

SINTEF Building and Infrastructure Ola Skjølsvold

# Kloriddiffusjon i betong. Vurdering av aldringseffekten ved felteksponering

COIN Project report 11 - 2009



SINTEF Building and Infrastructure

Ola Skjølsvold

# **Kloriddiffusjon i betong. Vurdering av aldringseffekten ved felteksponering**

COIN P4 Operational service life design

SP 4.1 Service life modelling

COIN Project report 11 – 2009

COIN Project report no 11

Olav Skjølvold

### **Kloriddiffusjon i betong.**

#### **Vurdering av aldringseffekten ved felteksponering**

COIN P4 Operational service life design

SP 4.1 Service life modelling

Keywords:

Materialteknologi, betong, diffusjon, klorid, sjøvann, aldring

ISSN 1891-1978 (online)

ISBN 978-82-536-1088-7(pdf)

© Copyright SINTEF Building and Infrastructure 2009

The material in this publication is covered by the provisions of the Norwegian Copyright Act. Without any special agreement with SINTEF Building and Infrastructure, any copying and making available of the material is only allowed to the extent that this is permitted by law or allowed through an agreement with Kopinor, the Reproduction Rights Organisation for Norway. Any use contrary to legislation or an agreement may lead to a liability for damages and confiscation, and may be punished by fines or imprisonment.

Address: Forskningsveien 3 B  
POBox 124 Blindern  
N-0314 OSLO

Tel: +47 22 96 55 55

Fax: +47 22 69 94 38 and 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

[www.coinweb.no](http://www.coinweb.no)

### **Cooperation partners / Consortium Concrete Innovation Centre (COIN)**

#### **Aker Solutions**

Contact: Jan-Diederik Advocaat

Email: [jan-diederik.advocaat@akersolutions.com](mailto:jan-diederik.advocaat@akersolutions.com)

Tel: +47 67595050

#### **NTNU**

Contact: Terje Kanstad

Email: [terje.kanstad@ntnu.no](mailto:terje.kanstad@ntnu.no)

Tel: +47 73594700

#### **Spenncon AS**

Contact: Ingrid Dahl Hovland

Email: [ingrid.dahl.hovland@spenncon.no](mailto:ingrid.dahl.hovland@spenncon.no)

Tel: +47 67573900

#### **Borregaard Ligno Tech**

Contact: Kåre Reknes

Email: [kare.reknes@borregaard.com](mailto:kare.reknes@borregaard.com)

Tel: +47 69118000

#### **Rescon Mapei AS**

Contact: Trond Hagerud

Email: [trond.hagerud@resconmapei.no](mailto:trond.hagerud@resconmapei.no)

Tel: +47 69972000

#### **Norwegian Public Roads Administration**

Contact: Kjersti K. Dunham

Email: [kjersti.kvalheim.dunham@vegvesen.no](mailto:kjersti.kvalheim.dunham@vegvesen.no)

Tel: +47 22073940

#### **maxit Group AB**

Contact: Geir Norden

Email: [geir.norden@maxit.no](mailto:geir.norden@maxit.no)

Tel: +47 22887700

#### **SINTEF Building and Infrastructure**

Contact: Tor Arne Hammer

Email: [tor.hammer@sintef.no](mailto:tor.hammer@sintef.no)

Tel: +47 73596856

#### **Unicon AS**

Contact: Stein Tosterud

Email: [stto@unicon.no](mailto:stto@unicon.no)

Tel: +47 22309035

#### **Norcem AS**

Contact: Terje Rønning

Email: [terje.ronning@norcem.no](mailto:terje.ronning@norcem.no)

Tel: +47 35572000

#### **Skanska Norge AS**

Contact: Sverre Smeplass

Email: [sverre.smeplass@skanska.no](mailto:sverre.smeplass@skanska.no)

Tel: +47 40013660

#### **Veidekke Entreprenør ASA**

Contact: Christine Hauck

Email: [christine.hauck@veidekke.no](mailto:christine.hauck@veidekke.no)

Tel: +47 21055000

## Preface

---

This study has been carried out within COIN - Concrete Innovation Centre - one of presently 14 Centres for Research based Innovation (CRI), which is an initiative by the Research Council of Norway. The main objective for the CRIs is to enhance the capability of the business sector to innovate by focusing on long-term research based on forging close alliances between research-intensive enterprises and prominent research groups.

The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and constructions. Attractiveness implies aesthetics, functionality, sustainability, energy efficiency, indoor climate, industrialized construction, improved work environment, and cost efficiency during the whole service life. The primary goal is to fulfil this vision by bringing the development a major leap forward by more fundamental understanding of the mechanisms in order to develop advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

The corporate partners are leading multinational companies in the cement and building industry and the aim of COIN is to increase their value creation and strengthen their research activities in Norway. Our over-all ambition is to establish COIN as the display window for concrete innovation in Europe.

About 25 researchers from SINTEF (host), the Norwegian University of Science and Technology - NTNU (research partner) and industry partners, 15 - 20 PhD-students, 5 - 10 MSc-students every year and a number of international guest researchers, work on presently 5 projects:

- Advanced cementing materials and admixtures
- Improved construction techniques
- Innovative construction concepts
- Operational service life design
- Energy efficiency and comfort of concrete structures

COIN has presently a budget of NOK 200 mill over 8 years (from 2007), and is financed by the Research Council of Norway (approx. 40 %), industrial partners (approx 45 %) and by SINTEF Building and Infrastructure and NTNU (in all approx 15 %).

For more information, see [www.coinweb.no](http://www.coinweb.no)

Tor Arne Hammer  
Centre Manager

## Sammendrag

---

Kloriddiffusjonskoeffisienten for betong som er eksponert i marint miljø reduseres over tid på grunn av modning og aldring (tetting av overflatesjiktet) av betongen. Aldringsutviklingen beskrives av  $\alpha$ ,  $\beta$  og  $\gamma$ :

- $\beta$ : beskriver reduksjon av potensiell diffusjonskoeffisient ( $D_p$ ) på grunn av økt modenhet
- $\alpha$ : beskriver reduksjon av oppnådd diffusjonskoeffisient ( $D_a$ ) på grunn av økt modenhet og aldring ved eksponering
- $\gamma$ : beskriver forholdet mellom  $D_p$  og  $D_a$

Det finnes begrenset datamateriale for beregning av  $\beta$  og  $\gamma$ . Når det gjelder  $\alpha$  finnes betydelig mengder data av varierende kvalitet. I foreliggende rapport er det foretatt en vurdering av tidsavhengigheten for diffusjonskoeffisienten for betong med ulik sammensetning og eksponering. Oppgaven er begrenset til vurdering av  $\alpha$ , det vil si den utvikling som skjer etter at betongen er eksponert mot klorider i felt. Det er foretatt en gjennomgang og vurdering av kvaliteten for tilgjengelige data. Troverdige datasett er benyttet til beregning av  $\alpha$ . Verdiene er sortert etter type betong (lettbetong og normaldensitetsbetong), type bindemiddel (silika- og flygeasketilsetning) og eksponering (neddykket, tidevannssone og i luft).

Tidsavhengigheten er mye mindre for betong med ren portlandsement enn for betong som er tilsatt silikastøv og/eller flygeaske/slagg. Det foreligger lite langtidsdata, men det som finnes tyder på at aldringseffekten avtar eller opphører for lengre eksponering enn 5 - 10 år.

## Innholdsfortegnelse

---

|  |  |
|--|--|
| <b>PREFACE</b> .....   | <b>3</b>   |
| <b>SAMMENDRAG</b> .....  | <b>4</b>   |
| <b>1 INNLEDNING</b> .....  | <b>6</b>   |
| <b>2 BEREGNINGSMODELL FOR ALDRINGSPARAMETER</b> .....                                  | <b>7</b>   |
| <b>3 DATA FOR BEREGNING AV ALDRINGSPARAMETER</b> .....                                 | <b>8</b>   |
| 3.1 GENERELT .....   | 8  |
| 3.2 TILGJENGELIGE DATA .....   | 8  |
| 3.3 KVALITET PÅ DATA.....  | 9  |
| 3.4 BEREGNING AV DIFFUSJONSKOEFFISIENT OG OVERFLATEKONSENTRASJON .....                 | 9  |
| 3.5 AKTUELLE KONSTRUKSJONER OG PROSJEKTER.....   | 13   |
| 3.5.1 <i>Shore Approach (1982)</i> .....   | 13   |
| 3.5.2 <i>Elkem - Østmarkneset/tidevannssone (1983)</i> .....                           | 14   |
| 3.5.3 <i>Plattformene Oseberg, Statfjord, Troll og Gullfaks (1988-1995)</i> .....      | 14   |
| 3.5.4 <i>Trondheim havn (1988)</i> .....   | 15   |
| 3.5.5 <i>Østmarkneset - Light Weight Aggregate Concrete for Floaters (1992)</i> .....  | 15   |
| 3.5.6 <i>Narvik (1992)</i> .....   | 16   |
| 3.5.7 <i>Draugen (1993)</i> .....  | 17   |
| 3.5.8 <i>Heidrun (1995)</i> .....  | 17   |
| 3.5.9 <i>Lettkon 3.10 (1998)</i> .....   | 18   |
| 3.5.10 <i>Lettkon 3.6 (1998)</i> .....   | 19   |
| 3.5.11 <i>Statens vegvesen Vegdirektoratet</i> .....                                   | 20   |
| 3.5.12 <i>Ressursvennlig kvalitetsbetong – Østmarkneset/tidevannssone (1998)</i> ..... | 21   |
| 3.5.13 <i>Ressursvennlig kvalitetsbetong - Brevik/neddykket (1999)</i> .....           | 22   |
| 3.5.14 <i>Ressursvennlig kvalitetsbetong - Indre Oslofjord (1999)</i> .....            | 24   |
| <b>4 SAMMENSTILLING OG VURDERING</b> .....   | <b>25</b>  |
| 4.1 BEREGNET OVERFLATEKONSENTRASJON .....  | 25   |
| 4.2 BEREGNET DIFFUSJONSKOEFFISIENT .....   | 26   |
| 4.3 BEREGNET INITIELL DIFFUSJONSKOEFFISIENT $D_{A0}$ .....                             | 28   |
| 4.4 ALDRINGSPARAMETEREN $\alpha$ .....   | 30   |
| <b>5 OPPSUMMERING – ALDRINGSPARAMETER <math>\alpha</math></b> .....                    | <b>32</b>  |
| 5.1 VANN/BINDEMIDDEFORHOLD .....   | 32   |
| 5.2 TYPE BETONG OG BINDEMIDDEL .....   | 32   |
| 5.3 TIDSAVHENGIG ALDRINGSPARAMETER .....   | 32   |
| 5.4 EKSPONERING.....   | 32   |
| <b>REFERANSER</b> .....  | <b>33</b>  |
| <b>Vedlegg</b>   |  |
| Vedlegg 1  | Shore Approach   |
| Vedlegg 2  | Østmarkneset Elkem   |
| Vedlegg 3  | Østmarkneset LWAC for Floaters – lettbetong                  |
| Vedlegg 4  | Draugen  |
| Vedlegg 5  | Heidrun -lettbetong  |
| Vedlegg 6  | Lettkon 3.10 – lettbetong                                    |
| Vedlegg 7  | Lettkon 3.6 – lettbetong neddykket i sjøvann i lab           |
| Vedlegg 8  | Lettkon 3.6 – lettbetong neddykket i sjøen og tidevannssonen |
| Vedlegg 9-10   | Ressursvennlig kvalitetsbetong – Østmarkneset                |
| Vedlegg 11-12  | Ressursvennlig kvalitetsbetong - Brevik                      |
| Vedlegg 13-18  | Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord             |

---

## 1 Innledning

---

Kloriddiffusjonskoeffisienten for betong som er eksponert i marint miljø reduseres over tid på grunn av modning og aldring (tetting av overflatesjiktet) av betongen. Aldringsutviklingen beskrives av  $\alpha$ ,  $\beta$  og  $\gamma$ :

- $\beta$ : beskriver reduksjon av potensiell diffusjonskoeffisient ( $D_p$ ) på grunn av økt modenhet
- $\alpha$ : beskriver reduksjon av oppnådd diffusjonskoeffisient ( $D_a$ ) på grunn av økt modenhet og aldring ved eksponering, heretter kalt aldringsparameter
- $\gamma$ : beskriver forholdet mellom  $D_p$  og  $D_a$

Det finnes begrenset datamateriale for beregning av  $\beta$  og  $\gamma$ . Når det gjelder  $\alpha$  finnes betydelige mengder data av varierende kvalitet.

I foreliggende rapport er det foretatt en vurdering av tidsavhengigheten for diffusjonskoeffisienten for betong med ulik sammensetning og ulike eksponeringsbetingelser. Oppgaven er begrenset til vurdering av  $\alpha$ , med tilhørende verdier for  $D_{a0}$  og  $C_0$ , det vil si den utviklingen som skjer etter at betongen er eksponert mot klorider i felt.

## 2 Beregningsmodell for aldringsparameter

---

Utvikling av diffusjonskoeffisienten over tid beskrives ofte av likningen

$$D_a(t) = D_{a0}(t_0/t)^\alpha, \quad \text{der } D_a(t) \text{ er oppnådd diffusjonskoeffisient etter tida } t.$$

$D_{a0}$  er oppnådd diffusjonskoeffisient etter tida  $t_0$  (vanligvis eksponeringstidspunktet eller en standardisert fast verdi, eksempelvis 28 døgn). I denne rapporten er det benyttet 28 døgn, uavhengig av reell tid fram til eksponering.

$\alpha$  beregnes ved regresjonanalyse i log/log-diagram med oppnådd diffusjonskoeffisient på y-aksen, og  $28/t$  på x-aksen (der  $t$  = eksponeringstid). Dette gir  $y = kx^\alpha$ , der  $k$  = teoretisk oppnådd diffusjonskoeffisient etter 28 døgn eksponering ( $D_{a0}$ ), og  $x = 28/t$ .



### 3 Data for beregning av aldringsparameter

#### 3.1 Generelt

Det er utført en del undersøkelser for å bestemme størrelsen på aldringsparameteren  $\alpha$ , men de fleste undersøkelsene har usikkerheter knyttet til eksponering, prøveuttak og/eller analysemetoder. Tidsperioden er i tillegg ofte begrenset til kun få år. Det er ikke mange undersøkelser som har troverdig bestemmelse av diffusjonskoeffisient ved mer enn to aldre som spenner over minst en 10-årsperiode.

I noen tilfeller finnes data fra kloridinntrenging ved bulkdiffusjon i laboratoriet ved forskjellige aldre. Disse verdiene er ikke plottet sammen med felldata ved beregning av aldringsparameteren.

#### 3.2 Tilgjengelige data

Det ble foretatt en gjennomgang av tilgjengelige data i 2001 /1/. I foreliggende rapport er det foretatt en kritisk gjennomgang og sortering av de verdier som ble benyttet til beregningene i 2001, samt komplettering med nye data fra perioden 2001-2008.

**Tabell 1 Oversikt over tilgjengelige data for beregning av aldringsparameter  $\alpha$**

| Prosjekt                  | År   | Terminer                      | Betong         | Eksponering                      | $\alpha$ |
|---------------------------|------|-------------------------------|----------------|----------------------------------|----------|
| Shore Approach /2/        | 1982 | 7, 9, 12 og 26 år             | Normal         | Tidevann                         | Nei      |
| Plattformer /4/           | Div. | Diverse                       | Normal         | Variierende                      | Nei      |
| Østmarkneset /3/          | 1983 | 1 ½, 5, 9 14 og 21 ½ år       | Normal         | Tidevann                         | Ja       |
| Trondheim havn /3/        | 1988 | 1, 3, 7 år                    | LWAC           | Neddykket                        | Nei      |
| Østmarkneset Floaters /3/ | 1992 | 13 mnd, 63 mnd og 9 år        | LWAC           | Neddykket, tidevann, atmosfærisk | Ja       |
| Narvik /3/                | 1992 | ½, 4 ½ år                     | Normal         | Neddykket                        | Nei      |
| Draugen /5/               | 1993 | 4 ½, 10 ½ og 14 ½             | Normal         | Tidevann                         | Nei      |
| Heidrun /6/               | 1995 | 2, 5, 9, 13 år                | LWAC           | Tidevann                         | Nei      |
| LETTKON 3.6 /7/           | 1997 | 7, 35, 200 og 700 d           | LWAC           | Neddykket, tidevann              | Ja       |
| Østmarkneset /8/          | 1998 | 35d, 200d, 1, 2, 5 og 9 år    | Normal         | Tidevann                         | Ja       |
| LETTKON 3.10 /9/          | 1998 | 28, 90 og 190 d               | Normal<br>LWAC | Neddykket                        | Ja       |
| Brevik /8/                | 1999 | 35d, 200d, 1, 2, 5 og 10 år   | Normal         | Neddykket                        | Ja       |
| Indre Oslofjord /10/      | 1999 | 7, 28, 145, 230, 400 og 750 d | Normal         | Neddykket                        | Ja       |

Oversikt over referanser for benyttede data er gitt i Tabell 2.

**Tabell 2 Oversikt over referanser for benyttede data**

| Prosjekt                  | År   | Terminer og referanser                                      |
|---------------------------|------|---|
| Shore Approach /2/        | 1982 | 7 år /2/, 9 år /15/, 12 år /16/, 26 år /17/                 |
| Plattformer /4/           | Div. | Diverse /1/   |
| Østmarkneset /3/          | 1983 | 1 ½ år /18/, 5 år /19/, 9 år /20/, 14 år /21/, 21 ½ år /14/ |
| Trondheim havn /3/        | 1988 | 1, 3 og 7 år /1/  |
| Østmarkneset Floaters /3/ | 1992 | 13 mnd /12/, 63 mnd /13/, 9 år /22/                         |
| Narvik /3/                | 1992 | ½ og 4 ½ år /1/   |
| Draugen /5/               | 1993 | 4 ½ år /23/, 10 ½ år /24/, 14 ½ år /25/                     |
| Heidrun /6/               | 1995 | 2 år /6/, 5 år /26/, 9 år /27/, 13 år /28/                  |
| LETTKON 3.6 /7/           | 1997 | 7, 35, 200 og 700 døgn /7/                                  |
| Østmarkneset /8/          | 1998 | 35 og 200 døgn, 1, og 2 år /8/, 5 år /29/, 9 år /30/        |
| LETTKON 3.10 /9/          | 1998 | 28, 90 og 190 døgn /9/                                      |
| Brevik /8/                | 1999 | 35 og 200 døgn, 1 og 2 år /8/, 5 år /31/, 10 år /32/        |
| Indre Oslofjord /10/      | 1999 | 7, 28, 145, 230, 400 og 750 døgn /10/                       |

### 3.3 Kvalitet på data

Data for beregning av aldringsparameteren må tilfredsstille visse krav med hensyn på prøveuttak, prøving og antall paralleller og prøvingsterminer. Ikke alle datasett tilfredsstiller disse kravene.

Uttak av støv med bormaskin anses som mer unøyaktig enn fresing (evt tørrsaging) av uttatte borkjerner. Kloridinnholdet (kloridprofilen) anses som mer nøyaktig når det er bestemt ved titrering eller med spektrofotometer enn ved bruk av RCT og Quantab.

Kloriddiffusjonskoeffisienten varierer ganske mye for prøver i en serie. Dette er særlig tilfelle for borkjerner, men også innad i serier for terninger eller sylindre støpt ut i laboratoriet fra en og samme blanding varierer diffusjonskoeffisienten en del. Få paralleller kan til en viss grad veies opp av mange terminer. Uansett antall paralleller, bør det være mer enn to prøvingsterminer. En prøve eller to paralleller og kun to prøvingsterminer gir ikke grunnlag for bestemmelse av aldringsparameteren.

Prøvestykkene for de ulike terminer må videre være tatt ut slik at en i ettertid er sikker på at betongen er den samme, og at den har vært utsatt for samme kloridbelastning.

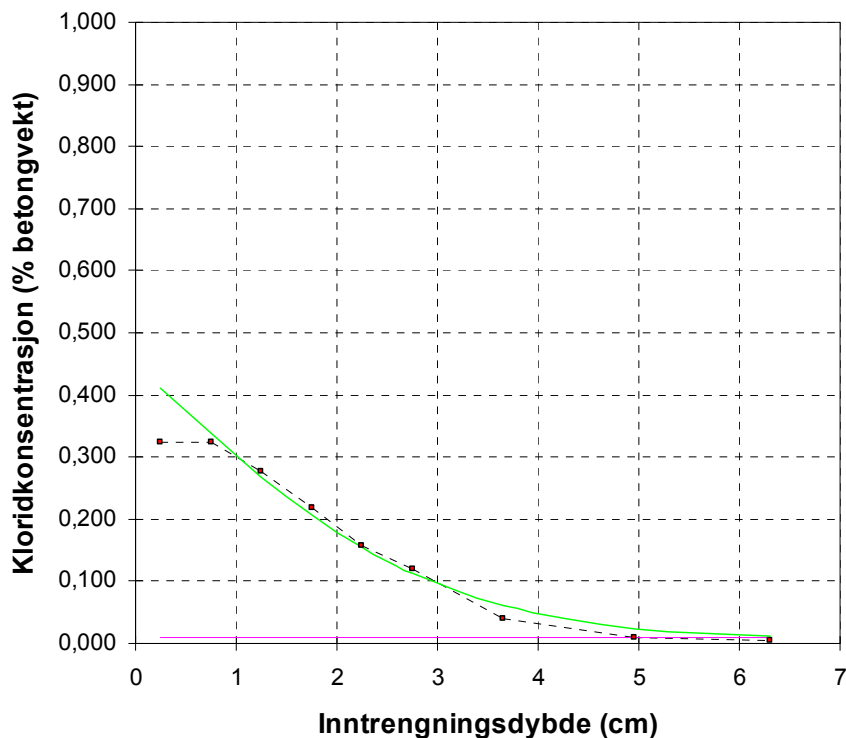
### 3.4 Beregning av diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon

Ved bestemmelse av kloridprofil for betong som eksponert i felt oppnås ofte profiler med en "dupp" i overflatesjiktet der kloridinnholdet er lavere enn lenger inn på grunn av utbytting/utvasking av kloridioner (se Figur 2). Som regel er dette begrenset til ett eller to punkter i profilet som vist i Figur 1 (normaldensitetsbetong etter 26 år i tidevannssonen). I slike tilfeller er det standard prosedyre å utelate det ytterste punktet (og evt andre avvikende punkter) ved beregning av kloriddiffusjonskoeffisient  $D_a$  og  $C_0$ . Vanligvis oppnås da en tilpasset kurve som passer godt til det målte profilet.

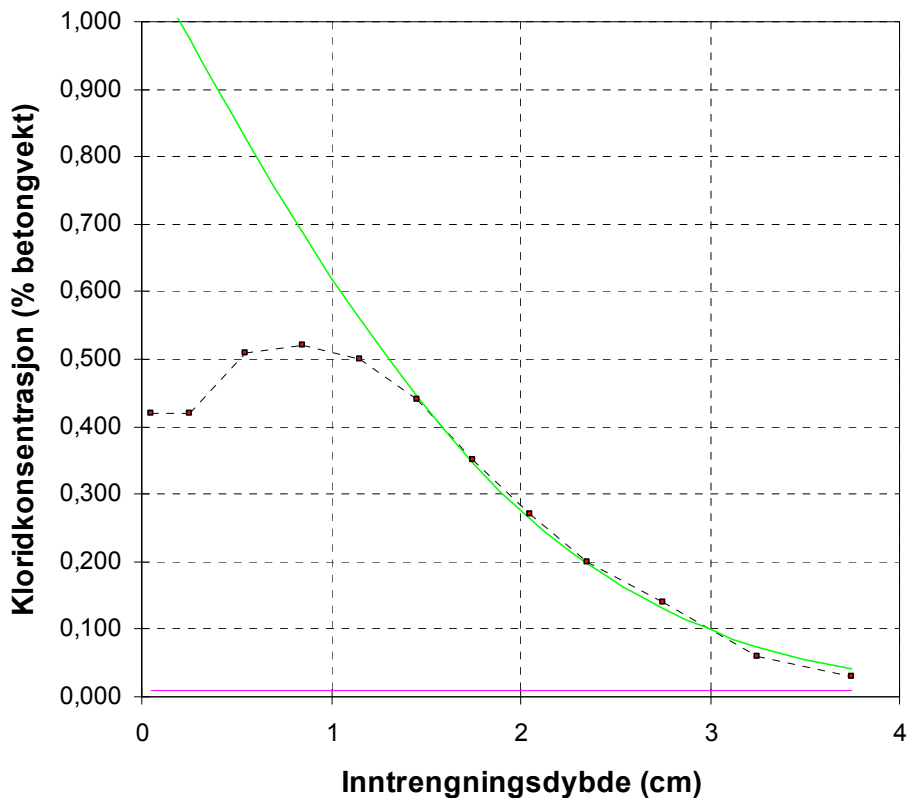
I noen tilfeller er kloridinnholdet lavere langt innover fra overflata før en kommer inn på selve kloridprofilen, se eksempel i Figur 2. Dersom en velger bort de punktene som ikke naturlig passer inn i profilet, oppnås en tilpasset kurve som passer til den indre delen av profilet. Den beregnede verdien for  $C_0$  kan i slike tilfeller bli svært høy. Profilet i Figur 2 representerer lettbetong eksponert i skvalpesonen i 5 år. Lettbetong har ofte høy overflatekonsentrasjon, og dersom kloridene i overflata ikke hadde vært utvasket/utbyttet er det ikke usannsynlig at profilet kunne sett ut som den tilpassede kurven.

Overflatekonsentrasjonen er den drivende krafta i diffusjonen, og det er uklart hvor stor denne har vært, og er, i Figur 2. Dersom en velger bort punktene som ikke passer inn i profilet vil den teoretiske verdien for  $C_0$  bli  $> 1,0 \%$  (se Figur 4).

Det er uklart hva som er mest korrekt. Dersom en tar med de ytterste punktene oppnås en lavere overflatekonsentrasjon og en høyere diffusjonskoeffisient i tillegg til at den tilpassede kurven ikke passer med det registrerte profilet (se Figur 3).



**Figur 1** Vanlig kloridprofil etter langs tids eksponering i tidevannssonen (normaldensitetsbetong)



**Figur 2** Eksempel på kloridprofil med lavere kloridinnhold langt inn fra overflata (lettbetong etter 5 års eksponering i plaskesonen)

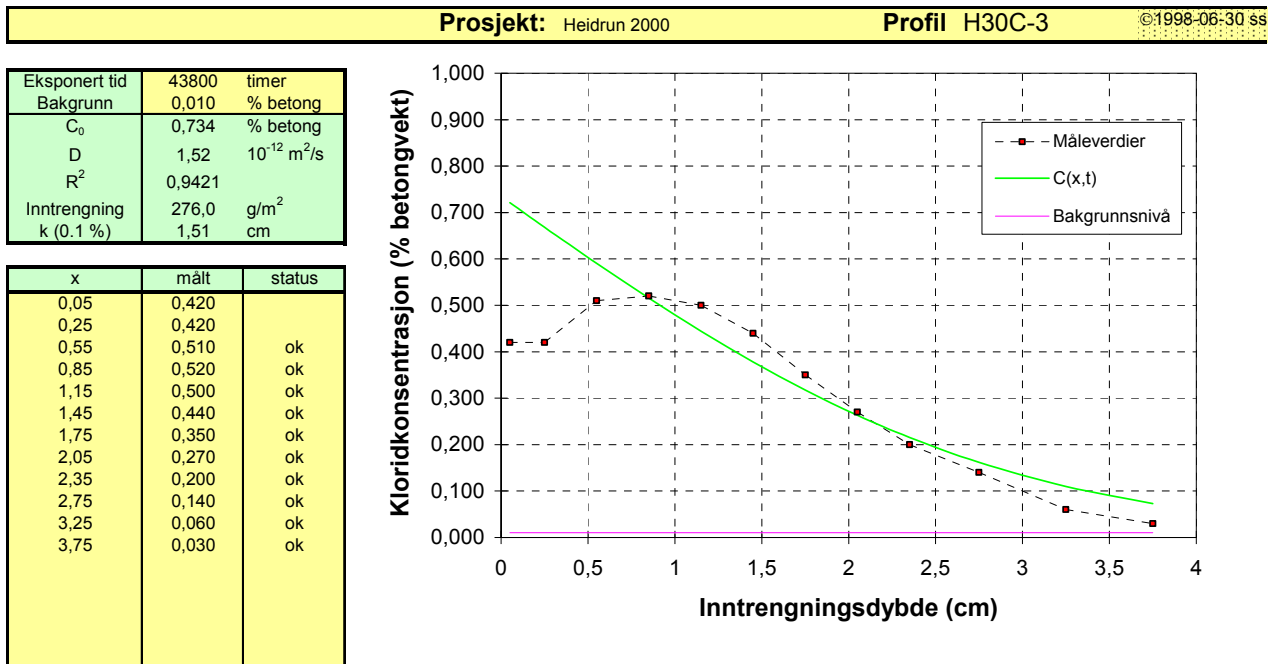
En foreslått prosedyre er å kutte ut det sjiktet der kloridionene delvis er utvasket/utbyttet, og regne med den drivende kraft (overflatekonsentrasjon) en har der profilet teoretisk starter etter å ha fjernet yttersjiktet. For profilet i Figur 2 ville dette medføre at "overflata" flyttes inn til 10 mm, og diffusjonskoeffisienten beregnes derfra. Dette gir en "normal" teoretisk overflatekonsentrasjon og en lavere diffusjonskoeffisient som vist i Figur 5.

I Figur 3 der overflatesjiktet delvis er tatt med ved beregning, oppnås  $D = 1,52 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Det oppnås da et beregnet profil som stemmer dårlig overens med det registrerte.

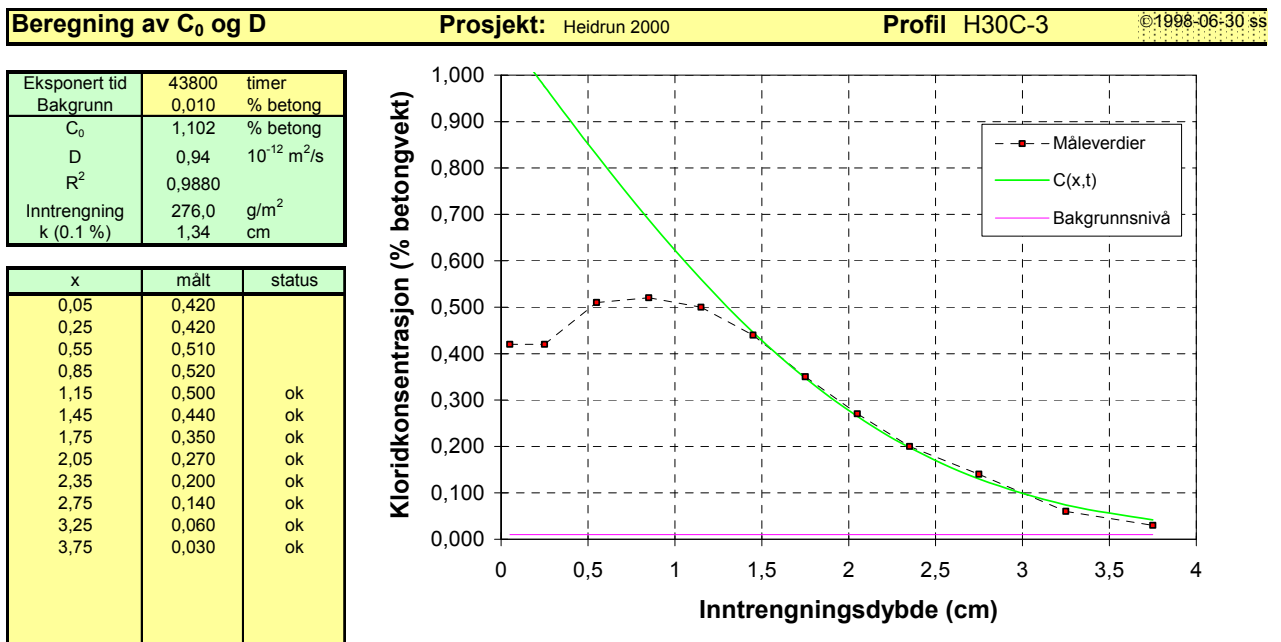
I Figur 4 der det er regnet på samme profil, men der alle punkter i det utvaskede overflatesjiktet (ca 0-10 mm) er utelatt, oppnås  $D = 0,94 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  og vesentlig høyere overflatekonsentrasjon.

I Figur 5 er nullpunktet (overflata) for beregningene flyttet 10 mm inn i betongen. Ved beregning oppnås  $D = 0,60 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

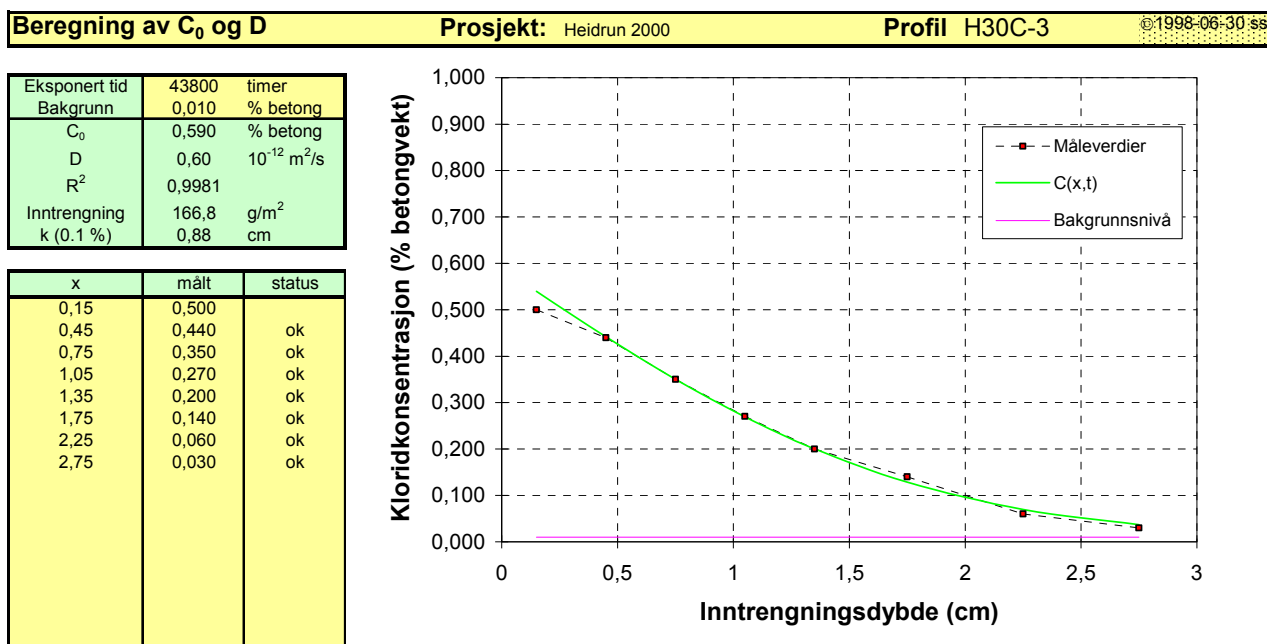
De diffusjonskoeffisienter som er beregnet av rapportforfatteren er beregnet slik det går fram av Figur 4, men diffusjonskoeffisienter beregnet ut fra profiler som vist i Figur 2 og Figur 4 er tillagt mindre vekt eller utelatt (gjelder særlig lettbetong). Overflatekonsentrasjon ( $C_0$ ) fra slike profiler er ikke gjengitt.



**Figur 3** Beregning av diffusjonskoeffisient ved å ta med punkter i det utvaskede overflatesjikt



**Figur 4** Beregning av diffusjonskoeffisient ved å utelate punkter i overflatesjiktet



**Figur 5** Beregning av diffusjonskoeffisient for profil i Figur 3 ved å flytte nullpunktet 10 mm fra inn fra overflata

### 3.5 Aktuelle konstruksjoner og prosjekter

#### 3.5.1 Shore Approach (1982)

I forbindelse med Statpipe-anlegget produserte Ing F Selmer ilandføringstunnelen for rørledningen fra Statfjordfeltet. Tunnelen ble prefabrikkert seksjonsvis i dokk i Stavanger og Kristiansand og montert in situ ved Kalstø på Karmøy. Elementene som var produsert i Kristiansand ble prosjektert i fasthetsklasse C60, med  $v/(c+s)$  tilsvarende 0,36, Standardsement P30 og 7,5 % silikastøv (5 % av bindemiddelmengden).

Det er tatt prøver ved 4 aldrer over et langt tidsrom (7-26 år) /2, 15, 16, 17/. Prøving i laboratoriet er utført etter samme prosedyrer ved alle de seneste aldrene (fresing av borkjerner og spektrofotometer). For prøvene tatt ut etter 7 og 9 års eksponering er det benyttet borstøv og få sjikt per profil. Prøvene skal være tatt ut slik det er sammenlignbar betong for de ulike terminene.

Beregning av diffusjonskoeffisienter for kloridprofilene gir følgende resultater:

- 2 profiler etter 7 år: 0,19 - 0,89 med middel  $0,52 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  (svært usikre resultater)
- 6 profiler etter 9 år: 0,07 – 0,56 med middel  $0,27 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  (usikre resultater)
- 6 profiler etter 12 år: 0,15 – 0,47 med middel  $0,36 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- 4 profiler etter 26 år: 0,33 – 0,51 med middel  $0,42 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Som det går fram av Vedlegg 1 gir resultatene ikke grunnlag for beregning av  $\alpha$ .

For denne betongen er det foretatt prøving av motstand mot kloridinntrenging ved bulk diffusjon (NT Build 443) av ikke-eksponert betong ved både 9 og 26 års alder:

- 6 prøvestykker ved 9 år:  $2,82 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- 3 prøvestykker ved 26 år:  $2,91 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Resultatene gir ikke grunnlag for estimering av  $\beta$ .

### 3.5.2 Elkem - Østmarkneset/tidevannssone (1983)

I 1982 ble det støpt blokker av betong i to fasthetsklasser med varierende silikainnhold. Det er foretatt prøving på 5 terminer over 21 år. Resultatene spriker en del over tid. Det få paralleller og ulik praksis for prøveuttak og kloridanalyser for de ulike terminer. Prøvingen etter 1,5 år er utført ved uttak av borkjerner som er saget i skiver og knust. Dette gir få punkter i profilet. Kloridinnholdet er analysert med to-punkts kloridelektrode-metode (vannløselige klorider). Etter 5 års eksponering er det tatt ut borstøv som er analysert med Quantab. Prøving etter 9, 14 og 21 år er utført etter samme prosedyre (fresing av borkjerner og spektrofotometer). Resultatene fra de to første prøvingsterminene er tillagt mindre vekt ved at det er foretatt en "siling" av resultatene ut fra en vurdering av utviklingen av kloridprofilene over tid. Resultatene fra beregning av aldringsparameteren ut fra "silte" resultater er vist i Tabell 3 og vedlegg 2.

Betongen er støpt med det som senere skulle vise seg å være alkalireaktivt tilslag. For betong uten silikastøv ser betongen ut til å være sterkt påvirket av alkalireaksjoner (opprikket) allerede ved 14 års alder. Ved prøvingen etter 21 år var betongen uten silikastøv mer eller mindre gått i oppløsning.

**Tabell 3 Overflatekonsentrasjon, Østmarkneset (1983)**

| Silika  |         | Tidevannssone |      |      |      |      |
|---|---------|---------------|------|------|------|------|
|   |         | -             | 10 % | 20 % | 10 % | 20 % |
| v/c+2s  |         | 0,54          | 0,58 | 0,59 | 0,37 | 0,39 |
| C <sub>0</sub> ,<br>% Cl <sup>-</sup> av<br>betongvekt  | 1,5år   | 0,23          | 0,48 | 0,41 | 0,45 | 0,34 |
|   | 5 år    | 0,29          | 0,55 | 0,38 | 0,48 | 0,60 |
|   | 9 år    |               | 0,53 | 0,48 | 0,87 | 0,77 |
|   | 14 år   |               | 0,58 | 0,40 | 0,87 | 1,17 |
|   | 21 ½ år |               | 0,54 | 0,53 | 0,80 | 0,85 |
| $\alpha$  |         | 0,23          | 0,38 | 0,39 | 0,38 | 0,47 |
| D <sub>a0</sub> , $\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ |         | 4,60          | 8,32 | 9,82 | 2,94 | 4,52 |

### 3.5.3 Plattformene Oseberg, Staffjord, Troll og Gullfaks (1988-1995)

Det er foretatt bestemmelse av et stort antall kloridprofiler fra mange plattformer over en årrekke. Det er imidlertid relativt få prøver per termin, og det er uklart om de ulike terminer er direkte sammenlignbare. Få paralleller, spredning i betongkvalitet og lokale variasjoner i kloridbelastningen gjør at resultatene ikke er egnet for beregning av  $\alpha$ . Det er foretatt nye prøveuttak for flere plattformer i 2008. Gjennomgang av alle data for eventuelt å finne sammenlignbare resultater vil være ressurskrevende, og det er ikke prioritert i foreliggende rapport. Data for disse plattformene er tidligere gjennomgått av Maage, Helland og Aarstein /11/. Dataene ble her av artikkelforfatterne ikke vurdert å være pålitelige nok til beregning av  $\alpha$ .

### 3.5.4 Trondheim havn (1988)

Lettbetong med ulike typer lett-tilslag ble eksponert neddykket i havnebassenget ved Trondheim havn. Det er få punkter per kloridprofil, og beregnede diffusjonskoeffisienter over 3 terminer går både opp og ned. Resultatene spriker så mye at de ikke kan betraktes som pålitelige nok til å danne grunnlag for beregning av  $\alpha$ .

### 3.5.5 Østmarkneset - Light Weight Aggregate Concrete for Floaters (1992)

I forbindelse med prosjektet Light Weight Aggregate Concrete for Floaters ble det i desember 1991 støpt ut 6 blokker (1,5 x 0,5 x 1,5 m). Blokkene ble støpt ut ved Aker Betong i Sandnes med Norwegian Contractors som entreprenør. Det ble benyttet betongkvalitet LC40 med krav til  $v/c+2s$  lik 0,29 og 8 % silikatilsetning.

Blokkene herdet utendørs i 2 måneder i forskalingen. Blokkene ble deretter transportert til Trondheim, avforsalet og lagret ytterligere innendørs i 2 måneder før eksponering i marint miljø på Østmarkneset i Trondheim i april 1992. Blokkene ble parvis plassert neddykket, i skvalpesonen og på land rett innenfor strandsonen.

Det er foretatt bestemmelse av kloridprofiler ved 3 aldrer. Dessverre er det kun en eller to prøver av hver variant for den første prøvealderen (13 mnd), mens det er 4 paralleller for de andre prøvealdrene (63 mnd og 9 år). Etter 13 måneders eksponering ble det tatt ut støv direkte fra blokkene med bormaskin, mens det for de to siste prøveseriene er tatt ut borkjerner som er frest i tynne sjikt. Alle kloridanalyser er utført med spektrofotometer.

Alle beregnede verdier for  $C_0$  (overflatekonsentrasjon),  $D$  (diffusjonskoeffisient) og  $\alpha$  er gjengitt i Tabell 4 og Vedlegg 3. Blokkene ble eksponert mot sjøvann ved 4 måneders alder.



**Tabell 4 Data for lettbetong fra Østmarkneset (LWAC for Floaters)**

|                  |  | Neddykket          | Tidevannssone | På land |
|------------------|--|--------------------|---------------|---------|
| Prøvingsterminer |  | 13 og 63 mnd, 9 år |               |         |
| v/c+2s           |  | 0,29               |               |         |
| Silika           |  | 8 %                |               |         |
| 13 mnd           | C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup> av betongvekt | 1,16               | 0,84<br>0,98  | 0,74    |
|                  | Middel   | 1,16               | 0,91          | 0,74    |
|                  | D, ·10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s          | 2,11               | 1,51<br>1,51  | 0,66    |
|                  | Middel   | 2,11               | 1,51          | 0,66    |
| 63 mnd           | C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup> av betongvekt | 1,89               | 0,94          | 1,00    |
|                  |  | 1,65               | 1,45          | 1,53    |
|                  |  | 2,20               | 1,40          | 1,02    |
|                  |  | 2,78               | 1,34          | 1,72    |
|                  | Middel   | 1,88               | 1,28          | 1,32    |
|                  | D, ·10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s          | 0,66               | 0,27          | 0,22    |
|                  |  | 1,04               | 0,46          | 0,24    |
|                  |  | 0,84               | 0,37          | 0,21    |
| 0,64             |  | 0,24               | 0,30          |         |
| Middel           | 0,80   | 0,34               | 0,24          |         |
| 9 år             | C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup> av betongvekt |                    | 2,17          | 1,12    |
|                  |  |                    | 1,84          | 1,34    |
|                  |  |                    | 1,35          | 1,42    |
|                  |  |                    | 2,00          | 1,29    |
|                  | Middel   |                    | 1,84          | 1,29    |
|                  | D·10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s            |                    | 0,31          | 0,18    |
|                  |  |                    | 0,27          | 0,14    |
|                  |  |                    | 0,35          | 0,14    |
|                  |  | 0,30               | 0,19          |         |
| Middel           |  | 0,31               | 0,16          |         |
| α                | 0,56   | 0,80               | 0,66          |         |
| D <sub>a0</sub>  | 9,07   | 12,15              | 3,76          |         |

Ved 13 måneders alder ble det foretatt bestemmelse av diffusjonskoeffisient etter NT Build 443 på utboret betong (prøvestykkene ble tatt ut ca 200 mm fra overflata):

Resultat NT Build 443 (middel av 6 prøvestykker) ved 13 måneders alder:

$$C_0 = 2,87 \% \text{ Cl}^-$$

$$D = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

### 3.5.6 Narvik (1992)

Det ble støpt ut sylindre fra betong av 13 ulike resepter. Det ble benyttet ren portlandsement, samt tilsetning av silika og celite. Vann/bindemiddelforhold var 0,40-0,45. Sylindrene ble eksponert mot kloridinntrenging i tidevannssonen på Narvik havn. Resultatene spriker mye og det er kun to prøvingsterminer (1 og 4 ½ år). Det var planlagt prøving på et senere tidspunkt, men dette er ikke utført. Resultatene er usikre, og to usikre punkter danner ikke grunnlag for beregning av α.

### 3.5.7 Draugen (1993)

I denne plattformen er det benyttet normalbetong med ren portlandsement, 2 % silikatilsetning og  $v/c+2s = 0,39$ . Vi har data fra prøving i 1998, 2004 og 2008. Det er flere prøveserier ved hvert prøvetidspunkt. Resultatene er sortert i sammenlignbare serier ut fra opplysninger fra Dr. Ing. A. Aas-Jacobsen AS /5/. Diffusjonskoeffisientene for alle 3 prøvingsterminer er beregnet av rapportforfatteren. Det er til dels bare to terminer per serie, og beregnede verdier for  $\alpha$  (se Vedlegg 4) spriker så mye at disse ikke er tatt i betraktning ved vurdering størrelsen på aldringsparameteren.

### 3.5.8 Heidrun (1995)

I denne plattformen er det benyttet lettbetong med ren portlandsement, 5 % silikatilsetning og  $v/c+2s = 0,37$ . Vi har data fra prøving i 1997, 2000, 2004 og 2008 /6/. Det er flere prøveserier ved hvert prøvetidspunkt. Verdiene for diffusjonskoeffisient etter 2 år er beregnet av Skanska. Det er beregnet en midlere diffusjonskoeffisient på grunnlag av profiler som består av bare 3 punkter, hvor hvert punkt representerer middel av 3 prøver. Tre punkter i profilet gir usikker kurvetilpassing. Metode for prøveuttak, opprinnelige profiler (antall punkter) og kloridanalysemetode er ukjent.

Diffusjonskoeffisienter for alder 5, 9 og 13 år er beregnet av forfatteren. Mange av kloridprofilene fra skaftene er av samme type som profilet som er gjengitt i Figur 2 og omtalt i pkt 3.4 (med dupp i overflatesjiktet), og det er derfor tvil om hvordan disse skal håndteres beregningsmessig. Valg av beregningsmetode vil ha stor betydning for oppnådde diffusjonskoeffisienter og aldringsparameter. Diffusjonskoeffisientene varierer mye innad for hver termin, og tilpassing til trendlinjer for aldringsparameteren gir dårlig korrelasjon (vedlegg 5). Kloridprofilene for bjelkene er tatt ut 24,5 moh og disse profilene har ikke utpreget ”dupp” i overflatesjiktet. Oppnådde diffusjonskoeffisienter ligger på omtrent sammen nivå (0,15-0,3) for alle terminer fra 5 til 13 år, mens 2-årsverdien er usikker (se ovenfor).

Oppsummering av beregnede diffusjonskoeffisienter:

- 3 middelveier for 3 prøver fra skaft tatt etter 2 år ( $0,65-1,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- 12 prøver tatt fra skaft etter 5 år:  $0,38 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0,10-0,94 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- 9 prøver tatt fra skaft etter 9 år:  $0,23 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0,06-0,41 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- 9 prøver tatt fra skaft etter 13 år:  $0,20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0,11-0,30 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
  
- 1 middelveier for 3 prøver fra bjelke tatt etter 2 år ( $0,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- 3 prøver tatt fra bjelke etter 5 år:  $0,14 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0,13-0,15 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- 3 prøver tatt fra bjelke etter 9 år:  $0,23 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0,16-0,33 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
- 3 prøver tatt fra bjelke etter 13 år:  $0,17 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0,15-0,19 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )

Diffusjonskoeffisientene beregnet på grunnlag av de foreliggende kloridprofiler for skaft varierer mye. Beregnede diffusjonskoeffisienter for bjelker (24,5 moh) har ingen utvikling fra 5 til 13 år.

På grunn av usikkerhetsmomenter knyttet til verdiene (usikker beregning av 2-årsverdien, kloridprofiler som gjør det vanskelig å beregne diffusjonskoeffisienten, jfr pkt 3.4, og den store spredningen i oppnådde verdier), har vi valgt å ikke ta de beregnede  $\alpha$ -verdier i betraktning.

### 3.5.9 Lettkon 3.10 (1998)

FoU-prosjektet Lett Konstruksjonsbetong (Lettkon) var et utviklingsprosjekt i samarbeid mellom Norges Forskningsråd, norsk industri og SINTEF. I delprosjekt 3.10 /9/ ble det utført prøving ved forskjellig herdetemperatur. Det er foretatt prøving av både lettbetong og normaldensitetsbetong. Det er 3 typer lettbetong, alle med v/c (v/c+2s) lik 0,40. To av lettbetongvariantene er med Anleggsement mens den tredje lettbetongen er produsert med en slaggsement (66-80 % slagg). En lettbetongvariant og normaldensitetsbetongen er produsert med 8 % silikastøv.

Det er tatt en prøve per termin for herdetemperaturene 60, 80 og 95°C, mens det er tre prøver for herdetemperatur 20°C. Resultatene for høyere herdetemperatur spriker fra  $\alpha$  lik 0 til nesten 1, og disse er ikke gjengitt her. Konklusjonen i rapporten er at det ikke ser ut til å være noen signifikant effekt av herdetemperatur.

For herdetemperatur 20°C er det tre terninger per blanding. Disse er eksponert i sjøvann fra indre Oslofjord i kar i laboratoriet ved 20°C. Ved hver alder er det boret ut støv fra alle tre terninger. Støvprøvene er analysert med spektrofotometer. Profilene inneholder få og til dels sprikende punkter som er vanskelig å tilpasse til en diffusjonskurve. Selv med manipulering av kurvene oppnås det stor spredning i de beregnede diffusjonskoeffisientene. Det er tre prøvingsterminer (28, 90 og 190 døgn) og svært dårlig korrelasjon for trendlinjene. Kontrollregning av de rapporterte kloridprofilene gir diffusjonskoeffisienter som avviker en del fra de rapporterte (se tabell 5), mens  $\alpha$ -verdiene avviker til dels mye fra de rapporterte verdiene. Det kan se ut som om avvikende diffusjonskoeffisienter er utelatt ved beregning av  $\alpha$ .

Beregnete diffusjonskoeffisienter er gjengitt i Tabell 5. Både de rapporterte og kontrollregnete verdiene er tatt med. De rapporterte verdiene er oppgitt i  $\text{mm}^2/\text{år}$ . Disse er regnet om til  $\text{m}^2/\text{s}$  med omregningsfaktoren  $3,171 \cdot 10^{-14}$ .

I forbindelse med støping av bruene Stolmabrua og Raftsundet Bru ble det støpt ut klosser som ble eksponert i luft nær tidevannssonen. For disse bruene ble det benyttet lettbetong med Anleggsement, 6-8 % silikastøv og v/c+2s = 0,36. Det ble tatt ut prøver for bestemmelse av kloridprofiler etter 40 og 400 døgn eksponering. Kloridprofilene gir  $\alpha$ -verdier tilsvarende 0,57-0,97. Da disse verdiene er basert på kun to punkter, er de ikke tatt med i vurderingen av størrelsen på aldringsparameteren.

**Tabell 5 Rapporterte og omregnede verdier fra Lettkon 3.10 (omregnede verdier i parentes)**

|                 |  | Neddykket i lab                           |   |   |   |
|-----------------|--|---|---|---|---|
| Terminer        |  | 28, 90 og 190 døgn                        |   |   |   |
| Betong          |  | Lettbetong                                |   | Normaldensitet                            | Lettbetong                                |
| Blanding        |  | LA0                                       | LA8                                       | LN  | LS  |
| v/c+2s          |  | 0,40                                      | 0,40                                      | 0,40                                      | 0,40                                      |
| Slagg           |  | -   | -   | -   | 66-80 %                                   |
| Silika          |  | -   | 8 %                                       | 8 %                                       |   |
| 28 døgn         | C <sub>0</sub> , Cl av betongvekt                    | 1,06 (1,06)                               | 0,31 (0,31)                               | 0,35 (0,37)                               | 0,21 (0,22)                               |
|                 |  | 0,83 (0,88)                               | 0,61 (0,67)                               | 0,22 (0,24)                               | 0,17 (0,17)                               |
|                 |  | 0,85 (0,88)                               | 0,54 (0,49)                               | 0,32 (0,31)                               | 0,13 (0,14)                               |
|                 | Middel   | 0,91 (0,94)                               | 0,49 (0,49)                               | 0,30 (0,31)                               | 0,17 (0,18)                               |
|                 | D <sub>s</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | 6,28 (5,82)<br>6,82 (6,28)<br>7,77 (7,74) | 4,34 (3,85)<br>5,61 (4,93)<br>7,90 (8,49) | 3,65 (2,85)<br>3,33 (2,11)<br>5,61 (6,24) | 4,72 (3,52)<br>5,61 (4,34)<br>3,46 (2,17) |
| Middel          | 6,96 (6,61)  | 5,95 (5,76)                               | 4,20 (3,73)                               | 4,60 (3,34)                               |   |
| 90 døgn         | C <sub>0</sub> , Cl av betongvekt                    | 0,98 (1,21)                               | 0,74 (0,70)                               | 0,27 (0,25)                               | 0,52 (0,69)                               |
|                 |  | 0,97 (1,27)                               | 0,89 (0,70)                               | 0,28 (0,28)                               | 0,52 (0,59)                               |
|                 |  | 0,73 (0,74)                               | 0,42 (1,13)                               | 0,34 (0,35)                               | 0,30 (0,32)                               |
|                 | Middel   | 0,89 (1,07)                               | 0,68 (0,84)                               | 0,30 (0,29)                               | 0,45 (0,53)                               |
|                 | D <sub>s</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | 5,74 (5,24)<br>5,64 (4,97)<br>7,48 (7,39) | 3,17 (3,34)<br>4,38 (3,93)<br>4,85 (4,14) | 3,04 (3,32)<br>2,51 (2,11)<br>3,65 (3,07) | 2,63 (1,92)<br>3,08 (2,40)<br>3,20 (2,32) |
| Middel          | 6,29 (5,87)  | 4,13 (3,80)                               | 3,07 (2,83)                               | 2,97 (2,21)                               |   |
| 190 døgn        | C <sub>0</sub> , Cl av betongvekt                    | 0,85 (0,76)                               | 0,71 (0,91)                               | 0,34 (0,35)                               | 0,53 (0,57)                               |
|                 |  | 0,77 (0,68)                               | 0,69 (0,58)                               | 0,23 (0,24)                               | 0,64 (0,66)                               |
|                 |  | 0,60 (0,62)                               | 0,84 (0,82)                               | 0,35 (0,34)                               | 0,55 (0,52)                               |
|                 | Middel   | 0,74 (0,69)                               | 0,75 (0,77)                               | 0,31 (0,31)                               | 0,57 (0,58)                               |
|                 | D <sub>s</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | 4,81 (7,84)<br>4,60 (7,38)<br>4,00 (3,53) | 3,58 (2,83)<br>2,66 (2,28)<br>3,68 (4,05) | 2,54 (2,24)<br>1,84 (1,40)<br>2,35 (2,57) | 2,41 (2,11)<br>2,57 (2,42)<br>2,82 (3,82) |
| Middel          | 4,47 (6,25)  | 3,31 (3,05)                               | 2,24 (2,07)                               | 2,60 (2,78)                               |   |
| α               |  | 0,22 (0,06)                               | 0,33 (0,32)                               | 0,34 (0,26)                               | 0,32 (0,11)                               |
| D <sub>a0</sub> |  | (6,45)                                    | (5,39)                                    | (3,43)                                    | (2,99)                                    |

### 3.5.10 Lettkon 3.6 (1998)

I delprosjekt 3.6 i prosjektet Lettkon ble det utført prøving av lettbetong med 5-10 % silikatilsetning samt en normaldensitetsbetong med 8 % silikastilsetning /7/. For halvparten av lettbetongblandingene var halvparten av sementen (HS65) skiftet ut med slagg. Vannbindemiddelforholdet varierte fra 0,31 til 0,40. I tillegg til variasjon i betongsammensetning varierte tid før eksponering, herdetemperatur, saltkonsentrasjon og parallell eksponering i sjøvann i laboratoriet og i sjøen. Prøvingen har gått over knapt 2 år, og tallmaterialet er svært omfattende. Det ser ut til at det ikke er mer en ett prøvestykke per variant og alder, men dette oppveies i noen grad av mange aldrer og god overensstemmelse med rettlinjert trendlinje (verdier nær 1 for R<sup>2</sup>). Prøvingstermin 7 døgn er utelatt på grunn av usikre resultater etter så kort eksponering.

Det er utført ringprøving for noen av variantene. Deltakere i ringprøvingen var Selmer, Elkem og SINTEF. Resultatene er til dels svært forskjellige for de ulike deltakerne, med avvik på beregnet  $\alpha$  på opptil 0,2 for sammenlignbare prøver.

Det er Selmer som har utført mesteparten av prøvingen. Dersom en ser på Selmers resultater alene varierer  $\alpha$  fra 0,36 til 0,92 for betonger uten slagg, mens tilsvarende tall for betong med slagg er variasjon fra 0,47 til 1,01. Disse tallene inkluderer både ulike herdetemperaturer, herdetider og ulik eksponering.

Dersom en bare ser på betong som er gitt ulik herdetid før eksponering i sjøvann i laboratoriet, men for øvrig lik behandling, varierer  $\alpha$  fra 0,47 til 0,71 for betong uten slagg, mens tilsvarende verdier for betong med slagg er 0,47 til 1,01. Middelerverdiene for hver resept og alle eksponeringstidspunkter varierer fra 0,51 – 0,63 for og 0,58-0,83 for henholdsvis betong med og uten slagg. Middelerverdien for alle resepter og alle eksponeringstidspunkter er 0,57 og 0,71 for betong med og uten slagg.

Rapporten konkluderer med at  $\alpha$  er uavhengig av herdetid og temperatur før eksponering og temperatur under eksponering. I tabell 6 (vedlegg 7 og 8) er derfor kun verdiene for betong som er herdet ved 20°C i 28 døgn tatt med. Prøving av resepter uten slaggtilsetning med neddykking i sjøen og tidevannssonen er utført av Elkem.

**Tabell 6 Resultater fra Lettkon 3.6**

| Eksponering   |        | Neddykket i sjø |  | Neddykket i sjøvann i lab ved 20°C |      |        |      | Tidevannssone |      |   |      |
|---|--------|-----------------|--|------------------------------------|------|--------|------|---------------|------|---|------|
| Betong  |        | LWAC            |  | LWAC                               | LWAC | Normal |      | LWAC          |      |   |      |
| Silika  |        | 5-10 %          |  | 5-10 %                             |      | 8 %    |      | 5-10 %        |      |   |      |
| Slagg   |        | -               |  | -                                  | 50 % | -      |      | -             |      |   |      |
| v/c+2s  |        | 0,31-0,40       |  | 0,31-0,40                          |      | 0,40   |      | 0,31-0,40     |      |   |      |
| CO <sub>2</sub> , %<br>Cl <sup>-</sup> av<br>betong-<br>vekt<br>(middel)                                    | 35 dg  | 0,26            |  | 0,41                               | 0,28 | 0,48   |      | 0,09          |      |   |      |
|   | 200 dg | 0,54            |  | 0,61                               | 0,35 | 0,46   |      | 0,80          |      |   |      |
|   | 360 dg |                 |  | 0,71                               | 0,42 |        |      |               |      |   |      |
|   | 700 dg | 1,14            |  | 0,75                               | 0,47 | 0,48   |      | 0,86          |      |   |      |
| $\alpha$ for 4 ulike<br>resepter uten/med<br>slag   | A      | 0,39            |  | A                                  | 0,56 | B      | 0,61 | N             | 0,47 | A | 0,45 |
|   | C      | 0,67            |  | C                                  | 0,56 | D      | 0,73 |               |      | C | 0,54 |
|   | E      | 0,52            |  | E                                  | 0,64 | F      | 0,83 |               |      | E | 0,61 |
|   | G      | 0,33            |  | G                                  | 0,59 | H      | 0,84 |               |      | G | 0,40 |
| D <sub>a0</sub> for 4 ulike<br>tilslagsresepter<br>uten/med slagg,<br>$\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | A      | 3,04            |  | A                                  | 5,33 | B      | 5,70 | N             | 8,18 | A | 2,17 |
|   | C      | 7,36            |  | C                                  | 8,68 | D      | 8,15 |               |      | C | 4,62 |
|   | E      | 4,93            |  | E                                  | 9,02 | F      | 7,56 |               |      | E | 4,58 |
|   | G      | 3,81            |  | G                                  | 6,59 | H      | 8,63 |               |      | G | 2,22 |

### 3.5.11 Statens vegvesen Vegdirektoratet

Statens vegvesen Vegdirektoratet sitter på betydelige mengder med data fra flere prosjekter, men disse er ikke gjennomgått og rapportert, og kan dessverre ikke inngå i vurderingen av  $\alpha$ .

### 3.5.12 Ressursvennlig kvalitetsbetong – Østmarkneset/tidevannssone (1998)

I forbindelse med prosjektet Ressursvennlig kvalitetsbetong ble det støpt ut et stort antall sylindre av betong med varierende klinkertyper og innhold av flygeaske. Det var også noe forskjellig finmalingsgrad for de anvendte flygeaskene. Alle blandinger unntatt to hadde vann/bindemiddelforhold 0,45. To blandinger hadde masseforhold 0,40 hvorav den ene var tilsatt silikastøv.

Sylindrene ble forseglet med epoksy på endeflatene og delt i to, slik at det er foretatt eksporing av både sagflater og flater med støpehud.

Det er foretatt prøving ved 6 terminer over 9 år. Det er ikke gjenværende materiale for senere prøvingsterminer.

All prøving er utført etter samme prosedyrer (fresing av tynne sjikt og analyse med spektrofotometer). Antall paralleller er to eller tre, og det er mange prøvingsterminer. Dette er det mest omfattende datamaterialet for beregning av  $\alpha$  for betong med og uten tilsetning av flygeaske.

Midlere diffusjonskoeffisienter for alle terminer og beregning av  $\alpha$  går fram av Vedlegg 9 og 10. Beregnet overflatekonsentrasjon for alle terminer er gjengitt i Tabell 7 og 8. Oversikt over beregnede verdier for  $\alpha$  og  $D_{a0}$  er gjengitt i Tabell 9 og 10.

**Tabell 7 Overflatekonsentrasjon Østmarkneset (1998) – støpehud**

|  |        | Tidevannssonen |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding                                       |        | 1              | 3    | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s   |        | 0,45           |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 | 0,45 |
| Silika, %                                      |        | -              | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %                                   |        | -              | -    | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup> av bet.vekt | 35 dg  | 0,44           | 0,40 | 0,40 | 0,41 | 0,37 | 0,32 | 0,51 | 0,35 | 0,47 | 0,49 | 0,13 | 0,32 |
|  | 200 dg | 0,34           | 0,40 | 0,38 | 0,47 | 0,48 | 0,42 | 0,46 | 0,50 | 0,67 | 0,53 | 0,24 | 0,45 |
|  | 1 år   | 0,38           | 0,41 | 0,41 | 0,48 | 0,47 | 0,53 | 0,56 | 0,54 | 0,61 | 0,60 | 0,19 | 0,48 |
|  | 2 år   | 0,46           | 0,49 | 0,50 | 0,44 | 0,61 | 0,76 | 0,70 | 0,59 | 0,71 | 0,66 | 0,41 | 0,57 |
|  | 5 år   | 0,54           | 0,58 | 0,52 | 0,52 | 0,69 | 0,76 | 0,86 | 0,78 | 0,68 | 0,85 | 0,56 | 0,77 |
|  | 9 år   | 0,60           | 0,59 | -    | -    | 0,71 | 0,92 | -    | -    | -    | 1,00 | 0,59 | 0,61 |

**Tabell 8 Overflatekonsentrasjon Østmarkneset (1998) – sagflater**

|  |        | Tidevannssonen |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding                                       |        | 1              | 3    | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s   |        | 0,45           |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 | 0,45 |
| Silika, %                                      |        | -              | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %                                   |        | -              | -    | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| C <sub>0</sub> , % Cl <sup>-</sup> av bet.vekt | 35 dg  | 0,44           | 0,56 | 0,47 | 0,46 | 0,52 | 0,56 | 0,57 | 0,45 | 0,53 | 0,53 | 0,52 | 0,42 |
|  | 200 dg | 0,53           | 0,58 | 0,45 | 0,49 | 0,60 | 0,61 | 0,56 | 0,62 | 0,73 | 0,65 | 0,68 | 0,62 |
|  | 1 år   | 0,52           | 0,61 | 0,49 | 0,60 | 0,56 | 0,68 | 0,64 | 0,71 | 0,78 | 0,64 | 0,70 | 0,63 |
|  | 2 år   | 0,64           | 0,65 | 0,58 | 0,57 | 0,79 | 0,97 | 0,85 | 0,76 | 0,77 | 0,83 | 0,91 | 0,87 |
|  | 5 år   | 0,68           | 0,64 | 0,61 | 0,61 | 0,79 | 0,93 | 0,92 | 0,85 | 0,85 | 0,93 | 1,05 | 0,93 |
|  | 9 år   | 0,60           | 0,64 | -    | -    | 0,73 | 1,03 | 0,81 | -    | 0,88 | 1,07 | 1,14 | -    |

**Tabell 9 Resultater fra Østmarkneset (1998) – støpehud**

|  | Tidevannssonen |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |
|--|----------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Blanding                                     | 1              | 3    | 9    | 10   | 4     | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6     |
| v/c+2s                                       | 0,45           |      |      |      |       |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45  |
| Silika, %                                    | -              | -    | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -     |
| Flygeaske, %                                 | -              | -    | -    | -    | 10    | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35    |
| $\alpha$                                     | 0,17           | 0,23 | 0,18 | 0,17 | 0,43  | 0,37 | 0,43 | 0,44 | 0,39 | 0,42 | 0,51 | 0,56  |
| $D_{a0} \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | 6,49           | 8,72 | 7,85 | 7,09 | 13,77 | 9,16 | 9,22 | 8,76 | 5,29 | 7,37 | 3,29 | 11,35 |

**Tabell 10 Resultater fra Østmarkneset (1998) – sagflater**

|  | Tidevannssonen |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding                                     | 1              | 3     | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s                                       | 0,45           |       |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45 |
| Silika, %                                    | -              | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %                                 | -              | -     | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| $\alpha$                                     | 0,15           | 0,22  | 0,19 | 0,16 | 0,39 | 0,36 | 0,47 | 0,34 | 0,36 | 0,43 | 0,40 | 0,47 |
| $D_{a0} \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | 7,97           | 10,75 | 9,31 | 8,55 | 9,68 | 9,56 | 9,82 | 6,83 | 4,97 | 9,68 | 4,93 | 8,05 |

For disse betongreseptene ble det også foretatt prøving etter NT Build 443 etter 6 måneders forutgående vannlagring (se Tabell 11).

**Tabell 11 Resultater fra NT Build 443**

|  | NT Build 443 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding                                     | 1            | 3    | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s                                       | 0,45         |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45 |
| Silika, %                                    | -            | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %                                 | -            | -    | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| $C_0$ , % Cl <sup>-</sup> av betongvekt      | 0,84         | 0,84 | 0,77 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 0,93 | 0,89 | 0,83 | 0,84 | 0,76 | 0,86 |
| $D_{a0} \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | 9,91         | 10,8 | 10,4 | 11,4 | 4,98 | 3,12 | 2,75 | 2,10 | 1,63 | 2,35 | 2,03 | 1,80 |

### 3.5.13 Ressursvennlig kvalitetsbetong - Brevik/neddykket (1999)

Dette er de samme 12 reseptene som er omtalt i pkt 3.5.12, og som var eksponert på Østmarkneset, men disse prøvene er lagret neddykket i sjøen ved Brevik. Det er 6 terminer opp til 10 år. Resultatene spriker vesentlig mer enn for tilsvarende prøver i tidevannssonen på Østmarkneset. Dette kommer sannsynligvis av at det i stor grad er benyttet kun en enkelt prøve (maks 2) ved hver termin. Det er i likhet med prøvene fra Østmarkneset en tendens til at betong uten flygeaske har større spredning enn prøver med flygeaske. Resultatene fra eksempelvis blanding 10 kan derfor ikke vektlegges. Det er imidlertid en tydelig tendens til at prøver uten pozzolaner har liten utvikling av diffusjonskoeffisienten etter et par år. Betong med pozzolaner ser ut til å ha liten utvikling i perioden fra 5 til 10 år. Resultatene må som nevnt ovenfor tolkes med forsiktighet da hvert enkelt punkt stort sett representerer en enkeltprøve.

Alle diffusjonskoeffisienter går fram av Vedlegg 11 og 12.

Beregnet overflatekonsentrasjon for alle terminer er gjengitt i Tabell 12 og 13. Oversikt over beregnede verdier for  $\alpha$  og  $D_{a0}$  er gjengitt i Tabell 14 og 15.

**Tabell 12 Overflatekonsentrasjon Brevik (1998) – sagflater**

|                              |        | Neddykket |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|--------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding                     |        | 1         | 3    | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s                       |        | 0,45      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45 |
| Silika, %                    |        | -         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %                 |        | -         | -    | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| C <sub>0</sub> , %           | 35 dg  | 0,09      | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,15 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,19 |
|                              | 200 dg | 0,14      | 0,23 | 0,16 | 0,19 | 0,24 | 0,17 | 0,27 | 0,21 | 0,30 | 0,26 |      | 0,22 |
| Cl <sup>-</sup> av bet. vekt | 1 år   | 0,28      | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,26 | 0,23 | 0,35 | 0,29 | 0,31 | 0,35 | 0,32 | 0,38 |
|                              | 2 år   | 0,40      | 0,30 | 0,33 | 0,38 | 0,59 | 0,68 | 0,66 | 0,48 | 0,48 | 0,55 | 0,55 | 0,50 |
|                              | 5 år   | -         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
|                              | 10 år  | 0,44      | 0,44 | 0,47 | 0,44 | 0,66 | 0,86 | 0,66 | 0,72 | 0,86 | 0,71 | 0,75 | 0,42 |

**Tabell 13 Overflatekonsentrasjon Brevik (1998) – støpehud**

|                              |        | Neddykket |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|--------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding                     |        | 1         | 3    | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s                       |        | 0,45      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45 |
| Silika, %                    |        | -         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %                 |        | -         | -    | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| C <sub>0</sub> , %           | 35 dg  | 0,05      | 0,24 | 0,11 | 0,07 | 0,23 | 0,28 | 0,37 | 0,32 | 0,22 | 0,17 | 0,29 | 0,33 |
|                              | 200 dg | 0,30      | 0,31 | 0,60 | 0,48 | 0,40 | 0,62 | 0,38 | 0,47 | 0,56 | 0,53 | -    | 0,39 |
| Cl <sup>-</sup> av bet. vekt | 1 år   | -         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
|                              | 2 år   | -         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
|                              | 5 år   | 0,52      | 0,47 | 0,47 | 0,45 | 0,76 | 0,82 | 0,88 | 0,74 | 0,74 | 0,90 | 0,96 | 0,52 |
|                              | 10 år  | 0,66      | 0,58 | 0,56 | 0,54 | 0,72 | 0,99 | 0,88 | 0,75 | 0,83 | 0,94 | 1,02 | 0,56 |

**Tabell 14 Resultater fra Brevik (1998) – sagflater**

|   |  | Neddykket |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|--|-----------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding  |  | 1         | 3    | 9    | 10    | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s  |  | 0,45      |      |      |       |      |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45 |
| Silika, %   |  | -         | -    | -    | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %  |  | -         | -    | -    | -     | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| α   |  | 0,16      | 0,04 | 0,15 | -0,05 | 0,32 | 0,42 | 0,39 | 0,22 | 0,55 | 0,54 | 0,37 | 0,31 |
| D <sub>a0</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |  | 3,75      | 2,38 | 3,67 | 2,03  | 3,25 | 3,76 | 3,43 | 1,96 | 4,43 | 5,00 | 1,77 | 2,39 |

**Tabell 15 Resultater fra Brevik (1998) – støpehud**

|   |  | Neddykket |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|--|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Blanding  |  | 1         | 3    | 9    | 10   | 4    | 2    | 5    | 7    | 8    | 11   | 12   | 6    |
| v/c+2s  |  | 0,45      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,40 |      | 0,45 |
| Silika, %   |  | -         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4    | -    |
| Flygeaske, %  |  | -         | -    | -    | -    | 10   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   |
| α   |  | 0,17      | 0,23 | 0,05 | 0,06 | 0,34 | 0,49 | 0,42 | 0,37 | 0,45 | 0,41 | 0,35 | 0,50 |
| D <sub>a0</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |  | 6,49      | 6,66 | 3,20 | 4,36 | 5,46 | 7,91 | 4,79 | 5,18 | 5,50 | 4,78 | 2,33 | 6,17 |



### 3.5.14 Ressursvennlig kvalitetsbetong - Indre Oslofjord (1999)

I forbindelse med prosjektet Ressursvennlig kvalitetsbetong ble det støpt ut betong av tre ulike resepter. Betongen ble støpt med Standardsement FA og hhv 0, 5 og 10 % silikatilsetning. Dette ga v/c+2s tilsvarende hhv 0,45, 0,40 og 0,38. Det ble støpt ut 3 stk 140 mm terninger (to ble herdet ved 20°C mens en ble herdet semiadiabatisk) for eksponering i sjøvann i laboratoriet og to litt større sjøklosser for eksponering neddykket i sjøen i Oslo havnebasseng.

Prøvingen har gått over kun to år, men det er mange terminer (6 stk fra 7 til 750 døgn). Verdiene fra 7 døgn eksponering er ikke tatt med da disse er svært usikre på grunn av liten kloridinntrenging. Det er utført prøving både ved eksponering i laboratoriet og i sjøen. Tabell 16 viser resultatene fra prøvingen av betong som er herdet ved 20°C. Resultatene fra prøving av betong som er gitt semiadiabatisk herding viser noenlunde samme  $\alpha$ -verdier for betong med silikastøv (0,4-0,5). For betong uten silika er det oppnådd høyere  $\alpha$ -verdier for betong som er herdet semiadiabatisk (0,43-0,45) enn det som ble oppnådd ved prøving av betong som var herdet ved 20°C (0,12-0,31). For betong herdet ved 20°C er det således relativt stor forskjell på betong med og uten silika, mens en for betong som er herdet adiabatisk ikke kan se samme forskjell. Utviklingen av diffusjonskoeffisienten så ut til avta allerede ved prøvingen ved 2 års alder.

Diffusjonskoeffisientene er omregnet fra rapporterte verdier i mm<sup>2</sup>/år til 10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s.

Diffusjonskoeffisienter og  $\alpha$ -beregninger går fram av Vedlegg 13-18.

**Tabell 16 Resultater fra Ressursvennlig kvalitetsbetong (Indre Oslofjord)**

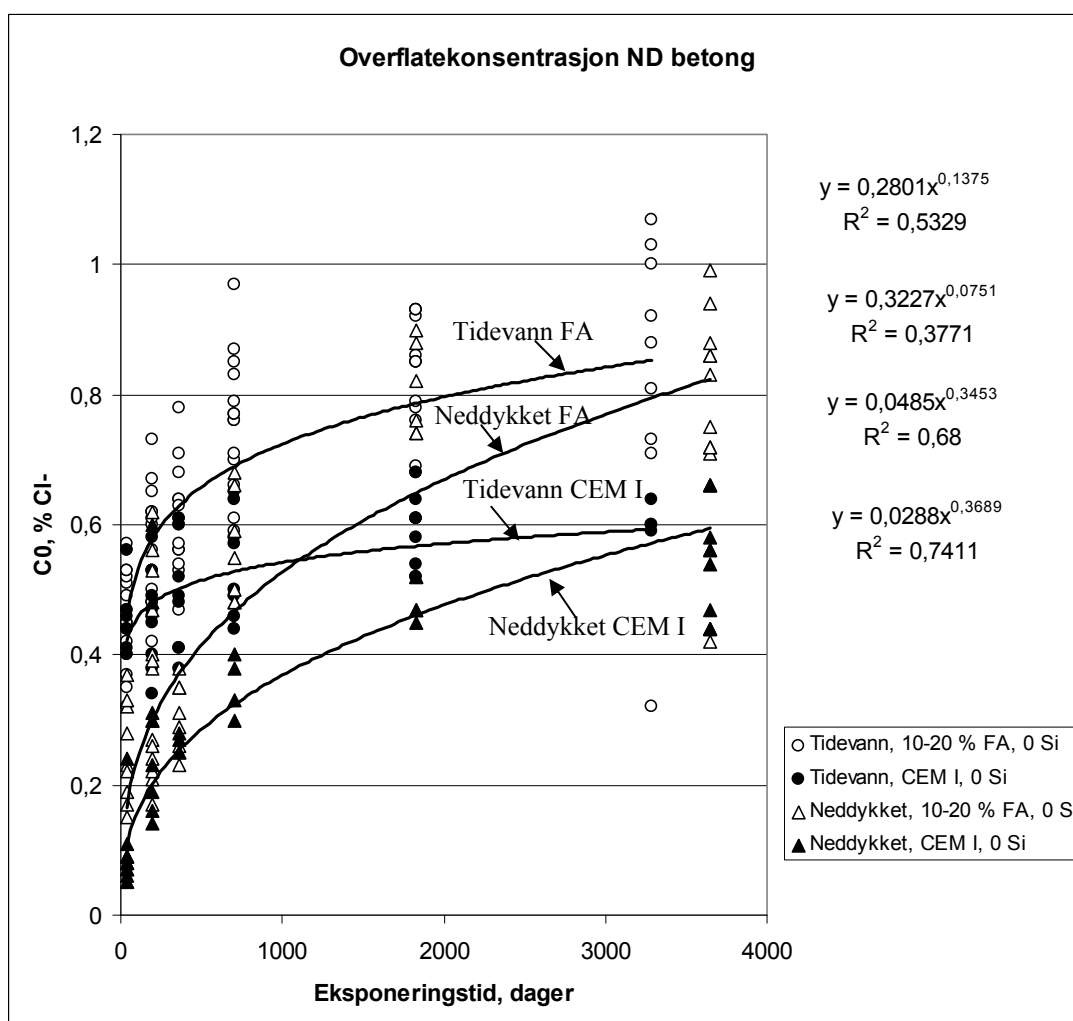
| Eksponering  |                               | Neddykket i sjø (sjøkloss)                            |       |       | Neddykket i sjøvann i lab (terning) |       |       |      |
|--|-------------------------------|---|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|------|
| Blanding   |                               | RVB 1   | RVB 2 | RVB 3 | RVB 1                               | RVB 2 | RVB 3 |      |
| Silika   |                               | 0 %   | 5 %   | 10 %  | 0 %                                 | 5 %   | 10 %  |      |
| Flygeaske  |                               | 20 %  |       |       | 20 %                                |       |       |      |
| v/c+2s   |                               | 0,45  | 0,40  | 0,38  | 0,45                                | 0,40  | 0,38  |      |
| C <sub>0</sub> ,<br>% Cl <sup>-</sup><br>av<br>betong-<br>vekt | Herdet<br>v/20°C              | 28 døgn   | 0,21  | 0,13  | 0,07                                | 0,32  | 0,18  | 0,10 |
|  |                               | 145 døgn  | 0,44  | 0,24  | 0,50                                | 0,58  | 0,54  | 0,23 |
|  |                               | 230 døgn  | 0,60  | 0,29  | 0,29                                | 0,67  | 0,59  | 0,37 |
|  |                               | 400 døgn  | 0,73  | 0,50  | 0,59                                | 0,74  | 0,48  | 0,41 |
|  |                               | 750 døgn  | 0,91  | 0,83  | 0,87                                | 0,70  | 0,38  | 0,27 |
|  | Semi-<br>adiabatisk<br>herdet | 28 døgn   | 0,39  | 0,22  | 0,20                                | 0,18  | 0,08  | 0,11 |
|  |                               | 145 døgn  | 0,18  | 0,24  | 0,34                                | 0,77  | 0,59  | 0,30 |
|  |                               | 230 døgn  | 0,70  | 0,34  | 0,41                                | 0,81  | 0,65  | 0,38 |
|  |                               | 400 døgn  | 0,80  | 0,44  | 0,50                                | 0,58  | 0,41  | 0,28 |
|  |                               | 750 døgn  | 0,82  | 0,68  | 0,55                                | 0,44  | 0,35  | 0,27 |
| Herdet v/20°C  |                               | $\alpha$  | 0,30  | 0,44  | 0,59                                | 0,33  | 0,44  | 0,48 |
|  |                               | D <sub>a0</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | 7,63  | 5,70  | 9,09                                | 5,22  | 4,93  | 4,21 |
| Adiabatisk herdet  |                               | $\alpha$  | 0,46  | 0,39  | 0,45                                | 0,45  | 0,54  | 0,45 |
|  |                               | D <sub>a0</sub> · 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | 10,20 | 4,77  | 5,72                                | 7,40  | 7,92  | 4,35 |

## 4 Sammenstilling og vurdering

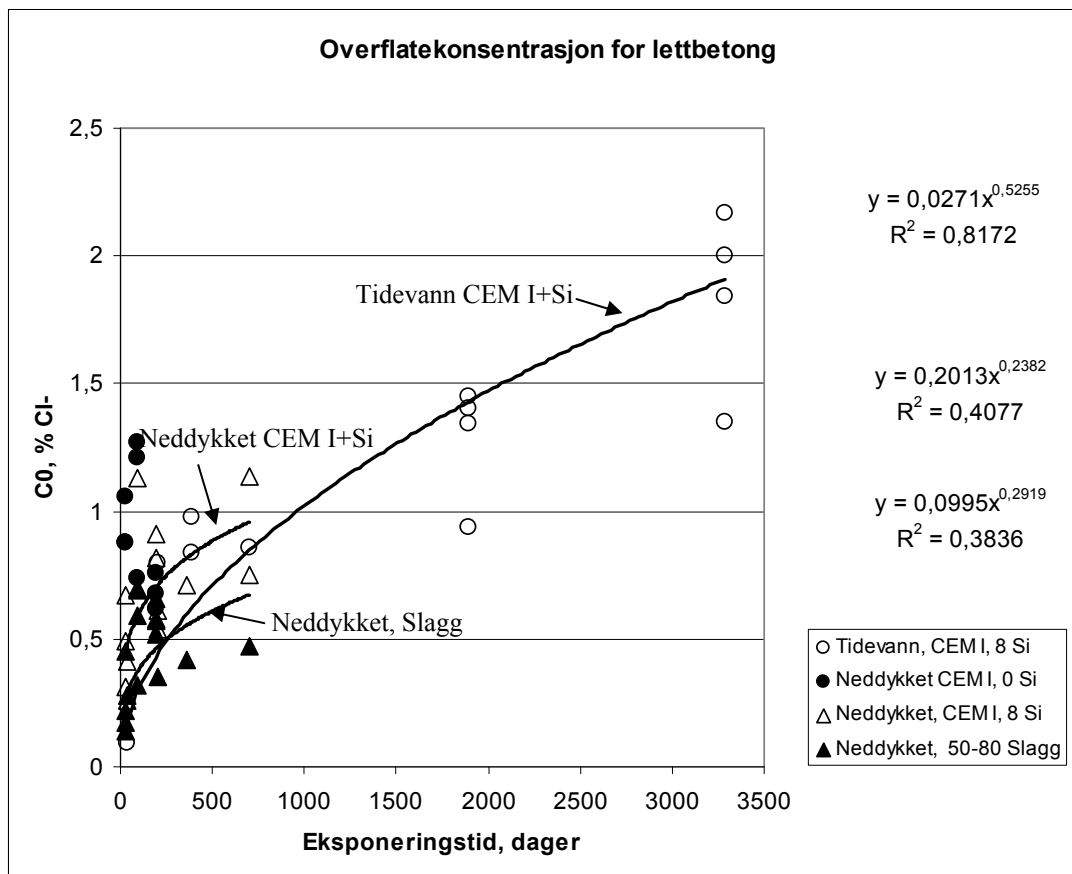
### 4.1 Beregnet overflatekonsentrasjon

Beregnete verdier for overflatekonsentrasjonen ved eksponering i sjøvann,  $C_0$ , er plottet i Figur 6 og 7 for henholdsvis normaldensitetsbetong (ND) og lettbetong (LWA). Det er store variasjoner i datamaterialet, og det er kun foretatt plotting av varianter med mange verdier for å se trenden.

For ND-betong er det mange verdier for neddykket og tidevannseksponert betong med ren portlandsement og betong med 10-20 % flygeaske, alle uten silikatilsetning. Det er tydelig forskjell på trendlinjene for tidevannseksponert betong og betong eksponert neddykket. Betong med flygeaske har vesentlig høyere overflatekonsentrasjon enn betong med ren portlandsement.



Figur 6 Overflatekonsentrasjon for ND-betong



Figur 7 Overflatekonsentrasjon for lettbetong

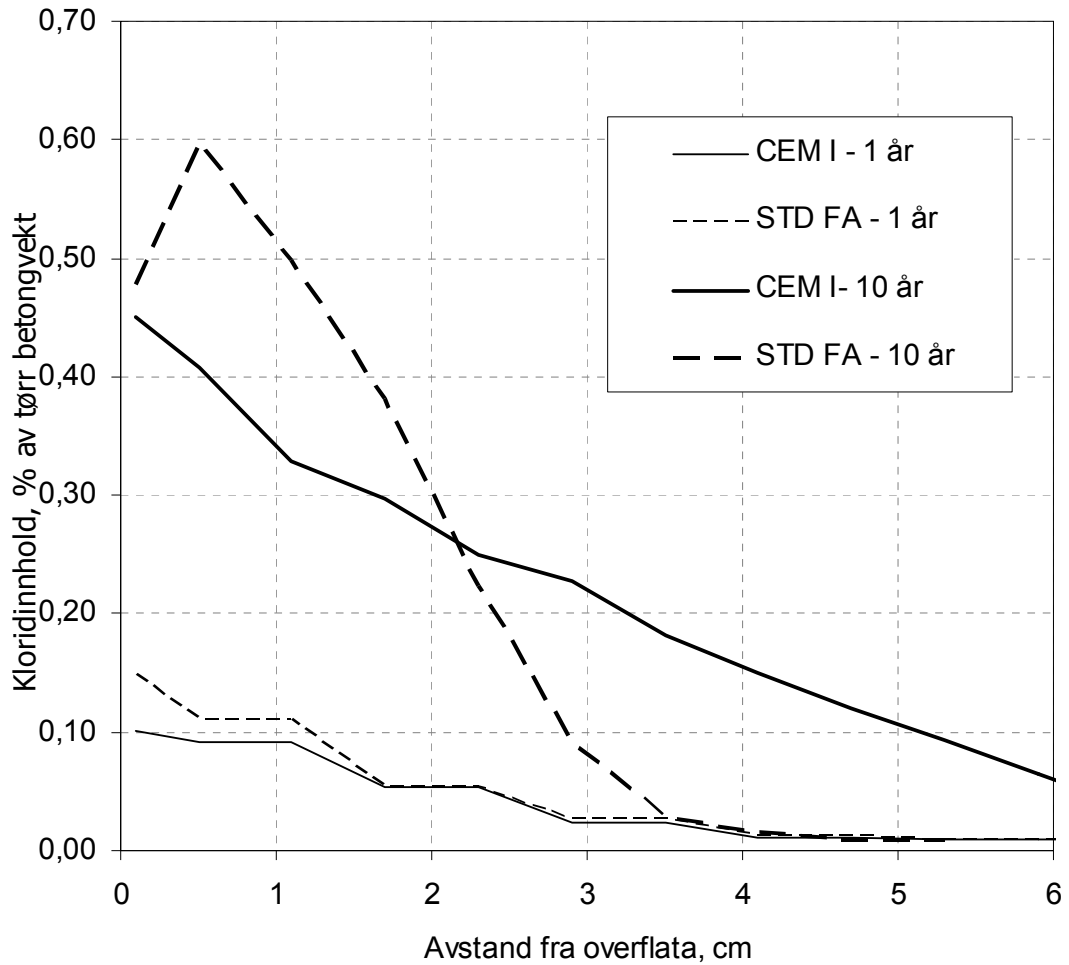
For lettbetong er det langt færre verdier og kortere eksponeringstider. Mange verdier er tvilsomme fordi profilet har en karakter som omtalt i pkt 3.4. Disse profilene gir kunstig høy overflatekonsentrasjon og er derfor utelatt.

Trendlinja for betong i tidevannssonen med silikastøv viser en stigende kurve selv etter 9 år. Det er også lagt inn trendlinjer for neddykket betong med 8 % silikastøv og 50-80 % slagg, selv om det er få punkter og kort eksponeringstid.

De punktene vi har for neddykket betong uten silikastøv varierer så mye at trendlinja ikke gir noen mening.

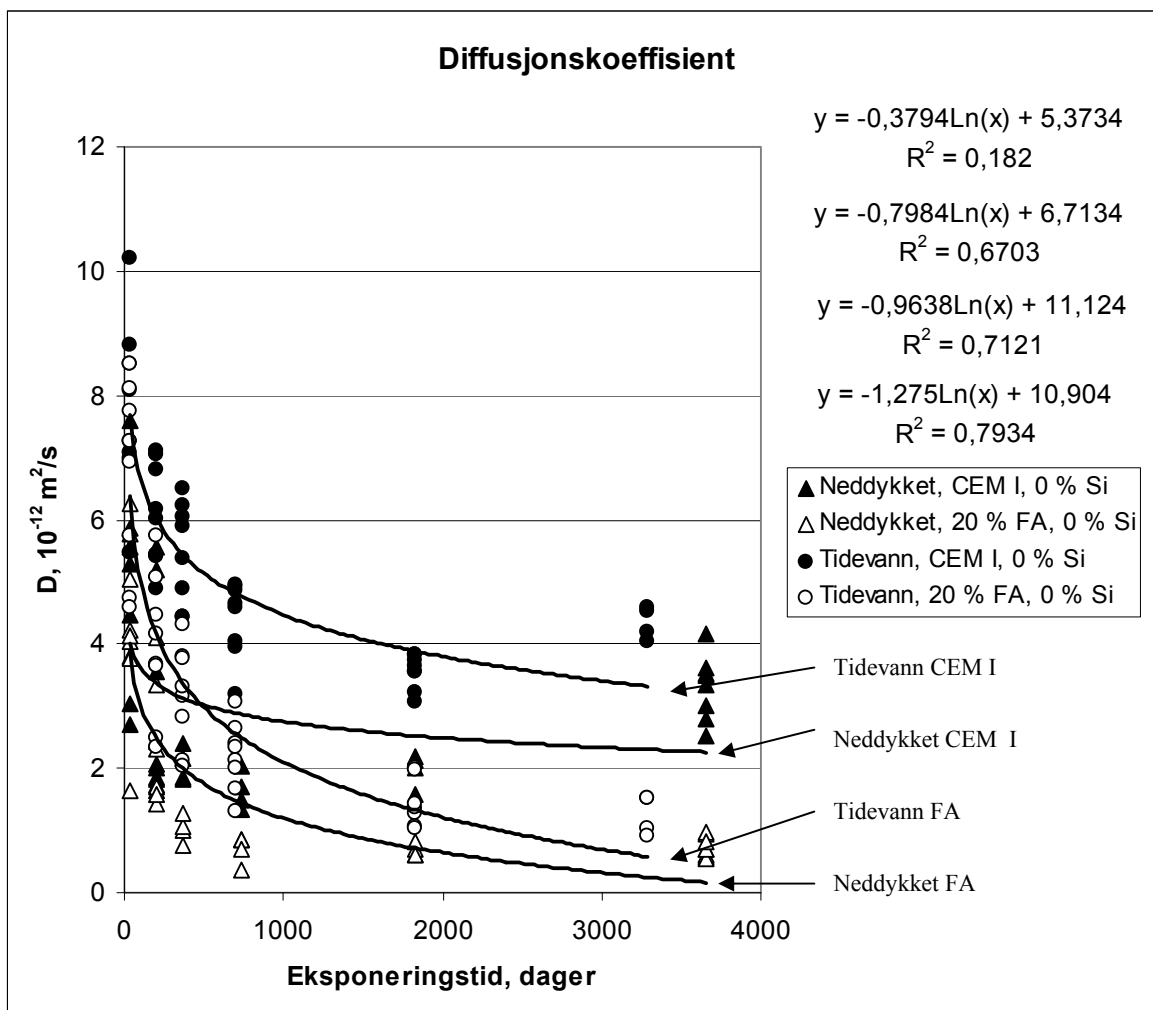
#### 4.2 Beregnet diffusjonskoeffisient

Betong med og uten tilsetning av pozzolaner gir forskjellig fasong på kloridprofilen og forskjellig diffusjonskoeffisient. Dette er særlig godt dokumentert i prosjektet Ressursvennlig kvalitetsbetong /8/. Figur 9 viser typiske kloridprofiler for betong med ren portlandsement sammenlignet med betong med 20 % flygeasketilsetning etter hhv 1 og 10 års eksponering.



**Figur 9** Kloridprofiler for betong med ulike sementtyper etter 1 og 10 års eksponering (neddykket)

Beregnete diffusjonskoeffisienter for normaldensitetsbetong eksponert neddykket og i tidevannssonen i 9 – 10 år er plottet i Figur 8. Dataene er hentet fra Ressursvennlig kvalitetsbetong /8/ og representerer 4 blandinger med ren portlandsement og 4 blandinger som er tilsatt 20 % flygeaske. Alle varianter har samme vann/bindemiddelforhold (0,45). Alle verdier, både fra eksponering av støpehudflater og sagflater, er tatt med i figuren.



**Figur 8** Oppnådde diffusjonskoeffisienter ved 9-10 års eksponering neddykket og i tidevannssonen /8/ for betong med og uten flygeaske

Selv om reduksjonen av diffusjonskoeffisienten på grunn av aldring avtar eller opphører over tid, vil betong med flygeasketilsetning ha lavere kloridinntrenging på lang sikt på grunn av vesentlig lavere effektiv diffusjonskoeffisient.

#### 4.3 Beregnet initiell diffusjonskoeffisient $D_{a0}$

Ved beregning av  $\alpha$  og  $D_{a0}$  tas det kun hensyn til tida fra eksponering starter. Tida fram til eksponering varierer, uten at dette tas hensyn til. Verdiene for  $D_{a0}$  varierer kraftig. En oversikt over beregnede verdier for  $D_{a0}$ , det vil si teoretisk oppnådd verdi for  $D$  etter 28 døgn eksponering er vist i Tabell 17, mens beregnede middelverdier er vist i Tabell 18.

**Tabell 17 Oversikt over alle Dao-verdier,  $\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$**

| Eksposering    |                            | Atmosfærisk | Tidevannssone  | Neddykket i sjø   | Neddykket i sjøvann i lab |
|----------------|----------------------------|-------------|--|---|---------------------------|
| Lettbetong     | CEM I                      |             |  |   | 6,45                      |
|                | CEM I + 5-10 % silika      | 3,76        | 12,15-2,17-4,62-4,58-2,22                                    | 9,07-3,04-7,36-4,93-3,81  | 5,39-5,33-8,68-9,02-6,59  |
|                | 5-10 % silika + 50 % slagg |             |  |   | 5,70-8,15-7,56-8,63       |
|                | 66-80 % slagg              |             |  |   | 2,99                      |
| Normaldensitet | 0 % silika + 10-20 % FA    |             | 13,77-9,16-9,22-8,76-5,29-7,37-9,68-9,56-9,82-6,83-4,97-9,68 | 10,20-3,25-3,76-3,43-1,96-4,43-5,00-5,46-7,91-4,79-5,18-5,50-4,78 | 7,40                      |
|                | 4-5 % silika + 20 % FA     |             | 3,29-4,93  | 4,77-1,77-2,33  | 7,92                      |
|                | 8-10 % silika + 20 % FA    |             |  | 5,72  | 4,35                      |
|                | CEM I                      |             | 4,60-6,49-8,72-7,85-7,09-7,97-10,75-9,31-8,55                | 3,75-2,38-3,67-2,03-6,49-6,66-3,20-4,36                           |                           |
|                | CEM I + 8-10 % silika      |             | 2,94-8,32  |   | 3,43-8,18                 |
|                | CEM I + 20 % silika        |             | 4,52-9,82  |   |                           |
|                | CEM I + 35 % FA            |             | 11,35-8,05   | 2,39-6,17   |                           |

**Tabell 18 Oversikt over middelveidier,  $D_{a0}, \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$**

| Eksposering    |                            | Atmosfærisk | Tidevannssone | Neddykket i sjø | Neddykket i sjøvann i lab |
|----------------|----------------------------|-------------|---------------|-----------------|---------------------------|
| Lettbetong     | CEM I                      |             |               |                 | 6,5                       |
|                | CEM I + 5-10 % silika      | 3,8         | 5,2           | 5,6             | 7,0                       |
|                | 5-10 % silika + 50 % slagg |             |               |                 | 7,5                       |
|                | 66-80 % slagg              |             |               |                 | 3,0                       |
| Normaldensitet | 0 % silika + 10-20 % FA    |             | 8,7           | 5,1             | 7,4                       |
|                | 4-5 % silika + 20 % FA     |             | 4,1           | 3,0             | 7,9                       |
|                | 8-10 % silika + 20 % FA    |             |               | 5,7             | 4,4                       |
|                | CEM I + 0 % silika         |             | 7,9           | 4,1             |                           |
|                | CEM I + 8-10 % silika      |             | 5,6           |                 | 5,8                       |
|                | CEM I + 20 % silika        |             | 7,2           |                 |                           |
|                | CEM I + 35 % FA            |             | 9,7           | 4,3             |                           |

#### 4.4 Aldringsparameteren $\alpha$

De to prosjektene med felteksponering av lettbetong i sjøen (neddykket og tidevannssone) gir kloridprofiler som er vanskelig å benytte til beregninger av diffusjonskoeffisienter. Diffusjonskoeffisienten blir usikker og beregnet overflatekonsentrasjon blir svært høy. For prøvene fra Heidrun er dette svært tydelig allerede etter 5 år. For LWAC for Floaters er det tydelig for neddykket betong etter 5 år, mens betongen fra tidevannssonen viser tendens til det samme etter 9 år.

Det er uvisst hvordan dette er for lettbetongen fra Lettkon 3.6 da kloridprofilene ikke er rapportert. Beregnet overflatekonsentrasjon er rundt 1 etter 2 år. Dette er på samme nivå som for Heidrun og LWAC for Floaters. For Lettkon 3.10 er eksponeringstida kun 190 dager, og kloridprofilene ser ikke ut til å ha samme ”duppen” mot overflata. Det er derfor mye som tyder på at denne ”duppen” oppstår ved langtidseksponering, og at det derfor ikke vises i Lettkon 3.6 og 3.10.

Tilsvarende effekt er heller ikke uvanlig for normaldensitetsbetong som er eksponert i sjøen i mange år. For eksempelvis betong med 35 % flygeaske fra Ressursvennlig kvalitetsbetong er dette svært tydelig etter 5 års eksponering på Østmarkneset.

Duppen i overflatesjiktet er uheldig for beregningen av  $\alpha$  fordi beregningen av diffusjonskoeffisienten etter lang tid blir usikker. Diffusjonskoeffisienten etter lang tid ligger gjerne i området  $0,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . En dobling eller halvering av denne verdien på grunn av tolkning av profilet vil selvsagt gi kraftig utslag på  $\alpha$  dersom det er i tillegg er få terminer.

Alle troverdige  $\alpha$ -verdier er samlet i Tabell 19. Beregnede middelveidier er gjengitt i Tabell 20. Det er sortert på lettbetong og normaldensitetsbetong. Innen hver betongtype er det sortert etter eksponeringsbetingelser (neddykket, tidevannssone og atmosfærisk) og type bindemiddel (ren portlandsement, silika, slagg og flygeaske). Det er ikke gjort forsøk på å i tillegg sortere etter v/b, da det meste er betonger med v/b rundt 0,4, og det ser ikke ut til at en kan skille 0,35 fra 0,45. Det er bare et fåtall av variantene som har mange  $\alpha$ -verdier. Dette medfører selvsagt at middelveidene blir usikre, men det er en del tydelige forskjeller, særlig mellom betong med ren portlandsement versus betong med tilsetning av silika og/eller flygeaske. Denne effekten er særlig tydelig og godt dokumentert for betong med og uten flygeasketilsetning.

**Tabell 19 Oversikt over alle  $\alpha$ -verdier**

| Eksponering    |                            | Atmosfærisk | Tidevannssone  | Neddykket i sjø   | Neddykket i sjøvann i lab |
|----------------|----------------------------|-------------|--|---|---------------------------|
| Lettbetong     | CEM I                      |             |  |   | 0,06                      |
|                | CEM I + 5-10 % silika      | <b>0,66</b> | <b>0,80-0,45-0,54-0,61-0,40</b>                                    | <b>0,56-0,39-0,67-0,52-0,33</b>   | 0,32-0,56-0,56-0,64-0,59  |
|                | 5-10 % silika + 50 % slagg |             |  |   | 0,61-0,73-0,83-0,84       |
|                | 66-80 % slagg              |             |  |   | 0,11                      |
| Normaldensitet | 0 % silika + 10-20 % FA    |             | <b>0,43-0,37-0,43-0,44-0,39-0,42-0,39-0,36-0,47-0,34-0,36-0,43</b> | <b>0,32-0,42-0,39-0,22-0,55-0,54-0,34-0,49-0,42-0,37-0,45-0,41-0,46</b> | 0,45                      |
|                | 4-5 % silika + 20 % FA     |             | <b>0,51-0,40</b>   | 0,39-0,37-0,35  | 0,54                      |
|                | 8-10 % silika + 20 % FA    |             |  | 0,45  | 0,45                      |
|                | CEM I + 0 % silika         |             | <b>0,23-0,17-0,18-0,23-0,17-0,15-0,22-0,19-0,16</b>                | <b>0,16-0,04-0,15-0,05-0,17-0,23-0,05-0,06</b>                          |                           |
|                | CEM I + 8-10 % silika      |             | <b>0,38-0,38</b>   |   | 0,26-0,47                 |
|                | CEM I + 20 % silika        |             | <b>0,39-0,47</b>   |   |                           |
|                | CEM I + 35 % FA            |             | <b>0,56-0,47</b>   | <b>0,31-0,50</b>  |                           |

**Merknad:** Uthevede verdier representerer resultat fra mer enn 9 års eksponering. Øvrige verdier representerer maks 2 års eksponering.

**Tabell 20 Oversikt over middelverdier for  $\alpha$**

| Eksponering     |                            | Atmosfærisk | Tidevannssone | Neddykket i sjø | Neddykket i sjøvann i lab |
|-----------------|----------------------------|-------------|---------------|-----------------|---------------------------|
| Lettbetong      | CEM I                      |             |               |                 | 0,06                      |
|                 | CEM I + 5-10 % silika      | 0,66        | 0,56          | 0,49            | 0,53                      |
|                 | 5-10 % silika + 50 % slagg |             |               |                 | 0,75                      |
|                 | 66-80 % slagg              |             |               |                 | 0,11                      |
| Normaldensitet  | 10-20 % FA                 |             | 0,40          | 0,41            | 0,45                      |
|                 | 4-5 % silika + 20 % FA     |             | 0,46          | 0,37            | 0,54                      |
|                 | 8-10 % silika + 20 % FA    |             |               | 0,45            | 0,45                      |
|                 | CEM I                      |             | 0,19          | 0,10            |                           |
|                 | CEM I + 8-10 % silika      |             | 0,38          |                 | 0,37                      |
|                 | CEM I + 20 % silika        |             | 0,43          |                 |                           |
| CEM I + 35 % FA |                            | 0,52        | 0,41          |                 |                           |



## 5 Oppsummering – aldringsparameter $\alpha$

---

### 5.1 Vann/bindemiddelforhold

Det har vært hevdet at aldringsparameteren er avhengig av vann/bindemiddelforholdet. I den foreliggende undersøkelsen er det hovedsakelig vurdert betong med v/b i området 0,3-0,45. Det er ikke noe som tyder på at det er mulig å skille entydig betong med forskjellig v/b innenfor dette området. Det er stort sett bare betongen fra Østmarkneset (1983) som har betong med høyere v/b (ca 0,6). Resultatene fra disse betongene skiller seg ikke ut fra de øvrige resultatene. Det ser således ikke ut til å være noen entydig sammenheng mellom v/b og aldringsparameteren.

### 5.2 Type betong og bindemiddel

Aldringsparameteren  $\alpha$  er lavere for betong med ren portlandsement enn for betong tilsatt pozzolaner. Effekten er relativt godt dokumentert for silikastøv og spesielt godt dokumentert for flygeaske. For slagg foreligger det lite dokumentasjon i det foreliggende datagrunnlaget.

Det virker som om lettbetong jevnt over gir høyere aldringsparameterverdier enn normaldensitetsbetong. Noen enkeltverdier skiller seg markert ut. Eksempelvis virker verdiene for neddykket lettbetong i laboratoriet med ren portlandsement og slaggsement svært lave (hhv 0,06 og 0,11).

### 5.3 Tidsavhengig aldringsparameter

Mange av de rapporterte prosjektene strekker seg over relativt kort tid (inntil 2 år). Noen prosjekter har eksponeringstid inntil 10 år, og bare fire prosjekter har eksponeringstid over 10 år. Dersom en ser på oppnådde diffusjonskoeffisienter etter 10 år og mer, ser det ut til at aldringseffekten avtar eller opphører. Det er ikke tilstrekkelig datamateriale til å foreta en tidsavhengig beregning av diffusjonskoeffisienten, men det en kan se er følgende:

- for Heidrun er det ingen tydelig utvikling fra 9 til 13 år. Verdiene er i tillegg usikre på grunn kloridprofiler som er vanskelig å tolke. Profilene fra bjelke (24 moh) er greie å tolke, og her er det ingen utvikling fra 9 til 13 år
- for Elkems blokker på Østmarkneset er det ingen entydig reduksjon fra 14 til 21 år
- for Ressursvennlig kvalitetsbetong på Østmarkneset og Brevik er det ikke entydig reduksjon fra 5 til 9 (10) år for betong med flygeasketilsetning
- for Ressursvennlig kvalitetsbetong på Østmarkneset og Brevik er det ikke entydig reduksjon etter 2 år for betong med ren portlandsement
- for Shore Approach er det ikke observert reduksjon fra 9 til 26 år

Det ser derfor ikke uten videre ut til å være grunnlag for å benytte aldringsparameter større enn null for en periode på mer enn 10 år. Betong med flygeasketilsetning vil få mindre kloridinntrenging enn betong med ren portlandsement i perioden etter 10 år på grunn av vesentlig lavere diffusjonskoeffisient.

### 5.4 Eksponering

Det ser ikke ut til å være noen systematisk forskjell på betong eksponert neddykket (verken i sjøen eller i laboratoriet) sammenlignet med betong eksponert i tidevannssonen. For betong eksponert atmosfærisk (i luft) finnes det for få verdier til at det kan sies noe om  $\alpha$  avviker fra det som oppnås for betong eksponert neddykket eller i tidevannssonen.

## Referanser

---

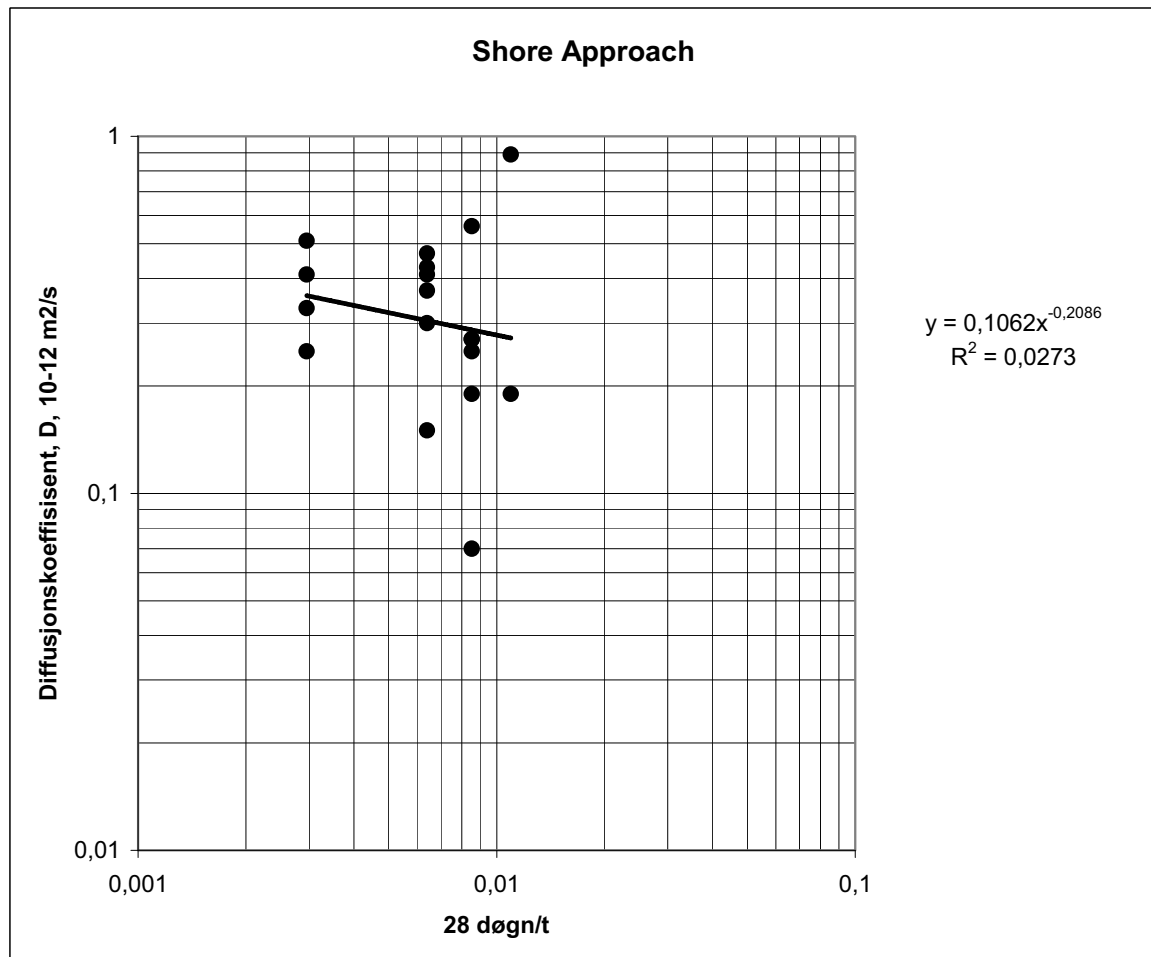
- 1 Skjølsvold, O m.fl: Betongkonstruksjoners livsløp, Rapport nr 1, Statens Vegvesen Vegdirektoratet, Intern rapport nr 2197, Oslo desember 2002
- 2 Meland, I: SINTEF-rapport STF65 A89063 Tilstandskontroll Kalstø- Shore Approach-Elementene, Trondheim 1989
- 3 Holand, I: Bestandige betongkonstruksjoner Rapport 1.2, Langtidsforsøk i felt, Oslo 1997
- 4 Bech S. m.fl: Bestandige Betongkonstruksjoner Rapport 2.4 Erfaringer fra offshore konstruksjoner, Oslo 1998
- 5 Data mottatt fra Dr. Ing A Aas-Jakobsen v/Trond Østmoen
- 6 Aarstein, R, Ness, OB: Statoilrapport "Heidrun betonginspeksjon 2005" og regneark mottatt fra Skanska v/Steinar Helland
- 7 Maage M, m.fl: SINTEF-rapport STF22 A98747, Lett Konstruksjonsbetong Delrapport 3.6: Chloride penetration into concrete with light weight aggregates, Trondheim 1998
- 8 Kjellsen, K, Skjølsvold, O: Betongkonstruksjoners livsløp, Rapport nr 4 Kloridinntrenging i ressursvennlig kvalitetsbetong, Oslo 2003
- 9 Carlsen, JE m.fl: SINTEF-rapport STF22 A00708, Lett Konstruksjonsbetong Delrapport 3.10: Effekt av høy herdetemperatur på motstand mot kloridinntrenging, Trondheim 2000
- 10 Carlsen, JE: Ressursvennlig kvalitetsbetong, DP.4 Bestandighet, Oslo 2000
- 11 Maage, M., Helland, S. og Aarstein, R: "In-field performance of North Sea hsc/hpc offshore platforms with regard to chloride resistance", Hirtshals 12. – 14. november 2008
- 12 Rønne, M og Havdahl, J: Lightcon Delprosjekt 1, Dokumentasjon av Produksjon og Tilstandskontroll, Delrapport 9, SINTEF-rapport STF22 A97821, Trondheim 1997
- 13 Havdahl, J. m fl: Lett Konstruksjonsbetong Delprosjekt 3: Bestandighet, Delrapport 3.4 Østmarkneset testblokker. SINTEF-rapport STF22 A98757, Trondheim 1998
- 14 Skjølsvold, O. Blokker på Østmarkneset. Uttak av borkjerner og bestemmelse av kloridprofiler etter 21 ½ års eksponering, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport nr 29, Oslo 2008
- 15 SINTEF Prøvsingsrapport nr 652021.01/01, Trondheim 1992
- 16 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70035, Trondheim 1995
- 17 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70277/1, Trondheim 2008
- 18 Hammer, T.A. og Havdahl, J., Betongblokker for langtidsforsøk etter 1 ½ års eksponering, SINTEF-rapport STF65 A86003, Trondheim 1986
- 19 Hammer, T.A. og Havdahl, J., Betongblokker for langtidsforsøk etter 5 års eksponering, SINTEF-rapport STF65 A90010, Trondheim 1991
- 20 Gautefall, O., Erfaringer fra 9 års eksponering i tidevannssonen, SINTEF-rapport STF70 A92190, Trondheim 1992
- 21 Havdahl, J. og Vennesland, Ø., Blokker på Østmarkneset etter 14 års eksponering, SINTEF-rapport STF22 A98768, Trondheim 1998
- 22 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70170, Trondheim 2001
- 23 SINTEF Prøvsingsrapport nr 32918, Trondheim 1999
- 24 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70219, Trondheim 2004
- 25 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70285, Trondheim 2008
- 26 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70153, Trondheim 2000
- 27 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70216, Trondheim 2004
- 28 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70279, Trondheim 2008
- 29 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70100/14, Trondheim 2003
- 30 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70100/15, Trondheim 2007
- 31 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70210, Trondheim 2004
- 32 SINTEF Prøvsingsrapport nr 70288, Trondheim 2009

# Vedlegg 1

## Shore Approach

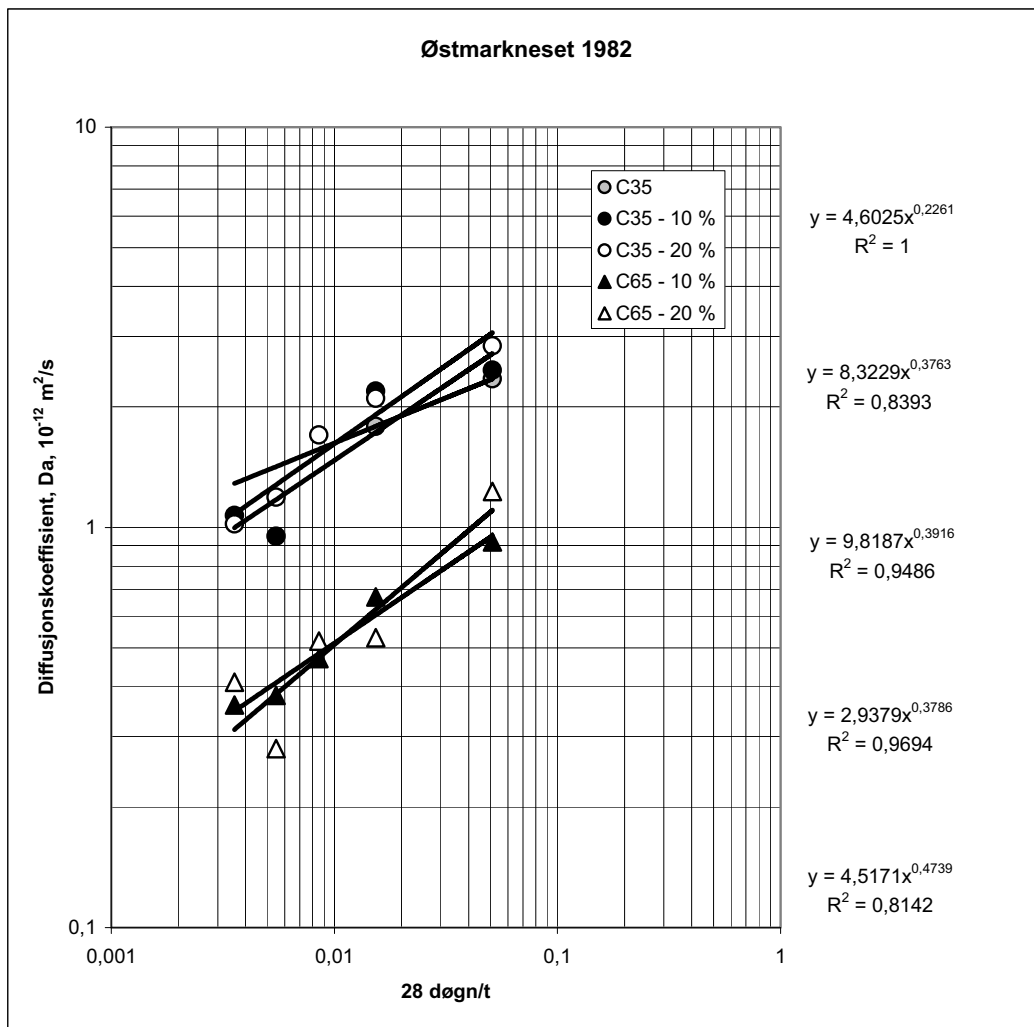
Shore Approach

| År | Tid, døgn | 28/t     | Da   |
|----|-----------|----------|------|
| 7  | 2555      | 0,010959 | 0,89 |
| 7  | 2555      | 0,010959 | 0,19 |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,25 |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,27 |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,27 |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,07 |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,19 |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,56 |
| 12 | 4380      | 0,006393 | 0,3  |
| 12 | 4380      | 0,006393 | 0,41 |
| 12 | 4380      | 0,006393 | 0,15 |
| 12 | 4380      | 0,006393 | 0,47 |
| 12 | 4380      | 0,006393 | 0,43 |
| 12 | 4380      | 0,006393 | 0,37 |
| 26 | 9490      | 0,00295  | 0,51 |
| 26 | 9490      | 0,00295  | 0,41 |
| 26 | 9490      | 0,00295  | 0,33 |
| 26 | 9490      | 0,00295  | 0,25 |

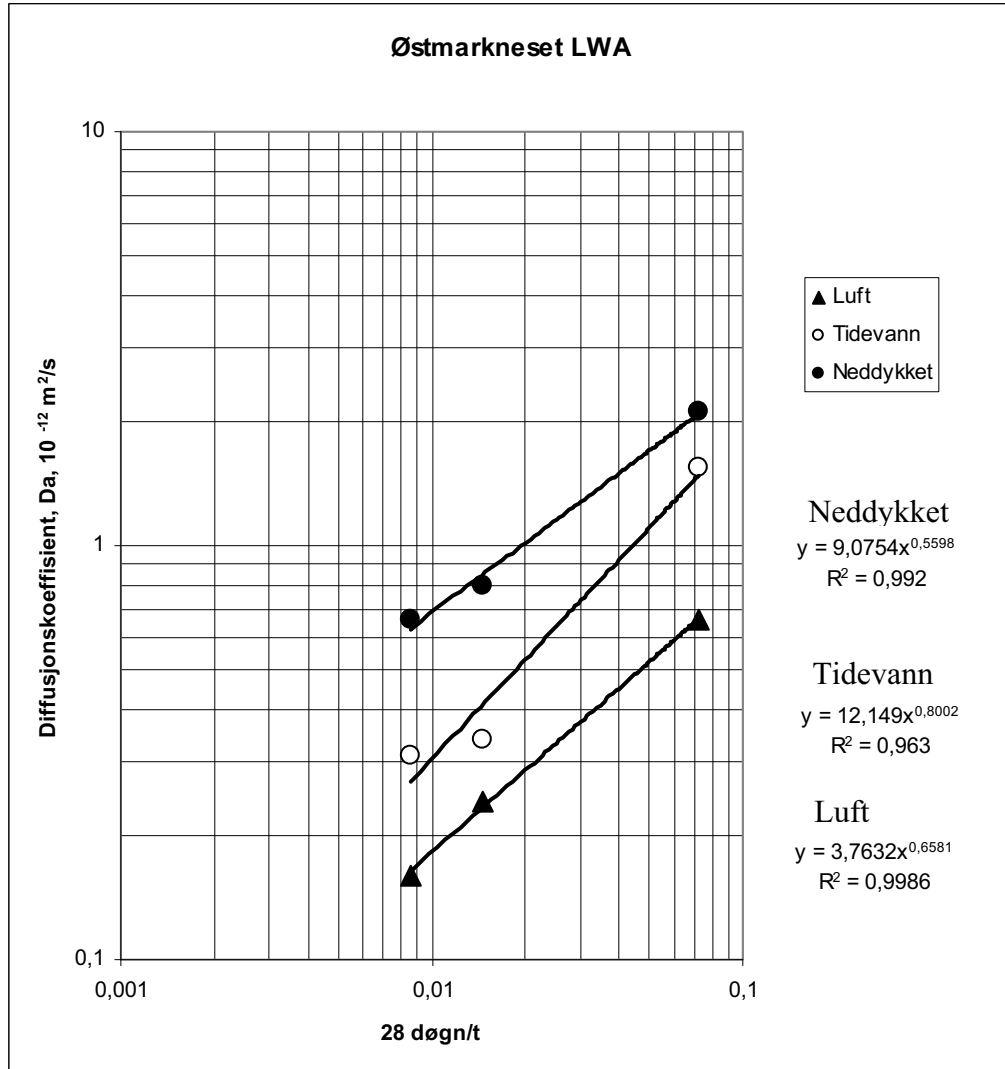


## Vedlegg 2 Østmarkneset Elkem

| Blanding |        |          | C35                                    | C35-10% | C35 -20% | C65- 10% | C65 - 20% |  |
|----------|--------|----------|--|---------|----------|----------|-----------|--|
| År       | Døgn   | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |         |          |          |           |  |
| 1,5      | 547,5  | 0,051142 | 2,35                                   | 2,47    | 2,84     | 0,92     | 1,23      |  |
| 5        | 1825   | 0,015342 | 1,79                                   | 2,19    | 2,1      | 0,67     | 0,53      |  |
| 9        | 3285   | 0,008524 |  |         | 1,7      | 0,47     | 0,52      |  |
| 14       | 5110   | 0,005479 |  | 0,95    | 1,19     | 0,38     | 0,28      |  |
| 21,5     | 7847,5 | 0,003568 |  | 1,07    | 1,02     | 0,36     | 0,41      |  |



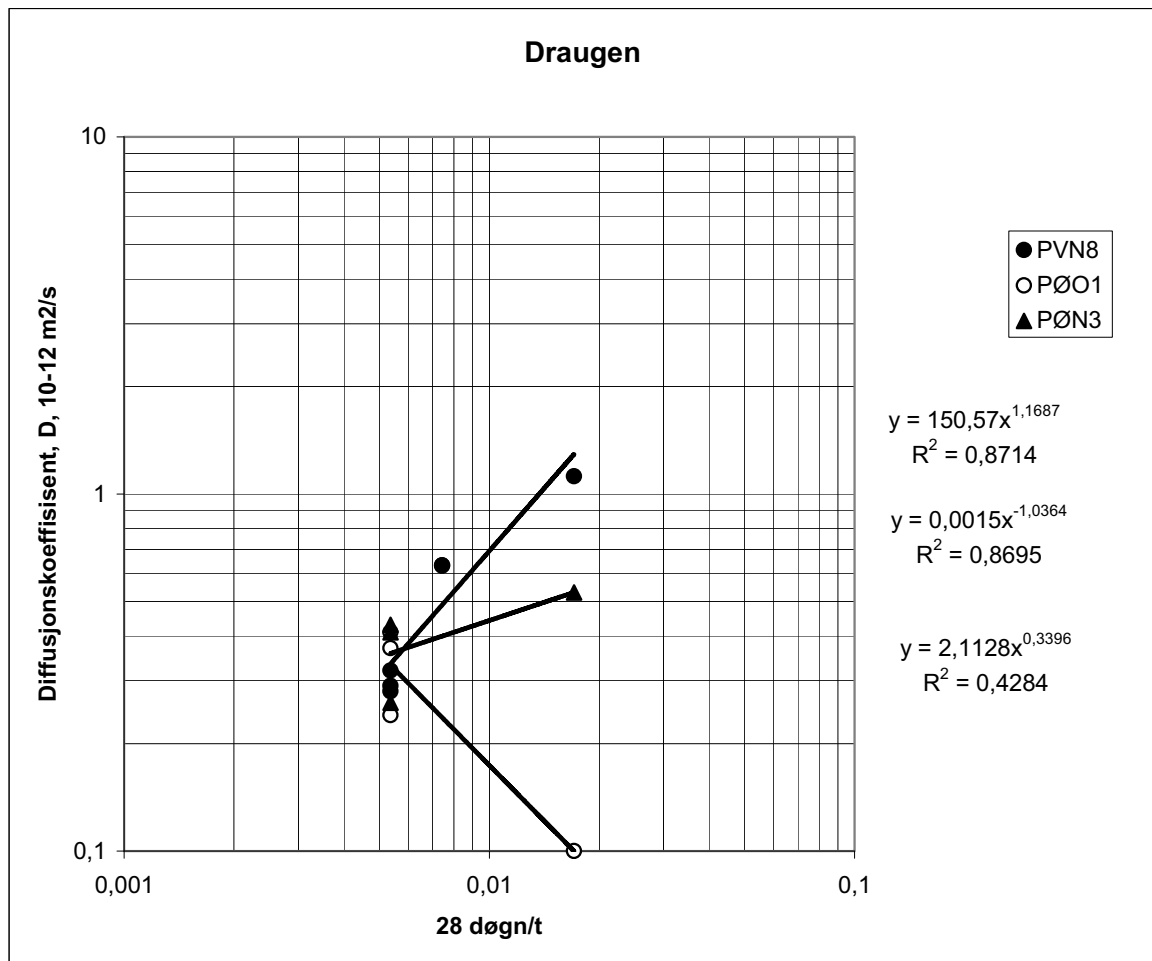
Vedlegg 3  
Østmarkneset - Light Weight Aggregate Concrete for Floaters



# Vedlegg 4 Draugen

Draugen

| År    | Tid, døgn | 28/t     | PVN8     | PØ01        | PØN3      |
|-------|-----------|----------|----------|-------------|-----------|
|       |           |          | 24-25moh | 1,5-2,5 moh | 24-26 moh |
| 4,5   | 1642,5    | 0,017047 | 1,12     | 0,1         | 0,53      |
| 10,33 | 3770,45   | 0,007426 | 0,63     |             |           |
| 10,33 | 3770,45   | 0,007426 | 0,63     |             |           |
| 14,3  | 5219,5    | 0,005364 | 0,28     | 0,41        | 0,26      |
| 14,3  | 5219,5    | 0,005364 | 0,32     | 0,24        | 0,43      |
| 14,3  | 5219,5    | 0,005364 | 0,29     | 0,37        | 0,41      |

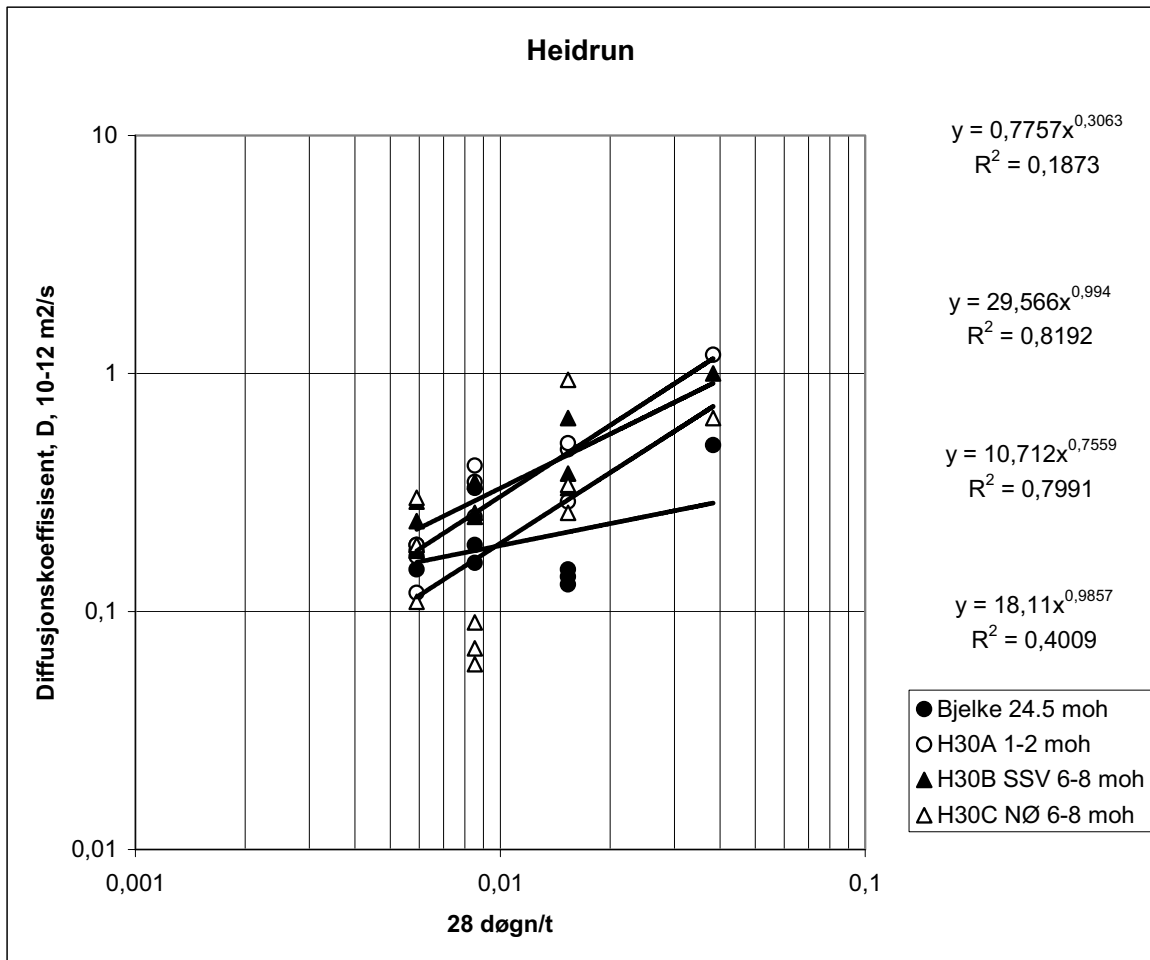


# Vedlegg 5

## Heidrun Lettbetong

Heidrun

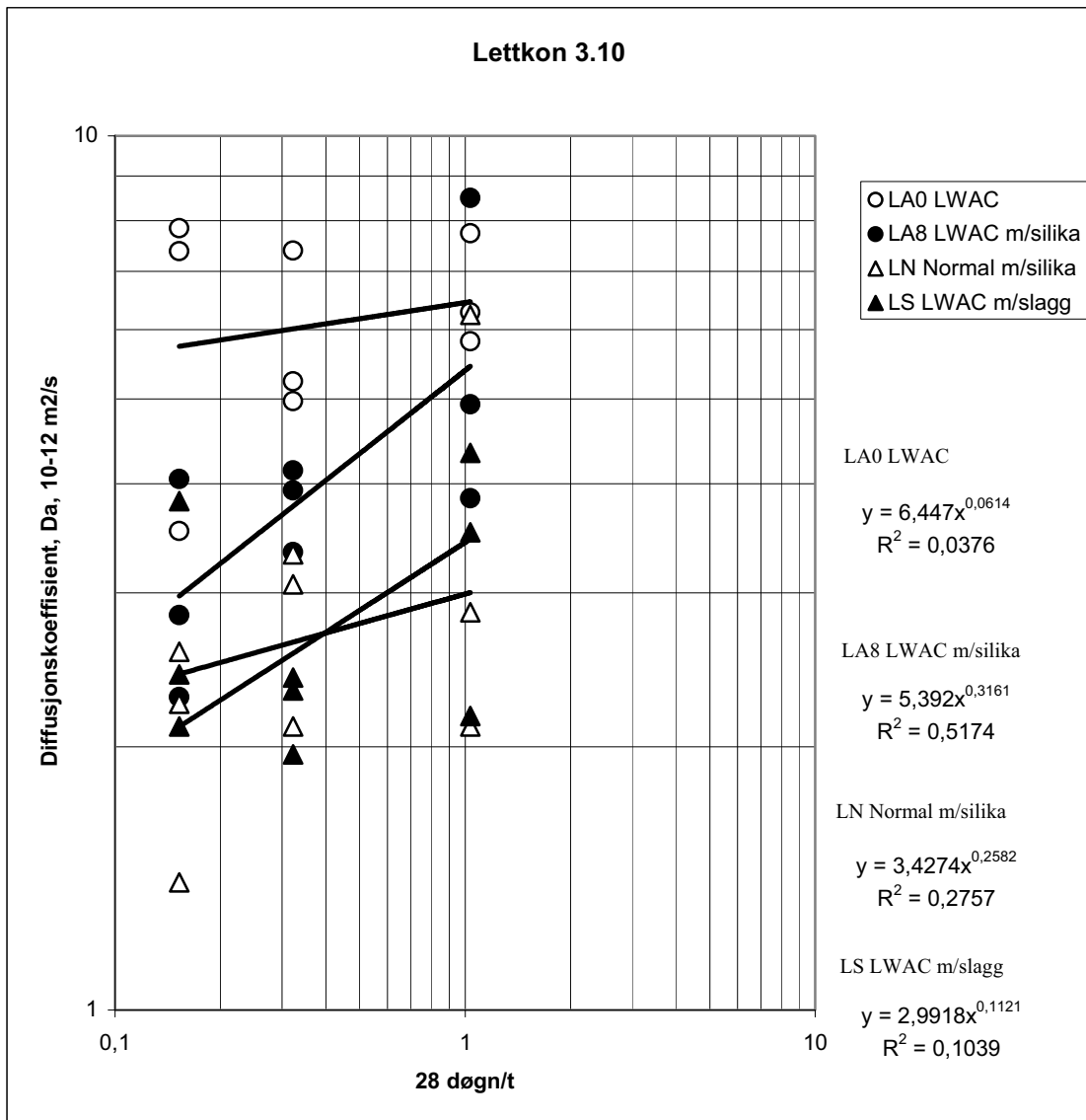
| År | Tid, døgn | 28/t     | Bjelke   | H30A    | H30B SSV | H30C NØ |
|----|-----------|----------|----------|---------|----------|---------|
|    |           |          | 24.5 moh | 1-2 moh | 6-8 moh  | 6-8 moh |
| 2  | 730       | 0,038356 | 0,5      | 1,2     | 1        | 0,65    |
| 5  | 1825      | 0,015342 | 0,14     | 0,29    | 0,65     | 0,34    |
| 5  | 1825      | 0,015342 | 0,15     | 0,48    | 0,38     | 0,26    |
| 5  | 1825      | 0,015342 | 0,13     | 0,51    | 0,33     | 0,94    |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,33     | 0,25    | 0,26     | 0,07    |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,19     | 0,41    | 0,35     | 0,09    |
| 9  | 3285      | 0,008524 | 0,16     | 0,35    | 0,25     | 0,06    |
| 13 | 4745      | 0,005901 | 0,15     | 0,17    | 0,24     | 0,3     |
| 13 | 4745      | 0,005901 | 0,18     | 0,19    | 0,18     | 0,19    |
| 13 | 4745      | 0,005901 | 0,19     | 0,12    | 0,29     | 0,11    |



**Vedlegg 6**  
**Lettkon 3.10 - lettbetong**

Lettkon 3.10

| Tid | 28/t     | LA0  | LA8  | LN   | LS   |
|-----|----------|------|------|------|------|
| 28  | 1,035714 | 5,82 | 3,85 | 2,85 | 3,52 |
| 28  | 1,035714 | 6,28 | 4,93 | 2,11 | 4,34 |
| 28  | 1,035714 | 7,74 | 8,49 | 6,24 | 2,17 |
| 90  | 0,322222 | 5,24 | 3,34 | 3,32 | 1,96 |
| 90  | 0,322222 | 4,97 | 3,93 | 2,11 | 2,4  |
| 90  | 0,322222 | 7,39 | 4,14 | 3,07 | 2,32 |
| 190 | 0,152632 | 7,84 | 2,83 | 2,24 | 2,11 |
| 190 | 0,152632 | 7,38 | 2,28 | 1,4  | 2,42 |
| 190 | 0,152632 | 3,53 | 4,05 | 2,57 | 3,82 |

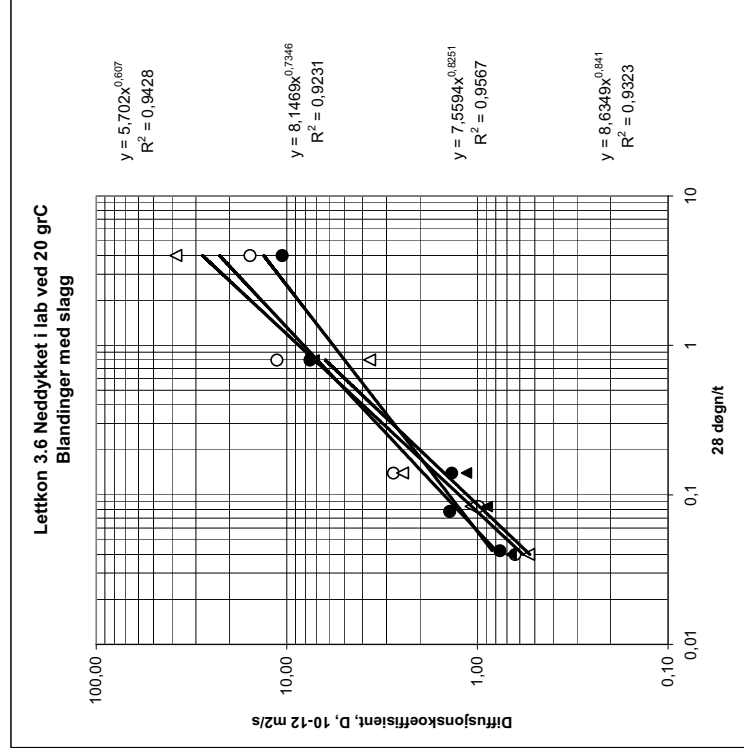
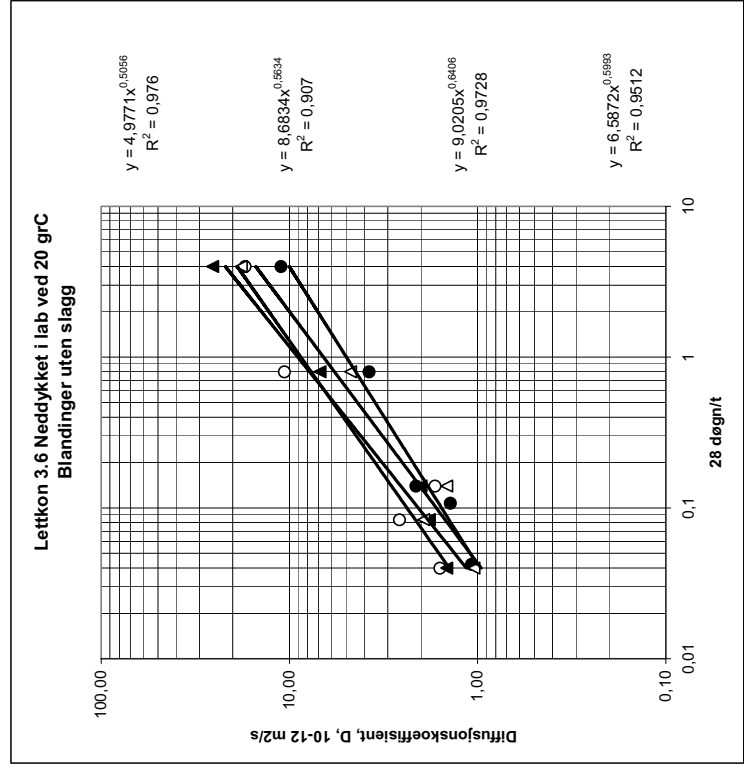




## Vedlegg 7 Lettkon 3.6 – lettbetong

Neddykket i sjøvann i lab

| Blanding   | A         |                             |  | C     |                             |  | E        |                             |  | G    |                             |  |          |          |      |
|------------|-----------|-----------------------------|--|-------|-----------------------------|--|----------|-----------------------------|--|------|-----------------------------|--|----------|----------|------|
|            | Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid   | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid      | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid  | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |          |          |      |
| Uten slagg | 7         | 349                         | 4                                      | 11,07 | 7                           | 542                                    | 4        | 17,19                       | 7                                      | 806  | 7                           | 569                                    | 4        | 18,04    |      |
|            | 35        | 119                         | 0,8                                    | 3,77  | 35                          | 335                                    | 0,8      | 10,62                       | 35                                     | 217  | 35                          | 149                                    | 0,8      | 4,72     |      |
|            | 200       | 67                          | 0,14                                   | 2,12  | 200                         | 53                                     | 0,14     | 1,68                        | 200                                    | 63   | 200                         | 200                                    | 46       | 1,46     |      |
|            | 260       | 44                          | 0,107692                               | 1,40  | 335                         | 82                                     | 0,083582 | 2,60                        | 335                                    | 57   | 0,083582                    | 335                                    | 61       | 0,083582 |      |
| 660        | 34        | 0,042424                    | 1,08                                   | 700   | 50                          | 0,04                                   | 1,59     | 700                         | 46                                     | 0,04 | 700                         | 33                                     | 0,04     | 1,05     |      |
| Med slagg  | Tid       | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid   | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid      | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid  | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |          |          |      |
|            | 7         | 333                         | 4                                      | 10,56 | 7                           | 492                                    | 4        | 15,60                       | 35                                     | 227  | 7                           | 1206                                   | 4        | 38,24    |      |
|            | 35        | 238                         | 0,8                                    | 7,55  | 35                          | 355                                    | 0,8      | 11,26                       | 200                                    | 36   | 0,14                        | 35                                     | 116      | 0,8      | 3,68 |
|            | 200       | 43                          | 0,14                                   | 1,36  | 200                         | 87                                     | 0,14     | 2,76                        | 335                                    | 28   | 0,083582                    | 200                                    | 78       | 0,14     | 2,47 |
| 360        | 44        | 0,077778                    | 1,40                                   | 335   | 31                          | 0,083582                               | 0,98     | 700                         | 21                                     | 0,04 | 335                         | 34                                     | 0,083582 |          |      |
| 660        | 24        | 0,042424                    | 0,76                                   | 700   | 20                          | 0,04                                   | 0,63     | 700                         | 21                                     | 0,04 | 700                         | 17                                     | 0,04     | 0,54     |      |



## Vedlegg 8

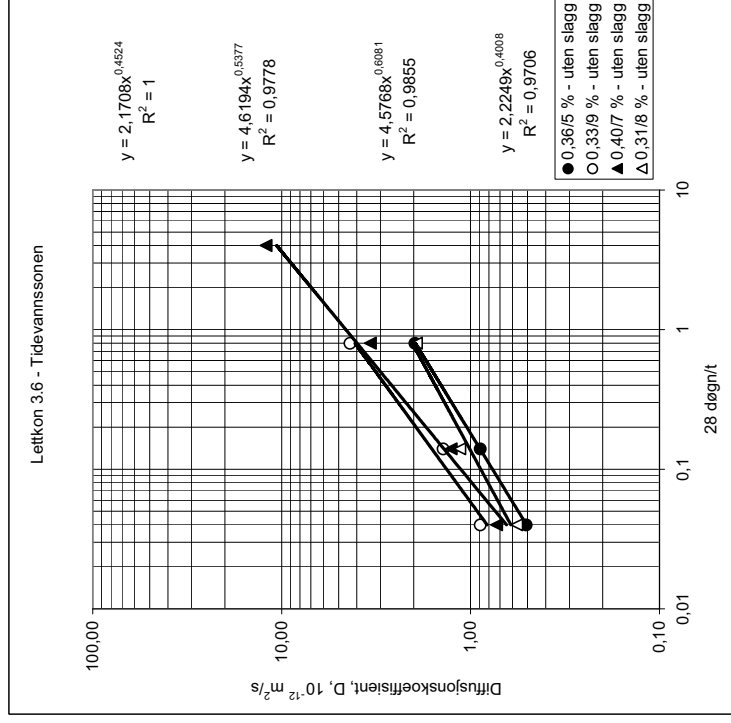
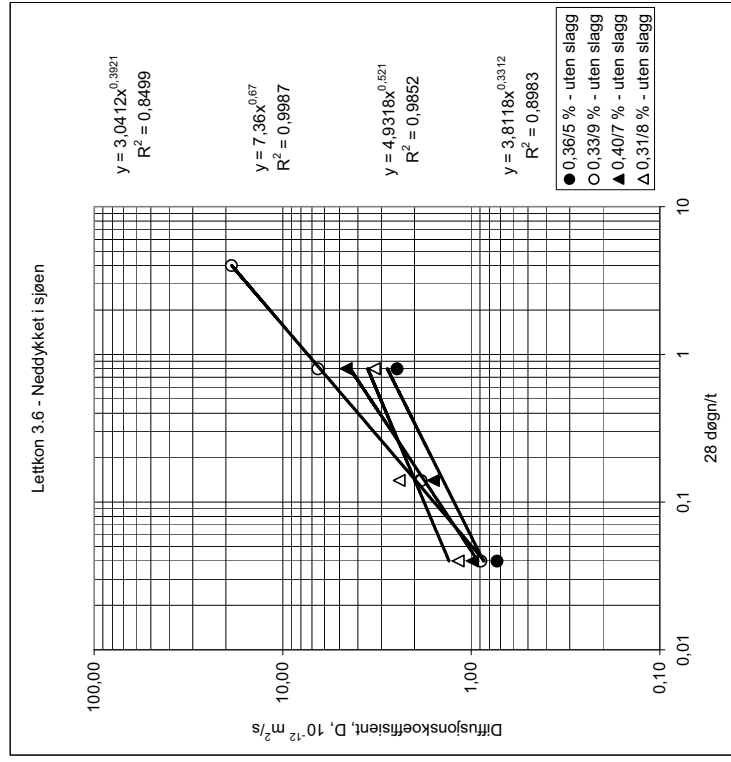
### Lettkon 3.6 - lettbetong

Neddykket i sjøen ved Kristiansand - blandinger uten slag

| Blanding  |                             | A                                      |      | C                           |  | E    |                             | G                                      |     |      |      |     |      |      |
|-----------|-----------------------------|--|------|-----------------------------|--|------|-----------------------------|--|-----|------|------|-----|------|------|
| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid  | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid  | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid |      |      |     |      |      |
| 35        | 78                          | 0,8                                    | 2,47 | 7                           | 589                                    | 4    | 18,68                       | 35                                     | 145 | 0,8  | 4,60 | 103 | 0,8  | 3,27 |
| 200       | 59                          | 0,14                                   | 1,87 | 35                          | 205                                    | 0,8  | 6,50                        | 200                                    | 50  | 0,14 | 1,59 | 76  | 0,14 | 2,41 |
| 700       | 23                          | 0,04                                   | 0,73 | 200                         | 58                                     | 0,14 | 1,84                        | 700                                    | 31  | 0,04 | 0,98 | 37  | 0,04 | 1,17 |
|           |                             |  |      | 700                         | 28                                     | 0,04 | 0,89                        |  |     |      |      |     |      |      |

I tidevannssonen ved Kristiansand - blandinger uten slag

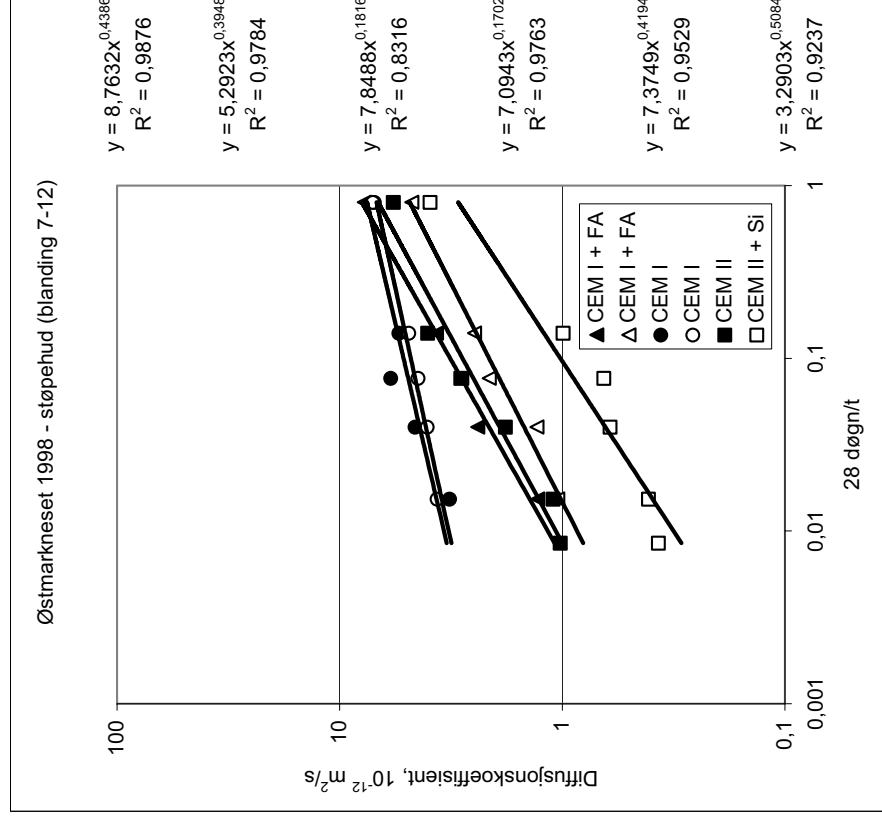
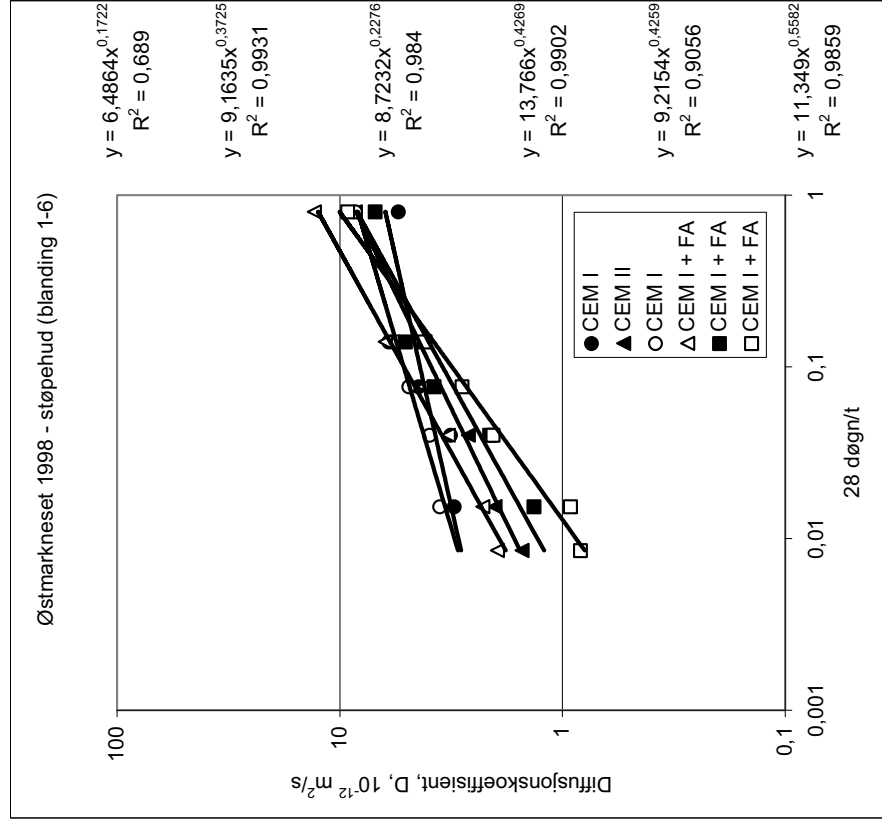
| Blanding  |                             | A                                      |      | C                           |  | E    |                             | G                                      |     |      |      |    |      |      |
|-----------|-----------------------------|--|------|-----------------------------|--|------|-----------------------------|--|-----|------|------|----|------|------|
| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid  | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid  | D, mm <sup>2</sup> /år 28/t | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid |      |      |    |      |      |
| 35        | 62                          | 0,8                                    | 1,97 | 7                           | 382                                    | 4    | 12,11                       | 35                                     | 61  | 0,8  | 1,93 | 61 | 0,8  | 1,93 |
| 200       | 28                          | 0,14                                   | 0,89 | 35                          | 107                                    | 0,8  | 3,39                        | 200                                    | 36  | 0,14 | 1,14 | 36 | 0,14 | 1,14 |
| 700       | 16                          | 0,04                                   | 0,51 | 200                         | 40                                     | 0,14 | 1,27                        | 700                                    | 18  | 0,04 | 0,57 | 18 | 0,04 | 0,57 |
|           |                             |  |      | 700                         | 23                                     | 0,04 | 0,73                        |  |     |      |      |    |      |      |



## Vedlegg 9

### Ressursvennlig kvalitetsbetong- Østmarkneset støpehud

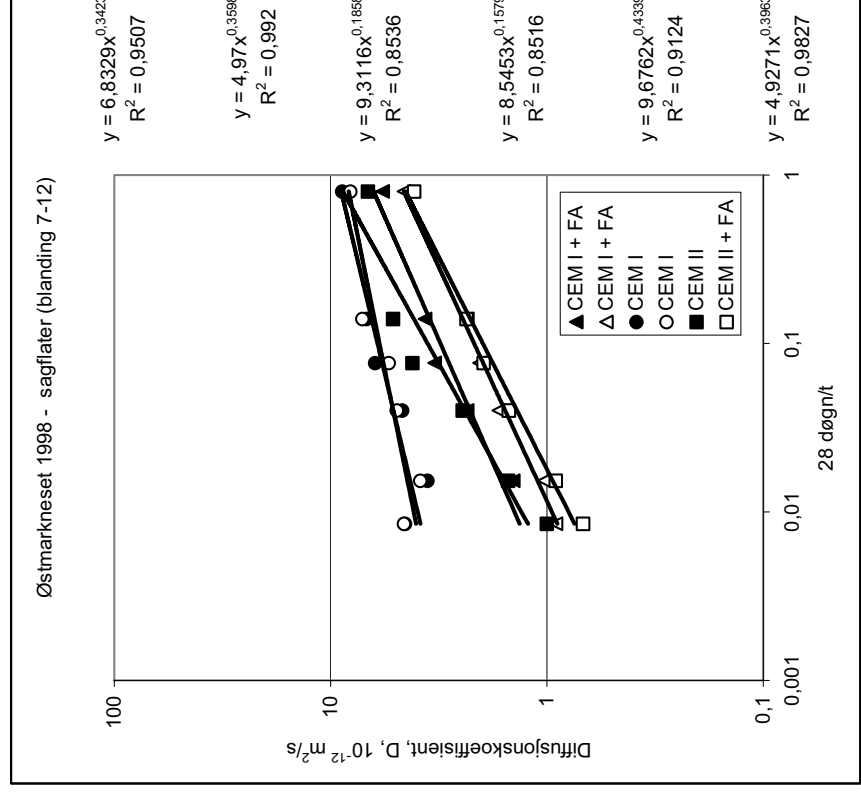
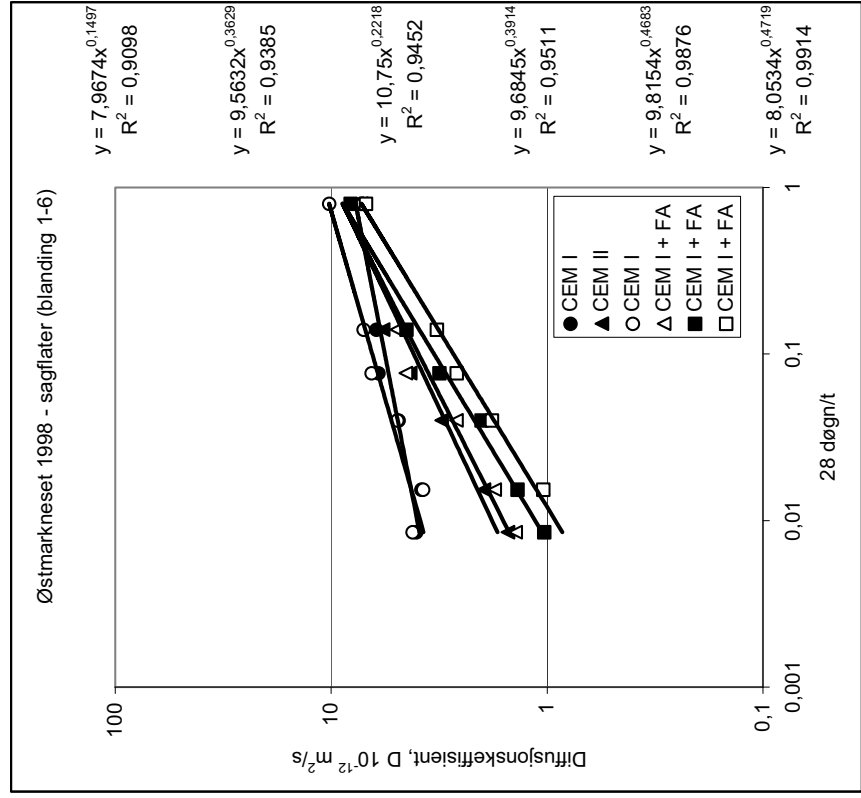
| Støpehud                               | 1    | 2    | 3        | 4    | 5        | 6        | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|--|------|------|----------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|
| Tid, døgn                              | 35   | 200  | 365      | 700  | 1825     | 3285     |      |      |      |      |      |      |
| 28/t                                   | 0,8  | 0,14 | 0,076712 | 0,04 | 0,015342 | 0,008524 |      |      |      |      |      |      |
| D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | 5,46 | 8,52 | 8,5      | 13   | 6,92     | 9,22     | 7,76 | 4,75 | 6,98 | 7,09 | 5,74 | 3,92 |
|  | 6,02 | 4,15 | 5,45     | 6,25 | 5,07     | 4,16     | 3,68 | 2,48 | 5,42 | 4,89 | 4,02 | 0,99 |
|  | 4,43 | 3,79 | 4,89     | 4,2  | 3,77     | 2,82     | 2,83 | 2,13 | 5,89 | 4,44 | 2,86 | 0,65 |
|  | 3,18 | 2,65 | 3,95     | 3,26 | 2,12     | 2,05     | 2,4  | 1,3  | 4,58 | 4,04 | 1,8  | 0,61 |
|  | 3,06 | 2,01 | 3,55     | 2,28 | 1,34     | 0,92     | 1,29 | 1,05 | 3,21 | 3,65 | 1,1  | 0,41 |
|  |      | 1,52 | 1,96     |      |          | 0,83     |      |      |      |      | 1,02 | 0,37 |



## Vedlegg 10

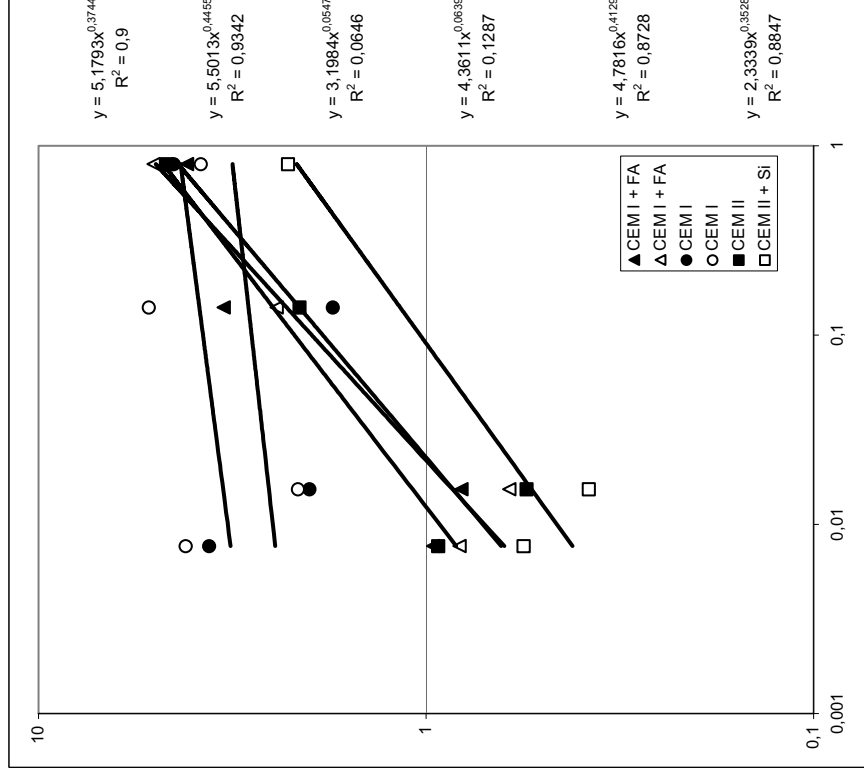
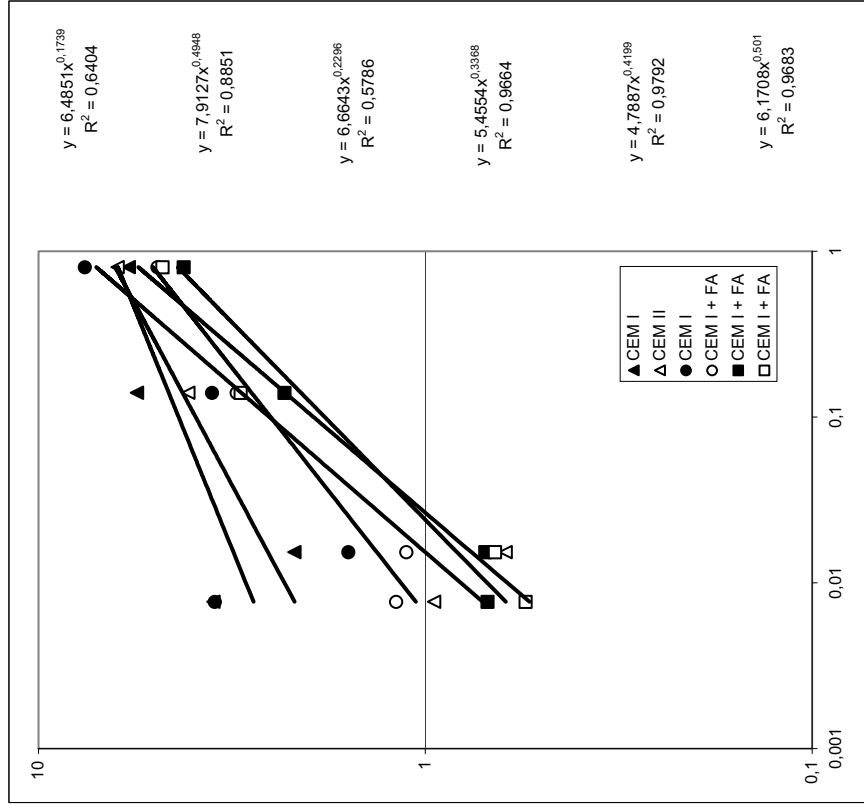
### Ressursvennlig kvalitetsbetong – Østmarkneset sagflater

| Sagflater | 1    | 2    | 3     | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9        | 10   | 11       | 12       |
|-----------|------|------|-------|------|------|------|------|------|----------|------|----------|----------|
| Tid, døgn | 35   | 200  | 365   | 700  | 1825 | 3285 | 0,8  | 0,14 | 0,076712 | 0,04 | 0,015342 | 0,008524 |
|           | 7,27 | 6,17 | 5,74  | 4,31 | 3,08 | 1,96 | 1,52 | 4,03 | 7,27     | 7,06 | 7,06     | 7,27     |
|           | 7,27 | 7,27 | 10,21 | 7,6  | 8,11 | 5,75 | 4,58 | 4,58 | 8,82     | 8,09 | 6,7      | 4,1      |
|           | 0,14 | 5,74 | 7,06  | 4,97 | 4,47 | 3,24 | 2,33 | 2,33 | 6,82     | 7,12 | 5,14     | 2,35     |
|           | 6,04 | 4,31 | 6,49  | 4,51 | 3,15 | 2,62 | 2,05 | 2,05 | 6,22     | 5,38 | 4,18     | 1,96     |
|           | 4,87 | 3,08 | 4,93  | 2,63 | 2,01 | 1,8  | 1,67 | 1,67 | 4,66     | 4,94 | 2,45     | 1,5      |
|           | 3,82 | 1,96 | 3,75  | 1,75 | 1,37 | 1,04 | 1,03 | 1,03 | 3,56     | 3,84 | 1,51     | 0,91     |
|           | 4,03 | 1,52 | 4,19  | 1,4  | 1,03 | 1,04 | 0,91 | 0,91 | 4,53     | 4,58 | 1        | 0,68     |



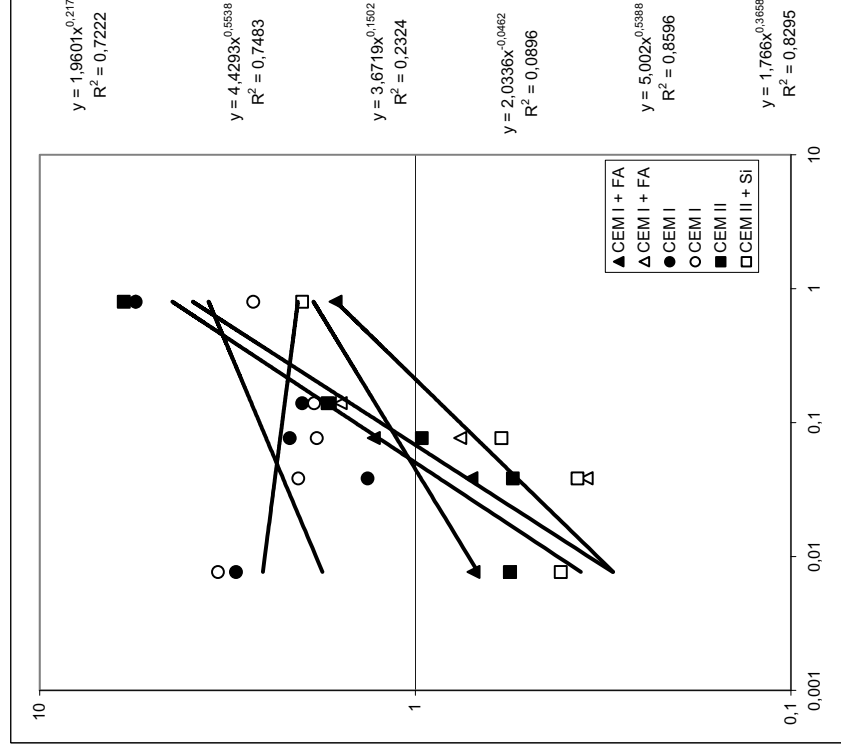
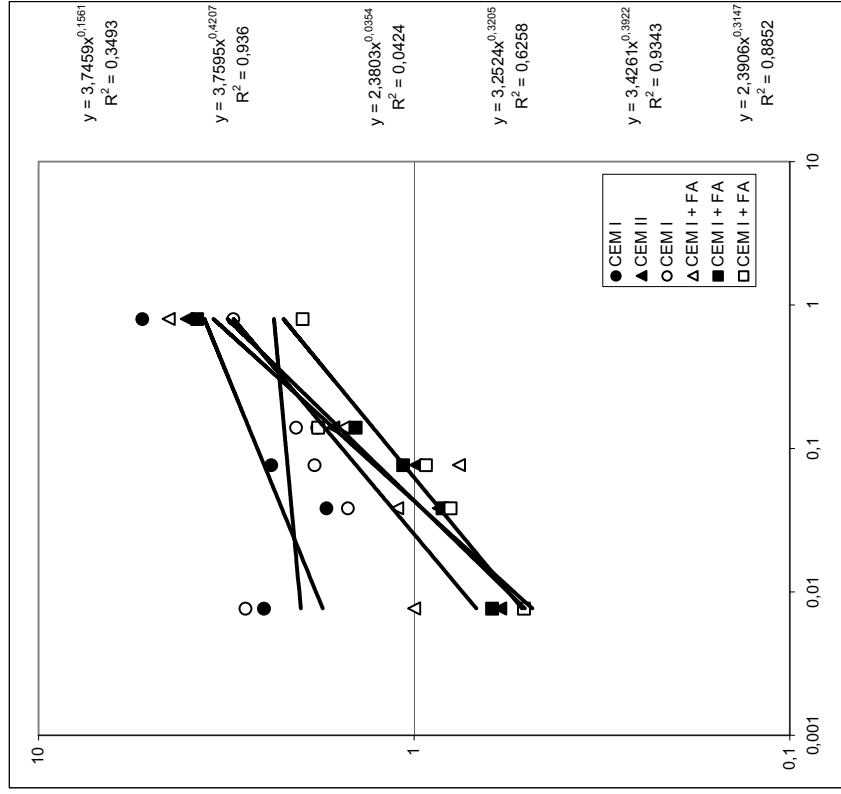
# Vedlegg 11 Ressursvennlig kvalitetsbetong – Brevik støpehud

| Støpehud Neddykket |     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tid, døgn          | 28t | 1                                      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 35                 |     | 0,8                                    | 5,85 | 6,25 | 7,59 | 4,21 | 4,78 | 4,14 | 5,05 | 4,48 | 3,81 | 4,66 | 2,27 |
| 200                |     | 0,14                                   | 5,57 | 4,1  | 3,56 | 2,31 | 3    | 3,33 | 2,43 | 1,74 | 5,19 | 2,12 |      |
| 365                |     | 0,07671233                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 730                |     | 0,03835616                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1825               |     | 0,01534247                             | 2,18 | 1,58 | 1,12 | 0,7  | 0,66 | 0,81 | 0,61 | 2    | 2,14 | 0,55 | 0,38 |
| 3650               |     | 0,00767123                             | 3,53 | 3,5  | 1,19 | 0,69 | 0,55 | 0,96 | 0,82 | 3,63 | 4,17 | 0,93 | 0,56 |



## Vedlegg 12 Ressursvennlig kvalitetsbetong – Brevik sagflater

| Sagflater |           | Neddykket |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tid, døgn | 28/t      | 1         | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 35        | 0,8       | 5,29      | 4,03 | 3,03 | 4,5  | 3,78 | 1,98 | 1,63 | 5,76 | 5,55 | 2,7  | 5,97 | 2    |
| 200       | 0,14      | 1,81      | 1,64 | 2,06 | 1,54 | 1,43 | 1,8  | 1,69 | 1,58 | 2    | 1,86 | 1,71 |      |
| 365       | 0,0767123 | 2,4       | 0,99 | 1,84 | 0,76 | 1,07 | 0,93 | 1,29 | 0,76 | 2,16 | 1,83 | 0,96 | 0,59 |
| 730       | 0,0383562 | 1,71      | 0,86 | 1,5  | 1,11 | 0,84 | 0,8  | 0,71 | 0,35 | 1,34 | 2,05 | 0,55 | 0,37 |
| 1825      | 0,0153425 | 2,51      | 0,59 | 2,81 | 1    | 0,62 | 0,51 | 0,7  | 0,56 | 3    | 3,35 | 0,56 | 0,41 |
| 3650      | 0,0076712 | 2,51      | 0,59 | 2,81 | 1    | 0,62 | 0,51 | 0,7  | 0,56 | 3    | 3,35 | 0,56 | 0,41 |

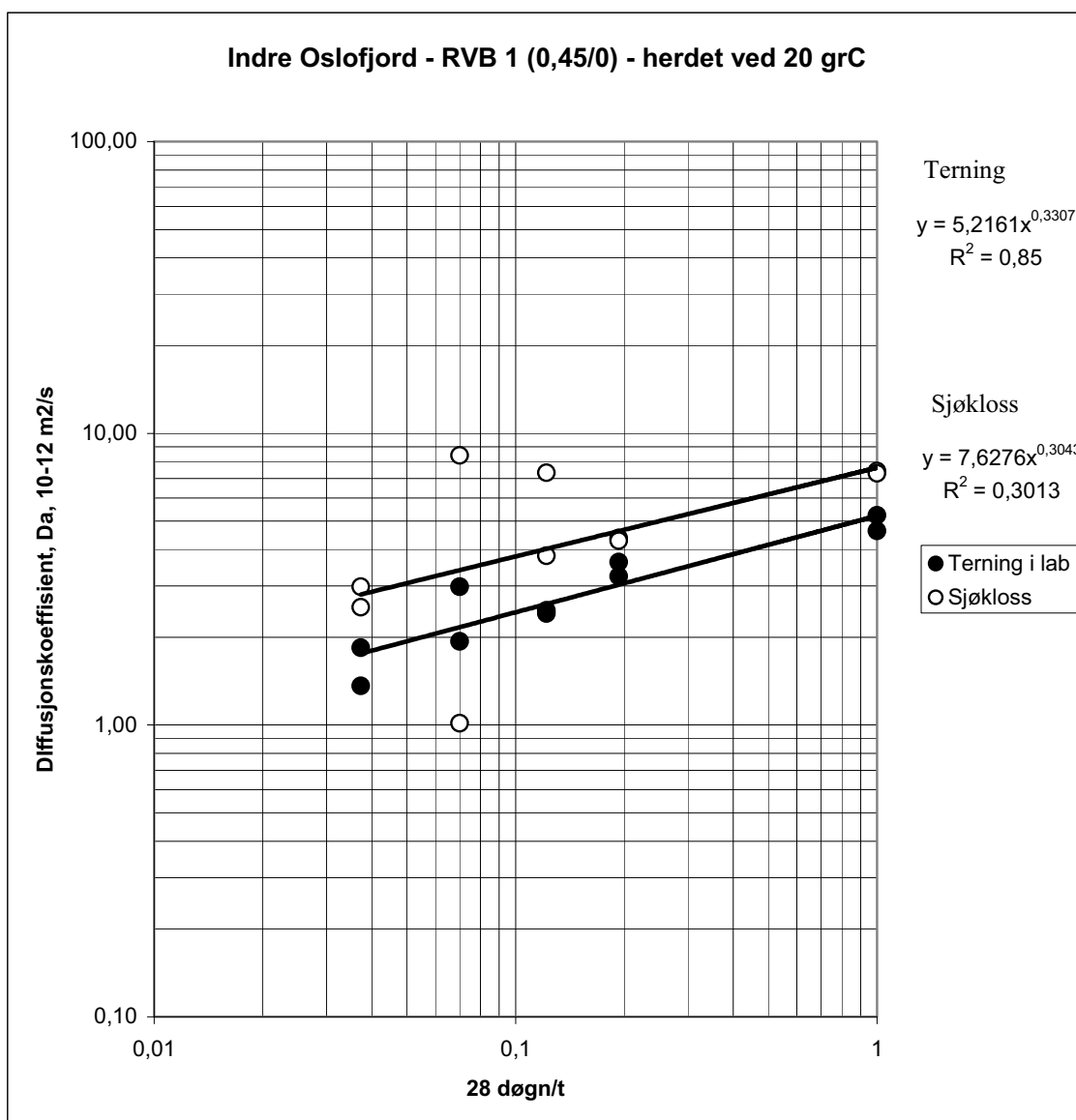


# Vedlegg 13

## Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord

Blanding RVB 1 - herdet ved 20 grC

| Terninger |                        |          |  | Sjøklosser |                        |          |  |
|-----------|------------------------|----------|--|------------|------------------------|----------|--|
| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid, døgn  | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
| 28        | 146                    | 1        | 4,63                                   | 28         | 234                    | 1        | 7,42                                   |
| 28        | 165                    | 1        | 5,23                                   | 28         | 230                    | 1        | 7,29                                   |
| 145       | 114                    | 0,193103 | 3,61                                   | 145        | 138                    | 0,193103 | 4,38                                   |
| 145       | 102                    | 0,193103 | 3,23                                   | 145        | 135                    | 0,193103 | 4,28                                   |
| 230       | 76                     | 0,121739 | 2,41                                   | 230        | 120                    | 0,121739 | 3,81                                   |
| 230       | 78                     | 0,121739 | 2,47                                   | 230        | 231                    | 0,121739 | 7,33                                   |
| 400       | 94                     | 0,07     | 2,98                                   | 400        | 32                     | 0,07     | 1,01                                   |
| 400       | 61                     | 0,07     | 1,93                                   | 400        | 265                    | 0,07     | 8,40                                   |
| 750       | 43                     | 0,037333 | 1,36                                   | 750        | 80                     | 0,037333 | 2,54                                   |
| 750       | 58                     | 0,037333 | 1,84                                   | 750        | 94                     | 0,037333 | 2,98                                   |

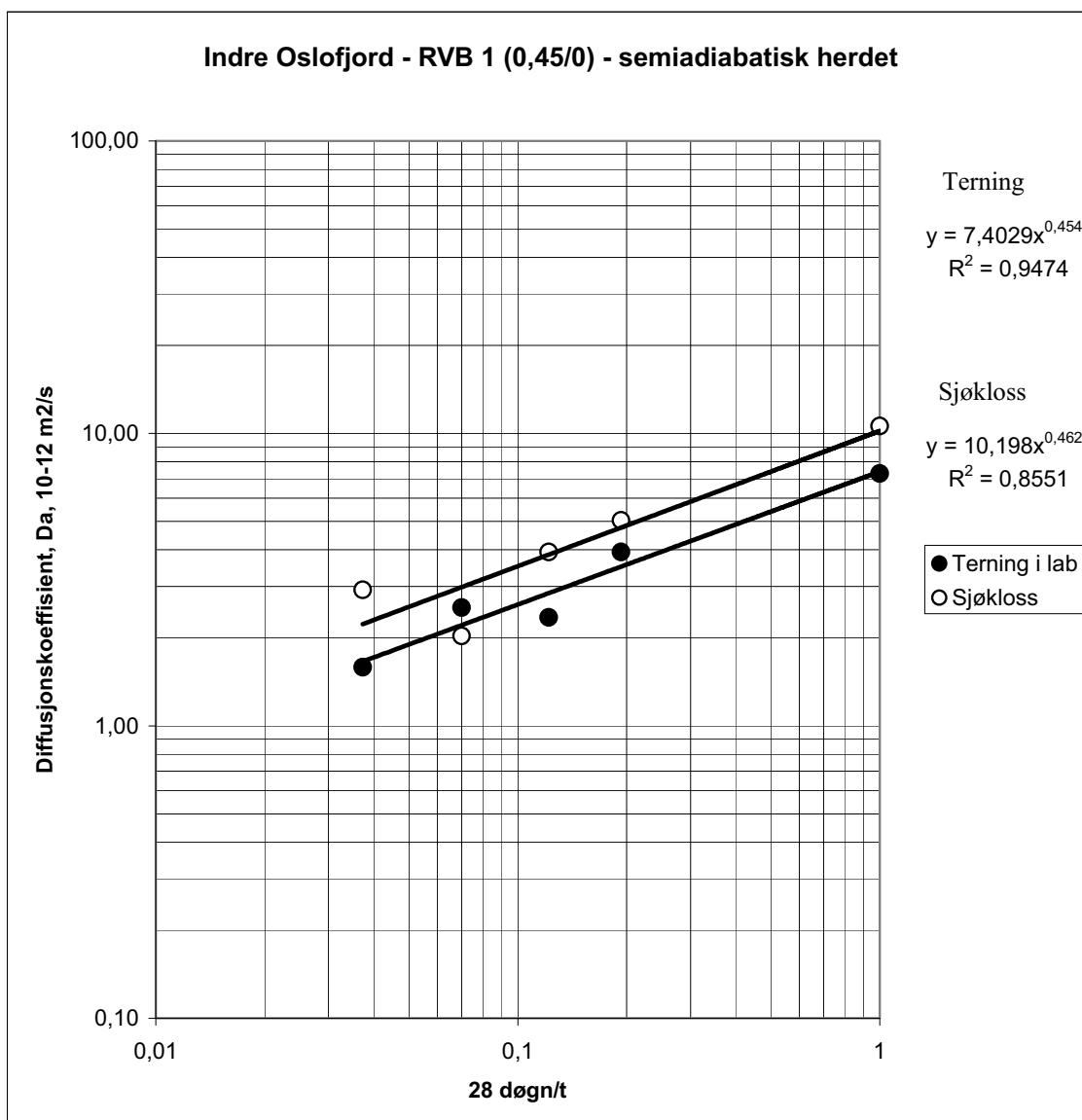


# Vedlegg 14

## Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord

Blanding RVB 1 - herdet semiadiabatisk

| Terninger |                        |          |  | Sjøklosser |                        |          |  |
|-----------|------------------------|----------|--|------------|------------------------|----------|--|
| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid, døgn  | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
| 28        | 230                    | 1        | 7,29                                   | 28         | 334                    | 1        | 10,59                                  |
| 145       | 124                    | 0,193103 | 3,93                                   | 145        | 159                    | 0,193103 | 5,04                                   |
| 230       | 74                     | 0,121739 | 2,35                                   | 230        | 124                    | 0,121739 | 3,93                                   |
| 400       | 80                     | 0,07     | 2,54                                   | 400        | 64                     | 0,07     | 2,03                                   |
| 750       | 50                     | 0,037333 | 1,59                                   | 750        | 92                     | 0,037333 | 2,92                                   |



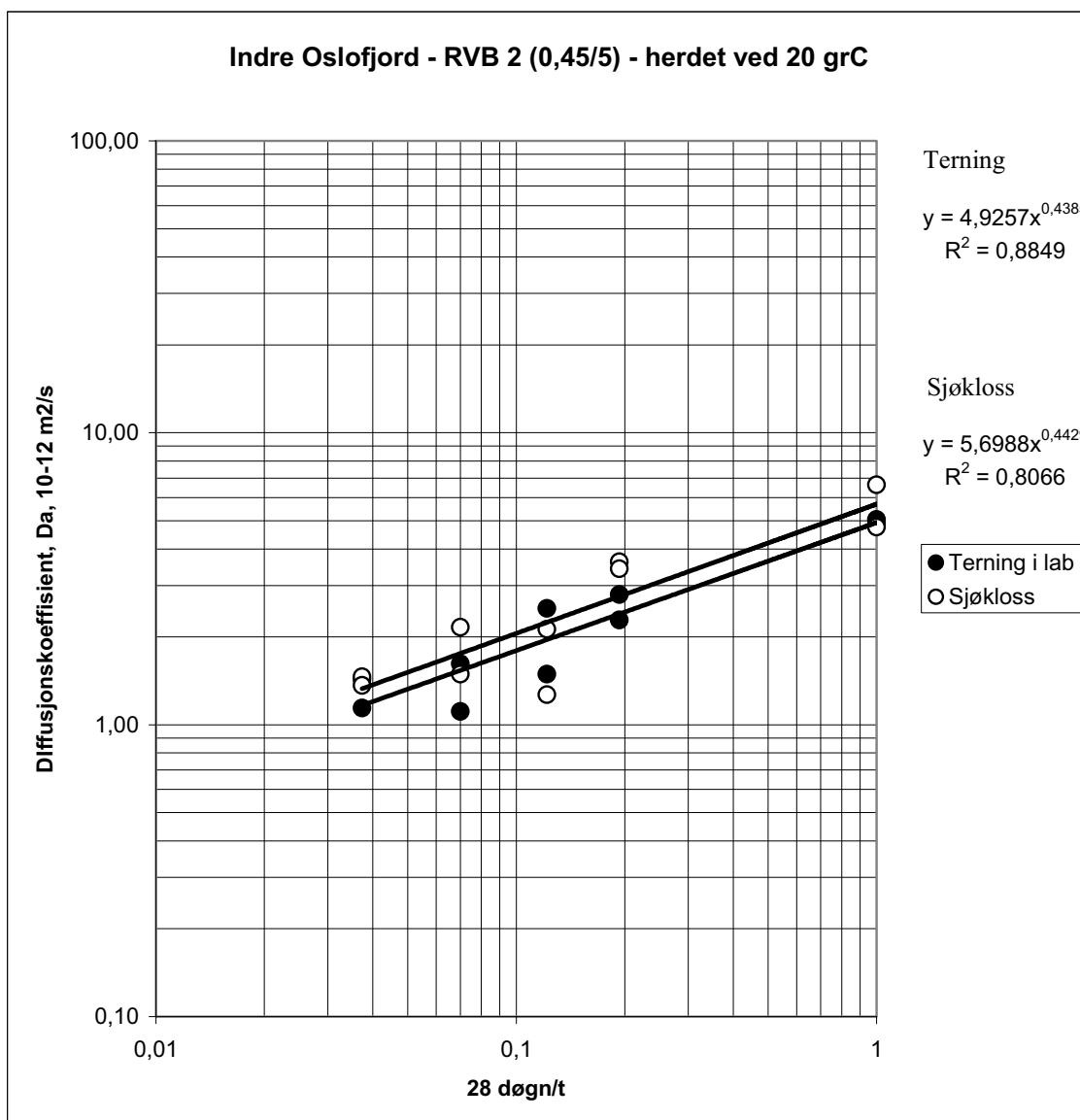


# Vedlegg 15

## Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord

Blanding RVB 2 - herdet ved 20 grC

| Terninger |                        |          |  | Sjøklosser |                        |          |  |
|-----------|------------------------|----------|--|------------|------------------------|----------|--|
| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid, døgn  | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
| 28        | 153                    | 1        | 4,85                                   | 28         | 150                    | 1        | 4,76                                   |
| 28        | 159                    | 1        | 5,04                                   | 28         | 209                    | 1        | 6,63                                   |
| 145       | 88                     | 0,193103 | 2,79                                   | 145        | 114                    | 0,193103 | 3,61                                   |
| 145       | 72                     | 0,193103 | 2,28                                   | 145        | 108                    | 0,193103 | 3,42                                   |
| 230       | 79                     | 0,121739 | 2,51                                   | 230        | 40                     | 0,121739 | 1,27                                   |
| 230       | 47                     | 0,121739 | 1,49                                   | 230        | 67                     | 0,121739 | 2,12                                   |
| 400       | 35                     | 0,07     | 1,11                                   | 400        | 68                     | 0,07     | 2,16                                   |
| 400       | 51                     | 0,07     | 1,62                                   | 400        | 47                     | 0,07     | 1,49                                   |
| 750       | 36                     | 0,037333 | 1,14                                   | 750        | 46                     | 0,037333 | 1,46                                   |
| 750       | 45                     | 0,037333 | 1,43                                   | 750        | 43                     | 0,037333 | 1,36                                   |

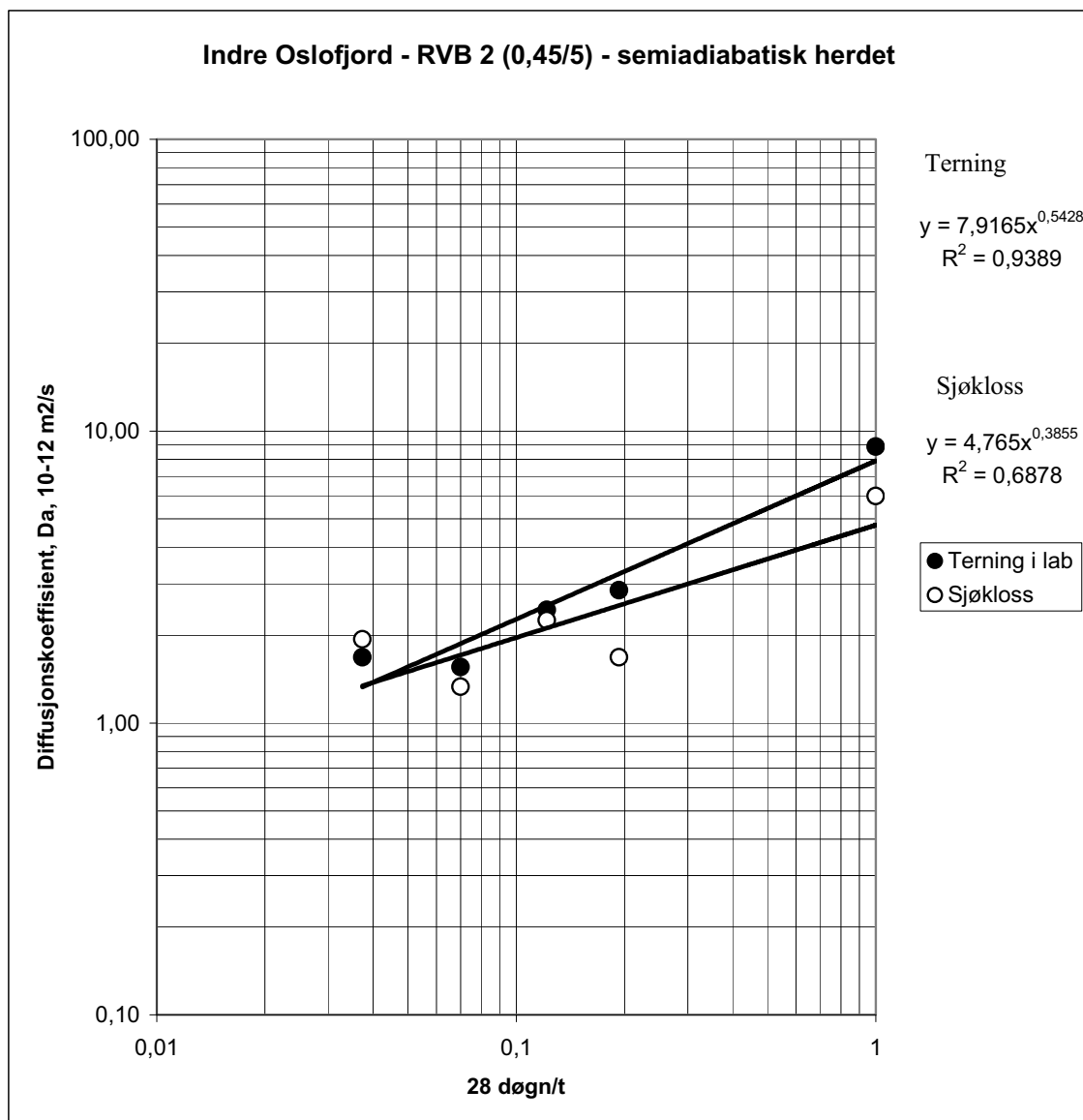


# Vedlegg 16

## Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord

Blanding RVB 2 - herdet semiadiabatisk

| Terninger |                        |          |  | Sjøklosser |                        |          |  |
|-----------|------------------------|----------|--|------------|------------------------|----------|--|
| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s | Tid, døgn  | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
| 28        | 279                    | 1        | 8,85                                   | 28         | 189                    | 1        | 5,99                                   |
| 145       | 90                     | 0,193103 | 2,85                                   | 145        | 53                     | 0,193103 | 1,68                                   |
| 230       | 77                     | 0,121739 | 2,44                                   | 230        | 71                     | 0,121739 | 2,25                                   |
| 400       | 49                     | 0,07     | 1,55                                   | 400        | 42                     | 0,07     | 1,33                                   |
| 750       | 53                     | 0,037333 | 1,68                                   | 750        | 61                     | 0,037333 | 1,93                                   |



# Vedlegg 17

## Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord

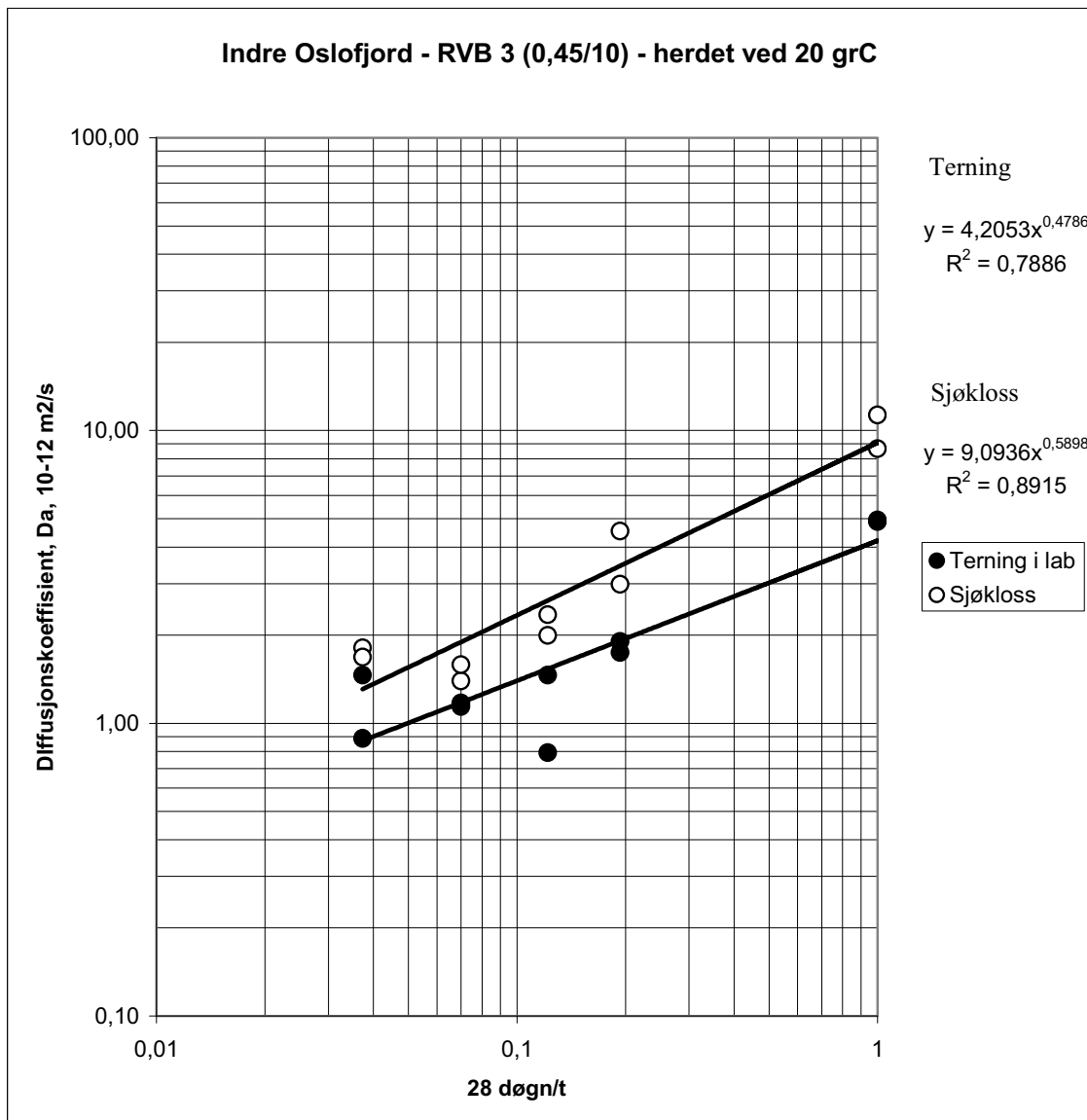
Blanding RVB 3 - herdet ved 20 grC

### Terninger

| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
|-----------|------------------------|----------|--|
| 28        | 156                    | 1        | 4,95                                   |
| 28        | 154                    | 1        | 4,88                                   |
| 145       | 55                     | 0,193103 | 1,74                                   |
| 145       | 60                     | 0,193103 | 1,90                                   |
| 230       | 25                     | 0,121739 | 0,79                                   |
| 230       | 46                     | 0,121739 | 1,46                                   |
| 400       | 36                     | 0,07     | 1,14                                   |
| 400       | 37                     | 0,07     | 1,17                                   |
| 750       | 46                     | 0,037333 | 1,46                                   |
| 750       | 28                     | 0,037333 | 0,89                                   |

### Sjøklosser

| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
|-----------|------------------------|----------|--|
| 28        | 273                    | 1        | 8,66                                   |
| 28        | 356                    | 1        | 11,29                                  |
| 145       | 143                    | 0,193103 | 4,53                                   |
| 145       | 94                     | 0,193103 | 2,98                                   |
| 230       | 74                     | 0,121739 | 2,35                                   |
| 230       | 63                     | 0,121739 | 2,00                                   |
| 400       | 44                     | 0,07     | 1,40                                   |
| 400       | 50                     | 0,07     | 1,59                                   |
| 750       | 57                     | 0,037333 | 1,81                                   |
| 750       | 53                     | 0,037333 | 1,68                                   |



# Vedlegg 18

## Ressursvennlig kvalitetsbetong – Indre Oslofjord

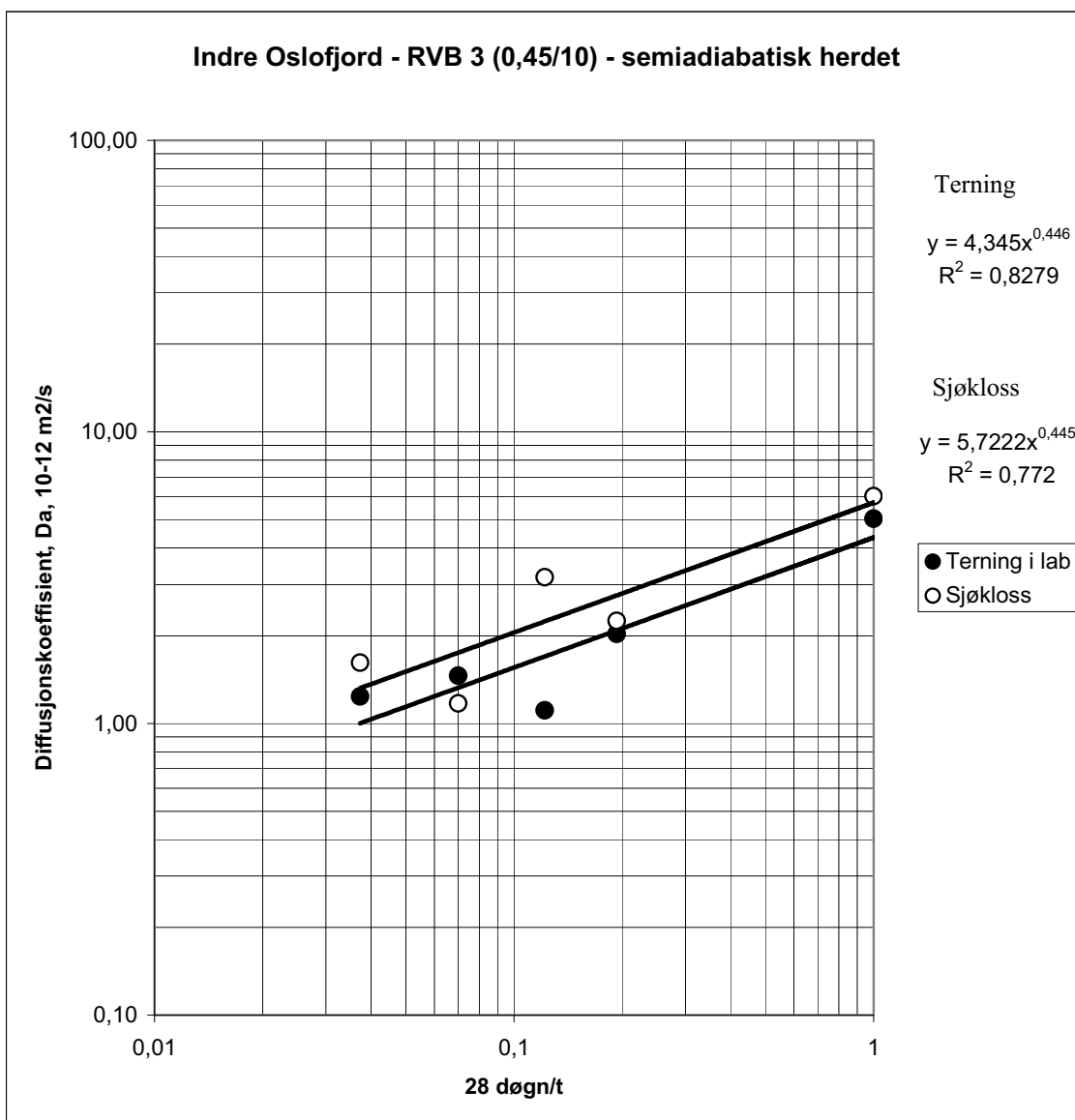
Blanding RVB 3 - herdet semiadiabatisk

Terninger

| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
|-----------|------------------------|----------|--|
| 28        | 159                    | 1        | 5,04                                   |
| 145       | 64                     | 0,193103 | 2,03                                   |
| 230       | 35                     | 0,121739 | 1,11                                   |
| 400       | 46                     | 0,07     | 1,46                                   |
| 750       | 39                     | 0,037333 | 1,24                                   |

Sjøklosser

| Tid, døgn | D, mm <sup>2</sup> /år | 28/t     | D, 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s |
|-----------|------------------------|----------|--|
| 28        | 190                    | 1        | 6,02                                   |
| 145       | 71                     | 0,193103 | 2,25                                   |
| 230       | 100                    | 0,121739 | 3,17                                   |
| 400       | 37                     | 0,07     | 1,17                                   |
| 750       | 51                     | 0,037333 | 1,62                                   |



**SINTEF Building and Infrastructure** is the third largest building research institute in Europe. Our objective is to promote environmentally friendly, cost-effective products and solutions within the built environment. SINTEF Building and Infrastructure is Norway's leading provider of research-based knowledge to the construction sector. Through our activity in research and development, we have established a unique platform for disseminating knowledge throughout a large part of the construction industry.

**COIN – Concrete Innovation Center** is a Center for Research based Innovation (CRI) initiated by the Research Council of Norway. The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and constructions. The primary goal is to fulfill this vision by bringing the development a major leap forward by long-term research in close alliances with the industry regarding advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

