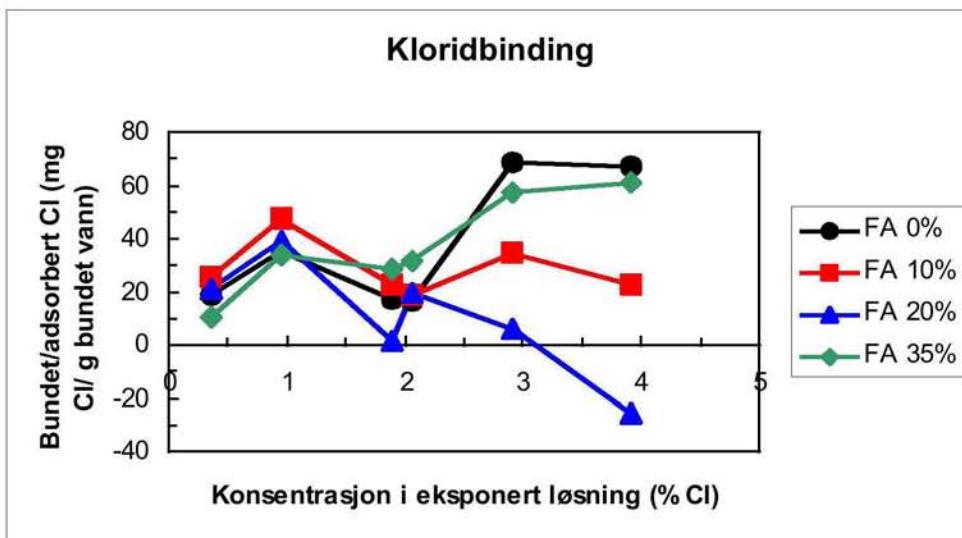


Fig. 4 Kloridbinding/adsorpsjon beregnet relativt til kjemisk bundet vann for 1:3 anlegg:standard sement med ulik mengde flygeaske.

#### 4 KONKLUSJON

Beregnet mengde bundne klorider ligger i området 40 mg Cl/g bundet vann, som tilsvarer ca 0,8% av sementvekt for en betong uten flygeaske hvis en antar 80% hydratasjon. Det er ingen systematisk variasjon i kloridbinding. Unøyaktigheten i metodikken er estimert til ca 30 mg Cl/g bundet vann (eller ca 3 %), hvilket er nær det observerte nivå. Det er mulig man kunne ha sett større forskjeller mellom prøvene hvis man kunne ha oppnådd større nøyaktighet. Større nøyaktighet kan muligens oppnås ved å øke sement/væske-forholdet (f eks bruke moden pasta i stedet for mørtel) eller ved å anvende en mer sensitiv kloridbestemmelse (f eks titrere med en uvanlig fortynnet løsning av sølvnitrat).

## Kloridprofiler, målte verdier

	No. 9	No. 1	No. 2
Exposed	Standard	Anlegg	Standard FA
0.34873	0.264828	0.280813	0.412648
0.948808	0.796208	0.833285	1.040459
1.881156	1.762026	1.839482	1.78231
2.061798	1.918844	1.966858	1.995817
2.906291	2.72371	2.832059	1.958318
3.904688	3.677029	3.845814	3.786904

### Vekttap til 105 C i %

1.0046 0.6443 0.7081

Vekttap 105-1000 C (Kjemisk bundet vann) i %

4.8652      4.3524      3.6435

### Vekttap 105-1000 C etter eksponering (%)

Exposed	No. 9	No. 1	No. 2
0.34873	6.2412	5.3686	5.2396
0.948808	6.312262	5.502083	5.315488
1.881156	6.422671	5.709478	5.433396
2.061798	6.444063	5.749661	5.456241
2.906291	6.544069	5.937513	5.563039
3.904688	6.6623	6.1596	5.6893

#### Kloridprofiler korrigert for oppkonsentrering under forsøket

	No. 9	No. 1	No. 2
Exposed	Standard	Anlegg	Standard FA
0.34873	0.264296	0.280171	0.41038
0.948808	0.794343	0.830567	1.034272
1.881156	1.756999	1.831097	1.770429
2.061798	1.912983	1.957494	1.981523
2.906291	2.71393	2.815599	1.943436
3.904688	3.661651	3.817669	3.754685

### Innveid prøve (g)

No. 9	No. 1	No. 2
Standard	Anlegg	Standard FA
13.5198	14.9986	15.3899
13.4733	15.2146	15.0448
13.3846	15.1175	15.2229
13.6408	15.0894	15.6059
13.5835	15.0212	15.3918
13.7785	14.9578	15.272

Væske korrigert for ekstra bundet vann (g)

No. 9	No. 1	No. 2
Standard	Anlegg	Standard FA
24.02636	23.9173	24.40528
24.56194	23.15593	23.94077
25.13209	23.24157	24.25185
24.86213	23.46594	23.61971
24.781	23.91171	24.07683
25.40869	23.3585	23.54982

Rød = merkelige resultat

Orange = interpolerte resultater

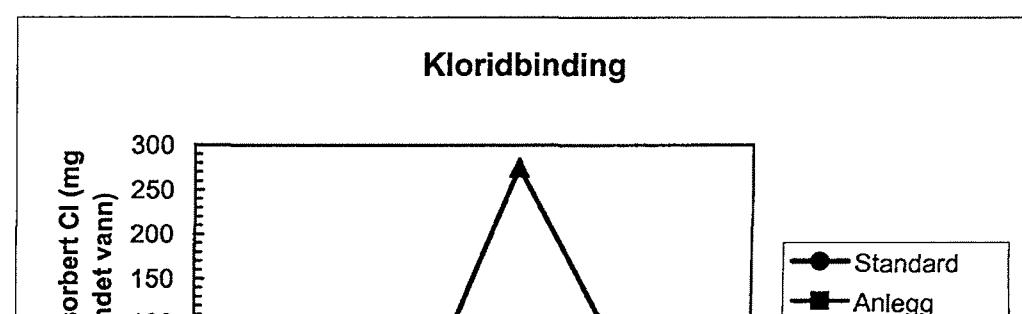
Grønn = sjøvann resultat

Innveid væske (g)

No. 9	No. 1	No. 2
Standard	Anlegg	Standard FA
24.0747	23.9721	24.5402
24.6196	23.2317	24.084
25.204	23.348	24.4146
24.9383	23.5782	23.7901
24.8703	24.0515	24.2612
25.5154	23.5307	23.7519

Bundet/adsorbert klorid (mg) per gram kjemis

No. 9	No. 1	No. 2
Standard	Anlegg	Standard FA
3	24	21
8	45	33
6	37	14
8	43	29
1	54	25
8	68	22
		41



## Kloridprofiler, målte verdier

1:3 A:S	No.3				No. 4				No. 5				No. 6				Innveid prøve (g)				Korrigert væske (g)					
	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	No.3	No. 4	No. 5	No. 6	No.3	No. 4	No. 5	No. 6		
Exposed	0.34873	0.286346	0.275741	0.286747	0.32236	15.4656	13.6496	13.5565	13.8172	24.07352	25.00192	24.64747	24.09038	0.948808	0.835926	0.813684	0.834276	0.862658	15.0206	13.8609	13.3949	13.7913	24.21524	26.08152	24.17996	24.49487
	1.881156	1.833837	1.81539	1.878145	1.811515	14.4137	13.6943	13.7978	13.5474	25.21401	25.07338	23.95614	25.00153	2.061798	2.012984	2.007167	2.006646	1.984302	15.104	13.532	13.5511	13.6252	24.14262	24.6848	24.60668	24.65735
	2.906291	2.701666	2.807718	2.893131	2.75754	14.5641	13.984	13.4901	13.8739	25.77278	26.39294	24.41881	24.8286	3.904688	3.677029	3.839573	3.98732	3.749457	15.485	14.8292	13.6532	13.5126	23.96608	25.36429	25.17641	24.79511

## Vekttap til 105 C i %

0.6192    1.0303    0.9782    0.6435

Rød = merkelige resultat

Orange = interpolerte data

Grønn = sjøvann resultat

## Vekttap 105-1000 C (Kjemisk bundet vann) i %

4.231    4.3704    4.2017    3.6053 Innveid væske (g)

Vekttap 105-100 C etter forsøket var utført (%)	No.3				No. 4				No. 5				No. 6					
	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%		
Exposed	0.34873	5.2417	5.2632	5.3321	4.4731	24.1331	24.9819	24.6666	24.1206	0.948808	5.339475	5.385731	5.358712	4.625366	24.2877	26.078	24.2024	24.5459
	1.881156	5.49139	5.57611	5.40006	4.861943	25.3053	25.0957	23.9849	25.0835	2.061798	5.520824	5.612996	5.408071	4.907779	24.2427	24.7118	24.636	24.746
	2.906291	5.658423	5.785435	5.445523	5.122064	25.8892	26.4447	24.453	24.9484	3.904688	5.8211	5.9893	5.4898	5.3754	24.1149	25.4491	25.217	24.9458

## Kloridprofiler korrigert for oppkonsentrering under forsøket

No.3	No. 4			No. 5			No. 6				
	Exposed	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	Exposed	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	
	0.34873	0.285639	0.275962	0.286525	0.321956		0.34873	19	26	21	11
	0.948808	0.833432	0.813794	0.833502	0.860865		0.948808	35	48	39	34
	1.881156	1.827222	1.813776	1.875893	1.805595		1.881156	17	22	2	29
	2.061798	2.004673	2.004975	2.004258	1.977194		2.061798	17	19	20	32
	2.906291	2.689516	2.802222	2.889086	2.744299		2.906291	69	34	6	57
	3.904688	3.654337	3.826778	3.980902	3.726807		3.904688	67	23	-26	61

## Bundet/adsorberte klorider (mg) per gram kjemisk bundet vann

No.3	No. 4			No. 5			No. 6				
	Exposed	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	Exposed	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 35%	
	0.34873	19	26	21	11		0.948808	35	48	39	34
	0.948808	17	22	2	29		1.881156	17	19	20	32
	1.881156	69	34	6	57		2.061798	67	23	-26	61
	2.061798	69	34	6	57		2.906291	67	23	-26	61
	2.906291	67	23	-26	61		3.904688	67	23	-26	61