



Tilstandsutvikling for nyere betongbruer

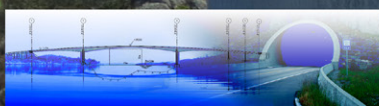
Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 579



Foto: Statens vegvesen



Tittel

Tilstandsutvikling for nyere betongbruer

Undertittel

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

Forfatter

Stig H. Helgestad

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 579

Prosjektleder

Synnøve A. Myren/Bård Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling bruer, betong, bestandighet, kloridinntrengning, levetid

Sammendrag

Rapporten gir et sammendrag av resultater fra felt- og laboratorieundersøkelser som har blitt utført som en del av etatsprogrammet Varige konstruksjoner under aktiviteten – Tilstandsutvikling nyere betongbruer (TB1). Hovedmålet har vært å verifisere hvilken effekt innføringen av betong med masseforhold mindre eller lik 0,40 som kom i 1988 og etter hvert betongspesifikasjonene "SV-30" og "SV-40" fra 1997, samt innføringen av krav til økt overdekning for utsatte konstruksjonsdeler i håndbok 185, har hatt for betongbruers levetid.

Det ble gjennomført undersøkelser av et lite utvalg 10 – 15 år gamle betongkonstruksjoner for å dokumentere kloridinntrengning og andre relevante egenskaper. For de to bruene i undersøkelsen ble det estimert en forventet levetid rundt 100 år, noe avhengig av hvilken modell som ble benyttet. Aktiviteten har bekreftet at innføring av nye betongtyper fra 1988 har hatt stor effekt og samtidig at det økte kravet til prosjektet armeringsoverdekning har vært nødvendig.

Antall sider 54

Dato Oktober 2016

Title

Condition assessment of young concrete bridges

Subtitle

Durable structures 2012-2015

Author

Stig H. Helgestad

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 579

Project manager

Synnøve A. Myren/Bård Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Durable structures, existing bridges, concrete, durability, chloride ion ingress

Summary

The report summarizes results obtained from field survey and laboratory testing, done in the activity State development of younger concrete bridges (TB1), in the R&D programme Durable structures. The main objective has been to verify the effect on durability by the introduction of the requirement of water/binder ratio less or equal to 0.40 from 1988 and later the introduction of concrete specifications "SV-30" and "SV-40" in 1997, but also the introduction of greater required coverage for chloride exposed concrete structures, in handbook 185.

A minor survey on 10 to 15 years old concrete structures was conducted to document chloride ion ingress and other relevant properties. In the study, the two bridges investigated showed an expected lifetime about 100 years, depending of the model used. It was confirmed that the introduction of new concrete specifications in 1988 had a great effect, but at the same time it was confirmed that also an increase in the concrete cover was necessary.

Pages 54

Date October 2016



Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer** som ledes av Bård Pedersen. Prosjektet vil generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Dette vil gi grunnlag for bedre levetidsvurderinger og reparasjonsmetoder. Innenfor områdene hvor det er nødvendig vil det etableres forbedrede rutiner og verktøy for tilstandskontroll- og analyse. Prosjektet vil også frembringe kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader, samt konstruktive effekter av forsterkningstiltak. Prosjektet vil gi viktig input i forhold til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og vil således ha leveranser av stor betydning til Prosjekt 3: Fremtidige bruer.

Rapporten er utarbeidet av Stig Henning Helgestad, Statens vegvesen.

Innhold

1	Innledning.....	3
2	Beskrivelse av prøvingsopplegg.....	4
3	Beregning av kloridprofil.....	5
3.1	Beregning av nå-tilstand, modell/forutsetninger.....	5
3.2	Aldringsfaktor	6
3.3	Beregning av profil etter 50 og 100 år, forutsetninger	7
4	Utvalgte objekter i prosjektet.....	8
4.1	Bakkasundet bru.....	8
4.2	Solavågen fergekai	10
4.3	Stokkøybrua	11
5	Resultater.....	12
5.1	Bakkasundbrua.....	12
5.1.1	Kloridinnhold	12
5.1.2	Akselerert kloridinntrenging	14
5.1.3	Kalsiuminnhold	16
5.1.4	Spesifikk elektrisk motstand	18
5.1.5	Vannmetningsgrad.....	19
5.1.6	Porøsitet	20
5.1.7	Snudd kjerne.....	20
5.2	Solavågen fergekai	23
5.2.1	Kloridinnhold	23
5.2.2	Akselerert kloridinntrengning	25
5.2.3	Kalsiuminnhold	26
5.2.4	Spesifikk elektrisk motstand	28
5.2.5	Vannmetningsgrad.....	29
5.2.6	Porøsitet	29
5.2.7	Snudd kjerne.....	30
5.3	Stokkøybrua	32
5.3.1	Kloridinnhold	32
5.3.2	Akselerert kloridinntrengning	33
5.3.3	Kalsiuminnhold	34
5.3.4	Spesifikk elektrisk motstand	37

5.3.5	Vannmetningsgrad.....	38
5.3.6	Porøsitet	38
6	Tidligere erfaringer	39
7	Diskusjon – hovedfunn.....	42
8	Konklusjoner.....	45
9	Referanser.....	46
	Vedlegg 1 – Rapport fra NBTL.....	47
	Vedlegg 2 – Rapport fra SINTEF Byggforsk.....	48
	Vedlegg 3 – Rapport fra Mannvit.....	49
	Vedlegg 4 – Beskrivelse av laboratorieoppdrag.....	50

1 Innledning

Rapporten gir et sammendrag av resultater fra laboratorieundersøkelser som har blitt utført som en del av etatsprogrammet Varige konstruksjoner under aktiviteten – Tilstandsutvikling nyere betongbruer (TB1).

Statens vegvesen har et stort antall bruer utsatt for meget høy kloridbelastning som følge av plassering langs kysten og dermed utsatt for værhardt marint klima. Kloridinntrengning inn til armeringen fører til korrosjonsskader som nedsetter bæreevnen, øker vedlikeholdskostnadene og forkorter bruens levetid.

Kravene til ny betongspesifikasjon med masseforhold $< 0,40$ (klasse MA) som kom i den reviderte *håndbok 026 Prosesskode 2* i 1988, med ytterligere modifisering og innføring av spesifikasjonene SV-30 og SV-40 fra 1997 var et viktig tiltak for å øke betongbruers motstand mot kloridinntrengning og tilhørende skadeutvikling. I tillegg kom endringer i HB185 Bruprosjektering med krav til økt overdekning for utsatte konstruksjonsdeler. Hovedmålet med aktiviteten i TB1 har vært å verifisere hvilken effekt disse tiltakene har hatt for betongbruers levetid. I 2015 endret Statens Vegvesen nummereringen for håndbøkene, og HB185 heter nå N400, mens HB026 er endret til R762.

Betongspesifikasjonene «SV-30» og «SV-40» oppfyller begge bestandighetsklasse MF40 etter NS-EN 206. Felles for begge var også at nedre grenseverdi for sementinnhold var 350 kg/m^3 . Ved bruk av sement av type CEM 1 skulle andelen silikastøv for «SV-40» ligge mellom 4 til 6 prosent av sementmengden. Tilsvarende for «SV-30» skulle andelen silikastøv ligge mellom 8 til 11 prosent av sementmengden.

Det har blitt gjennomført undersøkelser av et lite utvalg av 10–15 år gamle kloridutsatte betongkonstruksjoner for å dokumentere betongens generelle egenskaper og tilstand. Det var en forutsetning at ingen av de aktuelle betongene hadde blitt påført noen form for impregnering eller hydrofoberingsmidler, men at betongen hadde stått ubehandlet siden byggingen.

Sommeren 2013 ble det utført uttak av prøver fra Bakkasundbrua, som ligger i Austevoll kommune i Hordaland. Senere samme år ble det også tatt prøver fra Solavågen fergekai som ligger i Sula kommune i Møre og Romsdal. I 2014 ble det tatt prøver fra Stokkøybrua. Stokkøybrua ligger i Åfjord kommune i Sør-Trøndelag.

2 Beskrivelse av prøvingsopplegg

For de utvalgte objektene skulle det hentes ut betongprøver ved kjerneboring. For disse skulle det gjennomføres et fast utvalg av analyser. Følgende analyser skulle utføres:

- Måling av kloridinntrengning: Denne analysen var forventet å gi mest informasjon vedrørende tilstanden til konstruksjonen. Verdiene fra analysene skulle benyttes til å vurdere når en kan forvente at armeringskorrosjon vil oppstå.
- Måling av betongens elektriske motstand: Analysen kan gi verdifull informasjon om betongens motstand mot kloridinntrengning. Litteratur har vist en sammenheng både med motstand mot kloridinntrengning samt for korrosjonshastighet.
- Måling av betongens porøsitet: Som ved måling av elektrisk motstand, forteller betongens porøsitet noe om hvor åpen eller tett betongen er. Dette kan være med på å fortelle om betongens bestandighet.
- Måling av akselerert kloridinntrengning: resultatene fra analysen benyttes til å lage et estimat på levetiden for den aktuelle betongen i forhold til når armeringskorrosjon vil oppstå.
- Måling av kalsiuminnhold: Analysen ble utført for å kunne beregne mengde sement i betongen. Med denne informasjonen kan kloridprofilen uttrykkes som funksjon av sementmengde.
- Måling av vannmetningsgrad: Analysen kan fortelle om hvordan fuktbelastningen er på konstruksjonen, og spesielt gi informasjon om LO/LE soner.

Analysemetodene er beskrevet mer detaljert i Vedlegg 4 – Beskrivelse av laboratorieoppdrag. Under prøveuttakene ble det laget noen prøver fra kjernene hvor innerste del av kjernen ble kappet av og montert tilbake i prøvehullet, slik at denne flaten hadde vært upåvirket av kloridioner fra sjøvann. Etter omtrent 2 år ble prøvestykkene hentet ut og tatt inn til fresing for å kunne bedømme kloridinntrengingen under disse forholdene.

3 Beregning av kloridprofil

3.1 Beregning av nå-tilstand, modell/forutsetninger

Beregninger av fremtidig kloridinntrengning er et viktig hjelpemiddel for å kunne anslå når det kan forventes at armeringen i betongkonstruksjonen begynner å korrodere. Levetiden til betongkonstruksjonen er noe lengre enn at armeringen begynner å korrodere, men dette avhenger igjen av forutsetningene som gjelder når korrosjonen har startet. Et godt eksempel på dette er armeringskorrosjon av karbonatisering, denne gir en langsom nedbrytning av armeringsjernet. I motsatt tilfelle er korrosjon forårsaket av kloridioner, hvor pitting korrosjon eller groptæring kan oppstå. Dette er et fenomen hvor kun en liten del av armeringen korroderer, og hvor prosessen forløper vesentlig raskere, med reduksjon av armeringstverrsnittet til brudd i jernet er en realitet. Det er flere mekanismer som er med å styrer korrosjonshastigheten, blant annet vil høy resistivitet av betongen være med å redusere korrosjonshastigheten, mens fukt, temperatur og tilgang til oksygen er andre parametere som har betydning.

Til å beregne hvordan kloridionene trenger inn i betongen benyttes Ficks 2 lov. Loven baserer seg på at transporten av ionene skyldes diffusjon. De målte kloridkonsentrasjonene plottes mot avstand fra den eksponerte flaten, og til målepunktene må en kurve tilpasses ved hjelp av regresjonsanalyse. Modell for beregning av kloridinntrengning er:

$$C_{Cl} = C_s - (C_s - C_{bkg}) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{0,001 \cdot d(\text{mm})}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t(s)}}\right)$$

Hvor:

C_{Cl} – er kloridkonsentrasjon i sjiktet/dybden d , målt i % av betongvekt

C_s – er overflatekonsentrasjonen av kloridionene, målt i % av betongvekt

C_{bkg} – bakgrunnskonsentrasjonen av kloridioner i betongen, målt i % av betongvekt

erf – feilfunksjon

d – dybde/inntrengningsdybde fra overflaten målt i millimeter

D – diffusjonskonstant, m^2/s

t – tid, eksponeringstid, målt i sekunder

De fleste av disse verdiene er målte verdier, og av regresjonsanalysen finner en overflatekonsentrasjonen (C_s) samt klorid diffusjonskoeffisienten (D).

3.2 Aldringsfaktor

Når betongen prøves ved akselerert kloridinntrengning benyttes det betongprøver som ikke tidligere har blitt eksponert for klorider. Prøvestykkene i testen senkes ned i en NaCl-løsning med konsentrasjon på 165 ± 1 g pr. liter destillert vann. Prøvestykkene skal ligge i NaCl-løsningen i minst 35 døgn og maksimalt 40 døgn. Som i 3.1 plottes måleresultatene som kloridkonsentrasjon av betongvekt som funksjon av inntrengningsdybde. På samme måte kan en også da beregne overflatekonsentrasjon (C_s) og den tilhørende klorid-diffusjonskoeffisienten (D). Disse verdiene kan ikke uten videre benyttes til å beregne den fremtidige kloridinntrengningen. Kloriddiffusjonskoeffisienten er en parameter som utvikler seg over tid. Hellan (2001) viser til forsøk der det er en lineær sammenheng mellom alder på betongen og diffusjonskoeffisienten når dette plottes i et dobbelt logaritmisk koordinatsystem. Ved akselererte forsøk er følgende modell angitt:

$$D(t) = D_0 \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^\alpha$$

Hvor:

$D(t)$ – potensiell klorid diffusjonskoeffisient

D_0 – kloriddiffusjonskoeffisient funnet ved akselererte forsøk

t_0 – alder ved akselerert prøving

t – herdetid av betongen før den utsettes for akselerert forsøk

α – aldringsfaktor som avhenger av to faktorer; forbedring på grunn av økende hydratiseringsgrad av sementen og en dertil tettere betong, samt en gradvis blokkering av overflatesjiktet til betongen på grunn av ionebytte.

Fra tidligere forskningsprogram «Kloridbestandig betong fase II» på Anleggssement ble det funnet en alfaverdi på 0,52. Denne verdien har blitt benyttet til utregningene i rapporten.

I forsøkene der diffusjonskoeffisienten både fra akselererte forsøk, snudd kjerne og fra uttakene i felt ble funnet, var det mulig å utføre beregninger av aldringsfaktoren. Følgende beregninger ble benyttet til dette:

Sammenhengen $(D^*_{akselerert} - D_{akselerert})^2 + (D^*_{snudd} - D_{snudd})^2 + (D^*_{felt} - D_{felt})^2$ skulle oppfylle lavest mulig verdi, for å finne best mulig kurvetilpasning til punktene. Forutsetningene i regresjonsanalysen var at alfa kunne være en verdi mellom 0,3 og 1,0, to kunne være mellom 28 og 90 døgn, og at $D^*_{akselerert}$ kunne avvike 20% fra verdien funnet for $D_{akselerert}$.

D_{snudd} var diffusjonskoeffisienten funnet etter felteksposeringen i rundt 2 år, mens D_{felt} var diffusjonskoeffisienten funnet fra felteksposeringen etter 7 år for Solavågen fergekai og 14 år for Bakkasundet bru.

3.3 Beregning av profil etter 50 og 100 år, forutsetninger

I beregningene må det gjøres en avveining om hvilke av målepunktene som tas med i beregningene og hvilke som utelukkes. Normalt vil enkelte av målepunktene i overflatesjiktene ikke kunne følge kurvetilpasningen, da flere forhold gjør at disse avviker. Avrenning på betongoverflaten på grunn av regnvann er typisk en av effektene som vil påvirke hvordan kloridioner vil kunne akkumuleres i yttersjiktet, eller om de vaskes vekk. For akselererte forsøk hvor prøvestykkene er konstant neddykket, vil man få en jevnere profil fra overflaten. Av kurvetilpasningen vil verdiene for overflatekonsentrasjon (C_s) og diffusjonskoeffisienten (D) bli beregnet. Verdiene benyttes videre, og ved å velge eksponeringstid/fremtidig eksponering kan kloridkonsentrasjonen i ulike dybder i betongen beregnes.

Tidspunktet når armeringskorrosjon oppstår avhenger av flere faktorer. I følge Angst et al. (2009) finnes det ingen absolutt verdi hvor en med sikkerhet kan si at korrosjonen har startet. I rapporten er det valgt å trekke en linje ved 0,07 % kloridkonsentrasjon av betongvekt. Denne verdien er valgt som kritisk kloridkonsentrasjon, da det av erfaring er høy sannsynlighet for at armeringskorrosjon vil ha oppstått ved dette nivået.

4 Utvalgte objekter i prosjektet

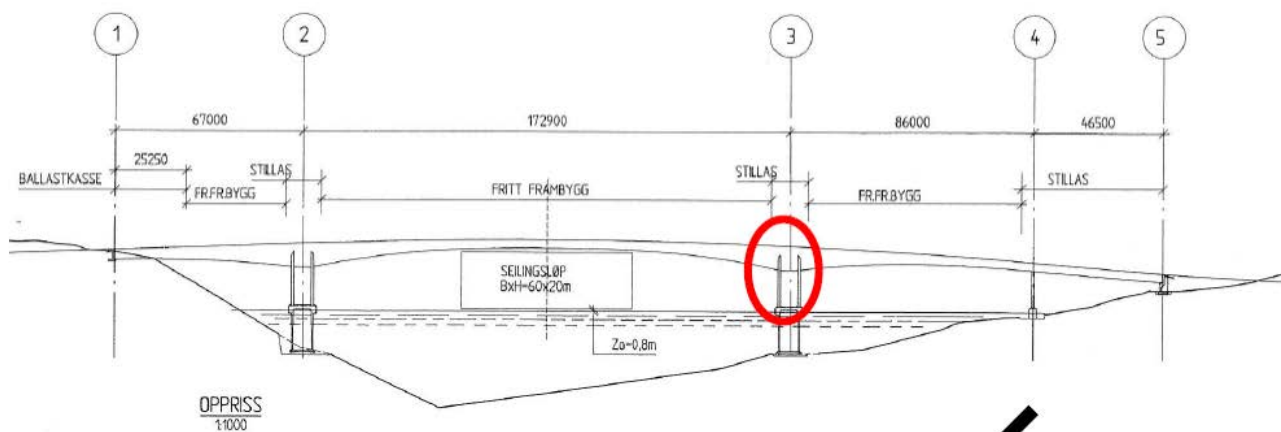
4.1 Bakkasundet bru

Bakkasundet bru ble bygget i 1997–98 og ble åpnet for trafikk 01.01.1999. Brua ligger i et værhardt kyststrøk og danner forbindelsen mellom Navøya og Spissøya i Austevoll kommune i Hordaland. Brua er ei fritt-frembygg bru på totalt 373,4 meter hvor lengste spenn er 172,9 meter. De fleste støpeoperasjonene ble utført i 1998. NCC Eeg Henriksen var entreprenør og betongleverandør. Entreprenøren rigget et mobilt blandeverk for all produksjon til Spissøy-, Nautøy- og Bakkasund bru. Blandeverket hadde godkjenning klasse A1 av Kontrollrådet for Betongprodukter. Blanderen på blandeverket hadde en kapasitet på 1 m³, tvangsblender med automatisk styringssystem for innveiling av alle delmaterialer. Tilslag ble lagret utendørs i binger. Det var ikke tak over tilslaget, men støpt plate under. I siloene på blandeverket kunne tilslaget varmes opp, dette ble gjort etter behov. Det ble benyttet tre betongresepter, hhv. C45 SV40, C55 SV40 og C65 SV40. Disse ble benyttet som følger:

C45 SV40: Landkarene på hver side. (landkar akse 5 er i C55 ifl kontrollplan, det samme gjelder vognene rundt akse 2)

C55 SV40: Hele brua, med unntak av landkar og de første seks vognene til hver side på akse 2 og 3.

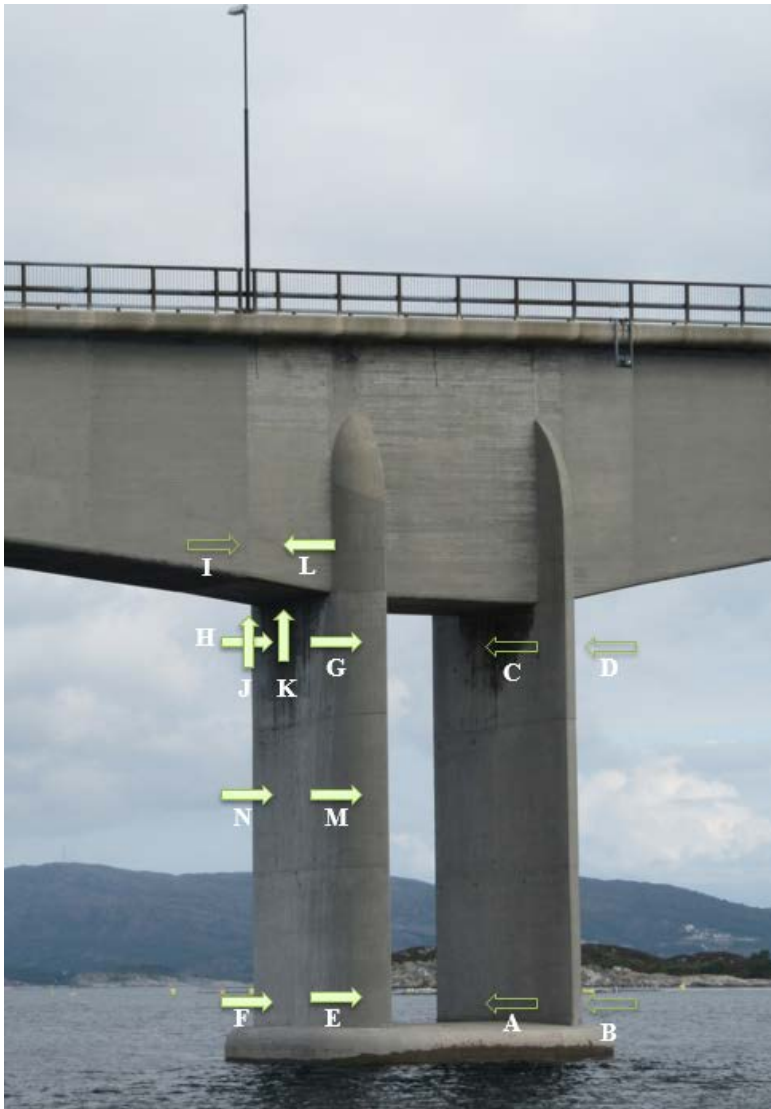
C65 SV40: De første seks vognene til hver side på akse 2 og 3 på brua.



Figur 4-1: Profil av Bakkasundbrua.

Informasjon fra betongblanderiet viser at Norcem Anleggssement ble benyttet som sement i alle reseptene.

Prøveuttakene fra brua ble konsentrert i området rundt den doble «skive-pilaren» i akse 3 – både på pilarene og brukassen. Dette ble gjort for å forenkle prøveuttak (lift). Prøver fra følgende 12 lokaliteter var planlagt tatt ut:



Figur 4-2: Grov plassering av prøveuttak – akse 3, sett mot nord.

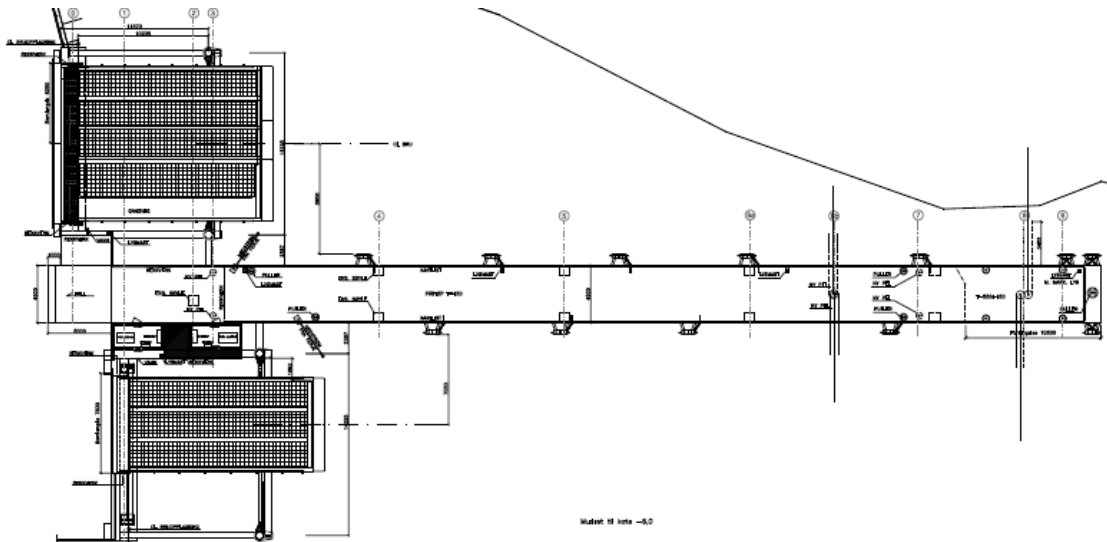
Tabell 4-1: Planlagte prøveuttak for Bakkasundbrua.

Lavt på pilar vest, lo side - E	Lavt på pilar øst, lo side - B	Brukasse, steg lo side - L
Lavt på pilar vest, le side - F	Lavt på pilar øst, le side - A	Brukasse, steg le side - I
Høyt på pilar vest, lo side - G	Høyt på pilar øst, lo side - D	Brukasse, underside mot lo - K
Høyt på pilar vest, le side - H	Høyt på pilar øst, le side - C	Brukasse, underside mot le - J

På grunn av utfordringer ved uttakene ble uttak i lokalitet D, J og K ikke utført.

4.2 Solavågen fergekai

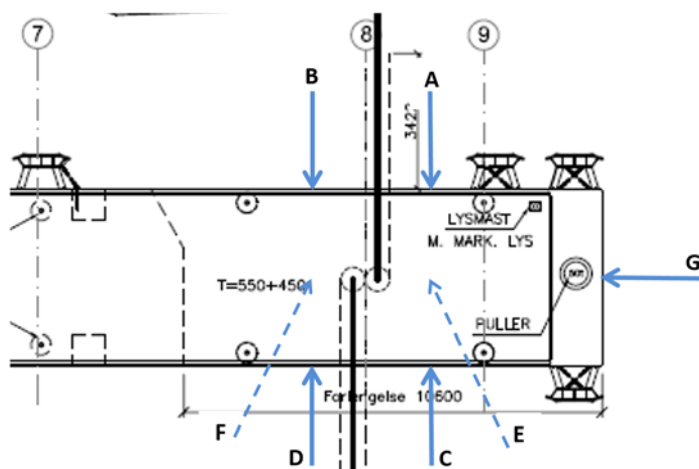
Solavågen fergekai ligger i Sula kommune i Møre og Romsdal. Fergekaia ble tatt i bruk allerede i 1977, men ble utvidet i 2006. Kaia ble forlenget 10.6 meter, og det ble i tillegg støpt et nytt dekke på 450 mm oppå eksisterende dekke. Betongstøpingen ble inndelt i fire operasjoner. 09.03.06, 85m³, de første 35 meter av nytt dekke på pir. 21.03.06, 69m³, mellomparti pir. 18.05.06, 40m³, bunnlag ytterst på pir (forlengelsen) og 24.05.06, 48m³, topplaget ytterst på pir. Det ble benyttet SV40 - C55 betong med Norcem Anleggssement i alle støpene.



Figur 4-3: Tegning av Solavågen fergekai.

Utførende for betongstøp var A. Våge AS, Bygg og Anleggsentreprenør.

Uttakene ble konsentrert fra den ytre del av kaia og første/nederste støp, støpt 18.05.06. Det ble tatt prøver fra 7 lokaliteter, en i front av kai (G, sentrert), to uttak under (sentrert, 4(E) og 7(F) meter fra front), samt to uttak på hhv LO(A,B) og LE(C,D) side, omtrent 4 og 7 meter fra front av kai.

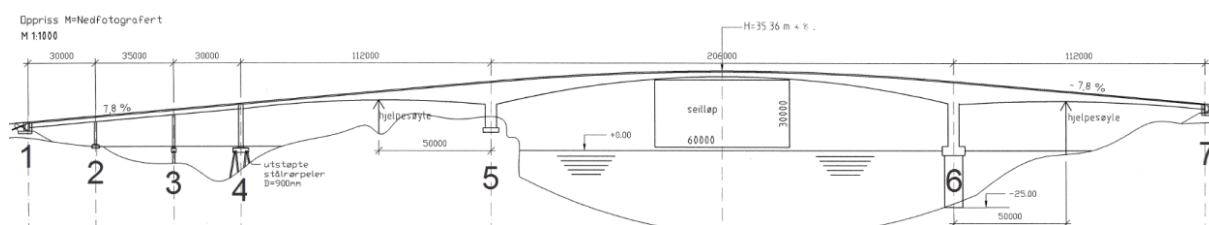


Figur 4-4: Skisse av prøveuttak.

4.3 Stokkøybrua

Stokkøybrua ble bygd i 2000 og ligger på Rv723 som eneste fastlandsforbindelse for Stokkøya. Brua ligger i værhardt kyststrøk i Åfjord kommune. Brua er kontinuerlig over 6 spenn fra akse 1 til akse 7. Fra akse 1 til akse 4 er brua bygd som kassebru med konstant høyde og vertikale vegger. Fra akse 4 til akse 7 er det fritt-frembygg bru med vertikale vegger. Spennviddene i kassebrua fra akse 1 til 4 er 30 m – 35 m – 30 m, mens spennene for fritt-frembygg delen fra akse 4 til 7 hhv 112 m – 206 m – 112 m. Total brulengde er 525 m og bredden er 9,1 m. Seilløp mellom akse 5 og akse 6 er 60 m bredt og 30 m høyt.

Landkar, pilarer og overbygning er utført i betong. Kasse og fritt-frembygg-bru er spennarmert. Fundamenter er støpt på fjell med unntak av fundament i akse 4 og akse 6. Fundament i akse 4 står på utstøpte stålørspeler, mens fundament i akse 6 er senkekasse i betong som står på fjell på kote 25,0 m.



Figur 4-5: Profiltegning av Stokkøybrua.

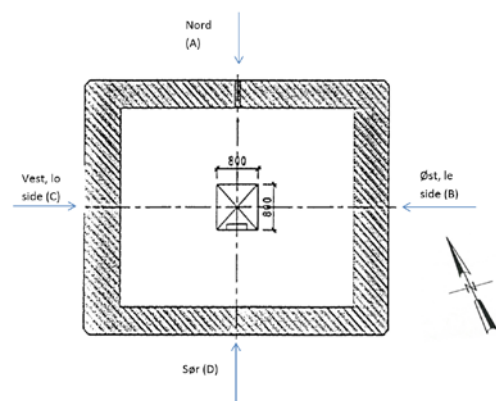
Det ble benyttet tre betongresepter, hhv. C45 SV40, C55 SV40 og C55 SV30, som var fordelt som følger:

C45 SV40: Landkarene i akse 1 og 7, fundament og søylene i akse 2, 3 og 4, fundament akse 5

C55 SV40: Overbygning viadukt og overbygning FFB-bru

C55 SV30: Fendertopp akse 6, søyle i akse 5, søylevegger i akse 6

Betongen ble levert av Anleggsbetong AS, som hadde et mobilt blandeverk satt opp for prosjektet. Til prosjektet ble det benyttet Norcem Anleggssement. Prøveuttakene er tatt 1,5 meter opp fra fendertopp i akse 6, sentrert på hver av sidekantene til søylen.



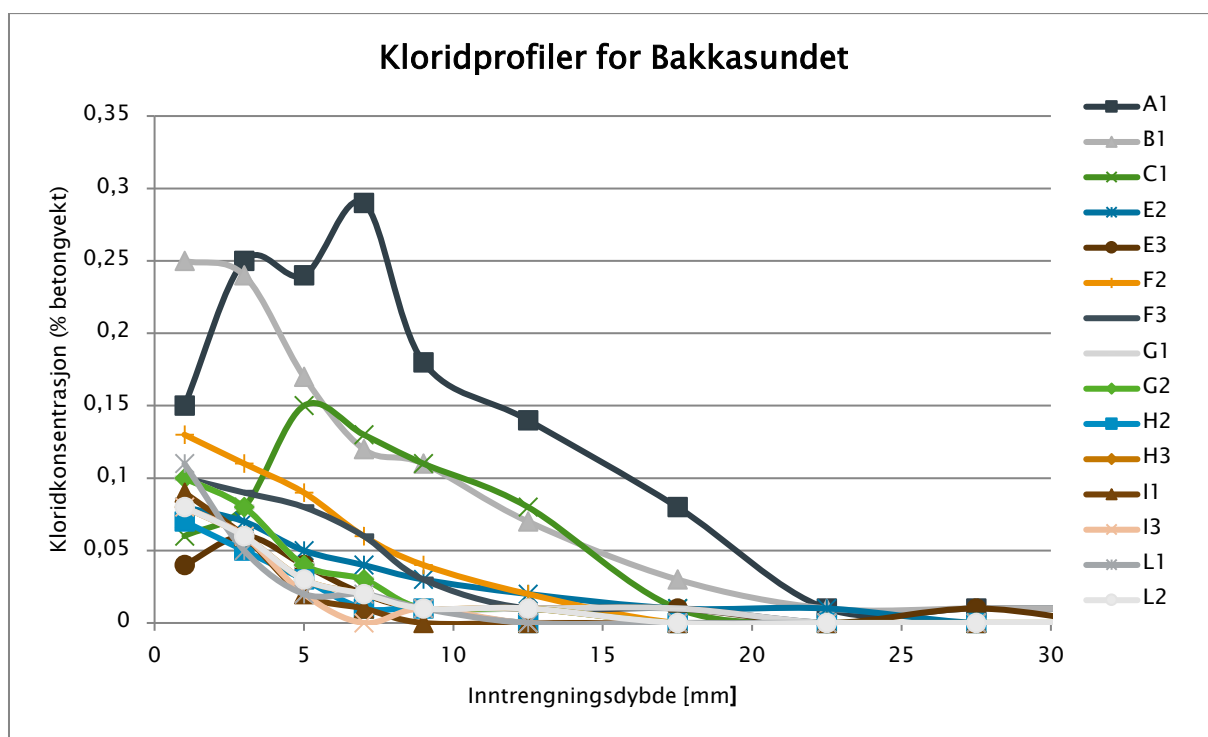
Figur 4-6: Prøveuttak for søyle i akse 6.

5 Resultater

5.1 Bakkasundbrua

For analysene av kjerneprøvene fra Bakkasundbrua ble det utlyst en tilbudskonkurranse på rammeavtalen: «laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FoU», avrop 14. Valgt tilbyder ble NBTL (Norsk betong- og tilslagslaboratorium AS), hvor COWI utførte selve analysene. Sentrallaboratoriet i Statens vegvesen freste støvet for kloridanalysene grunnet fremdriftshensyn. Rapporten er gitt i Vedlegg 1 - Rapport fra NBTL.

5.1.1 Kloridinnhold



Figur 5-1: Målte kloridprofiler fra Bakkasundbrua. A - lavt på pilar øst, le side. B - lavt på pilar øst, lo side. C - høyt på pilar øst, le side. E - lavt på pilar vest, lo side. F - lavt på pilar vest, le side. G - høyt på pilar vest, lo side. H - høyt på pilar vest, le side. I - brukasse, steg le side. L - brukasse, steg lo side.

Av grafene kommer det frem at inntrengningen av kloridioner har vært størst i områdene A, B og C. Dette tilsvarer «lavt på pilar mot øst - le side (A)», «lavt på pilar øst - lo side (B)» og «høyt på pilar øst - le side (C)»

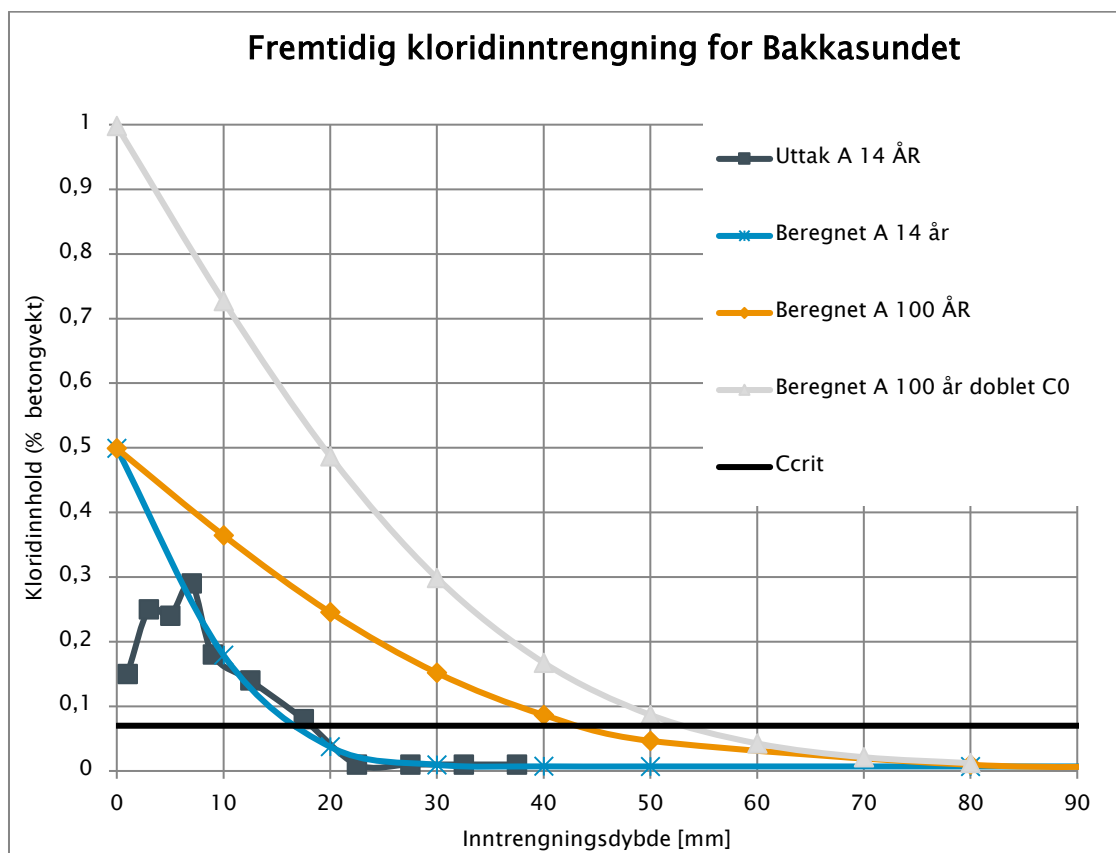
Basert på kloridprofilene er diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner beregnet, se Tabell 5-1.

Tabell 5-1: Beregnede diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner fra kloridprofilene.

Serie	Overflatekonsentrasjon % av betongvekt	Diffusjonskoeffisient m ² /s
A	0,499	0,130 · 10 ⁻¹²
B	0,283	0,099 · 10 ⁻¹²
C	0,207	0,194 · 10 ⁻¹²
E	0,078	0,066 · 10 ⁻¹²
F	0,141	0,062 · 10 ⁻¹²
G	0,103	0,052 · 10 ⁻¹²
H	0,073	0,051 · 10 ⁻¹²
I	0,077	0,060 · 10 ⁻¹²
L	0,082	0,055 · 10 ⁻¹²

Disse verdiene har så blitt benyttet til å kunne beregne hvordan den fremtidige inntrengingen av kloridioner vil bli. Utgangspunktet er tatt i prøveuttaket hvor inntrengingen er størst, for å kunne estimere når en tidligst vil kunne forvente begynnende armeringskorrosjon. I dette tilfellet er uttaket i punkt A valgt. Kurvetilpassing til de målte verdiene ga overflatekonsentrasjon (C_s) av klorider på 0,50 % av betongvekt. Klorid-diffusjonskoeffisienten (D) beregnet i samme serie ble $0,13 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Eksponeringstiden var fra juni 1998 til juni 2013, som tilsvarer ca. 5479 døgn. Beregnet fremtidig

kloridinntrenging er vist i Figur 5-2. Det er benyttet konstant D over hele tidsperioden, fra 14 til 100 år.



Figur 5-2: Beregnet fremtidig kloridinntrenging i uttak A for to ulike kloridkonsentrasjoner.

Etter 14 år har kloridnivået passert kritisk kloridnivå rundt 18 mm inn i konstruksjonen. Etter 100 år, viser beregningen at dette nivået har flyttet seg inn til vel 40 mm. Denne beregningen er basert på at kloridkonsentrasjonen er konstant over tiden. Av tidligere erfaring kan en forvente at kloridkonsentrasjonen i ytersjiktene øker med tiden (Skjølvold, 2011). En fordobling fra 14 til 100 år kan være en sannsynlig økning. Dersom en tar med en fordobling av overflatekonsentrasjonen etter 100 år, vil det kritiske kloridnivået ha kommet inn til nær 55 mm. Beregnede kloridprofiler for begge kloridkonsentrasjonene er vist i Figur 5-2. Overdekningen 1,5 meter opp fra fendertopp ble ved prøveuttak målt til å ligge mellom 70 – 80 mm. Prosjektert overdekning var $60 + 15 = 75$ mm, altså en beregningsmessig minimumsoverdekning på 60 mm.

5.1.2 Akselerert kloridinntrenging

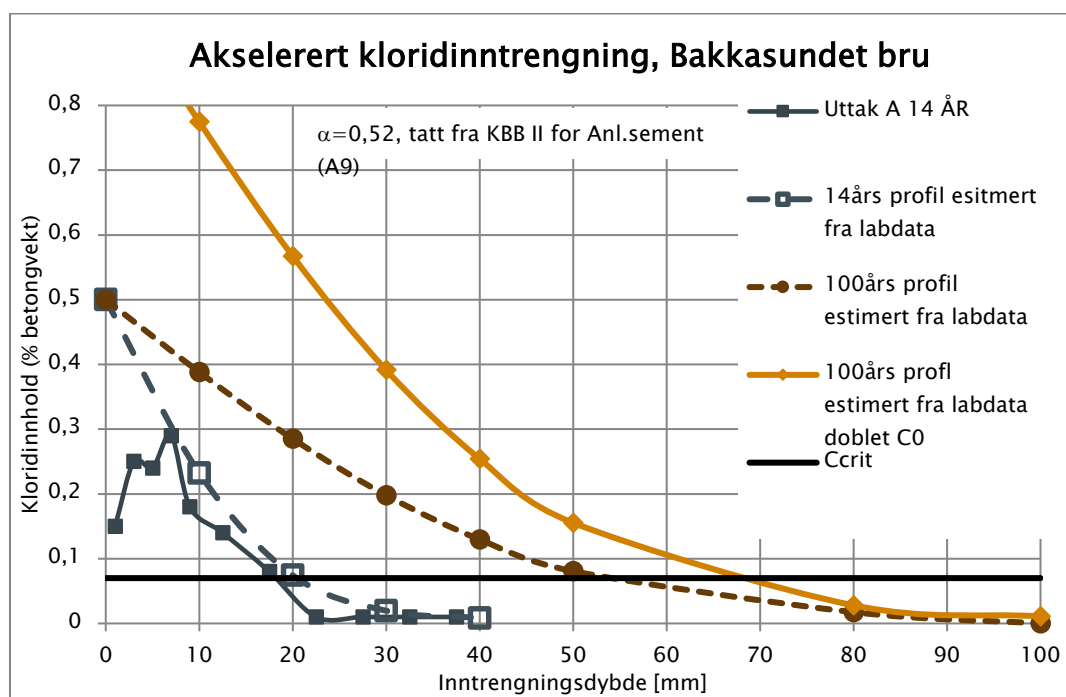
For tre prøvestykker fra hver utvalgte serie ble det gjennomført akselerert kloridinntrenging. I Tabell 5-2 er gjennomsnittsverdiene fra disse seriene oppsummert med

overflatekonsentrasjon, bakgrunnskonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for de ulike seriene.

Tabell 5-2: Gjennomsnittsverdier fra akselerert kloridinntrengning.

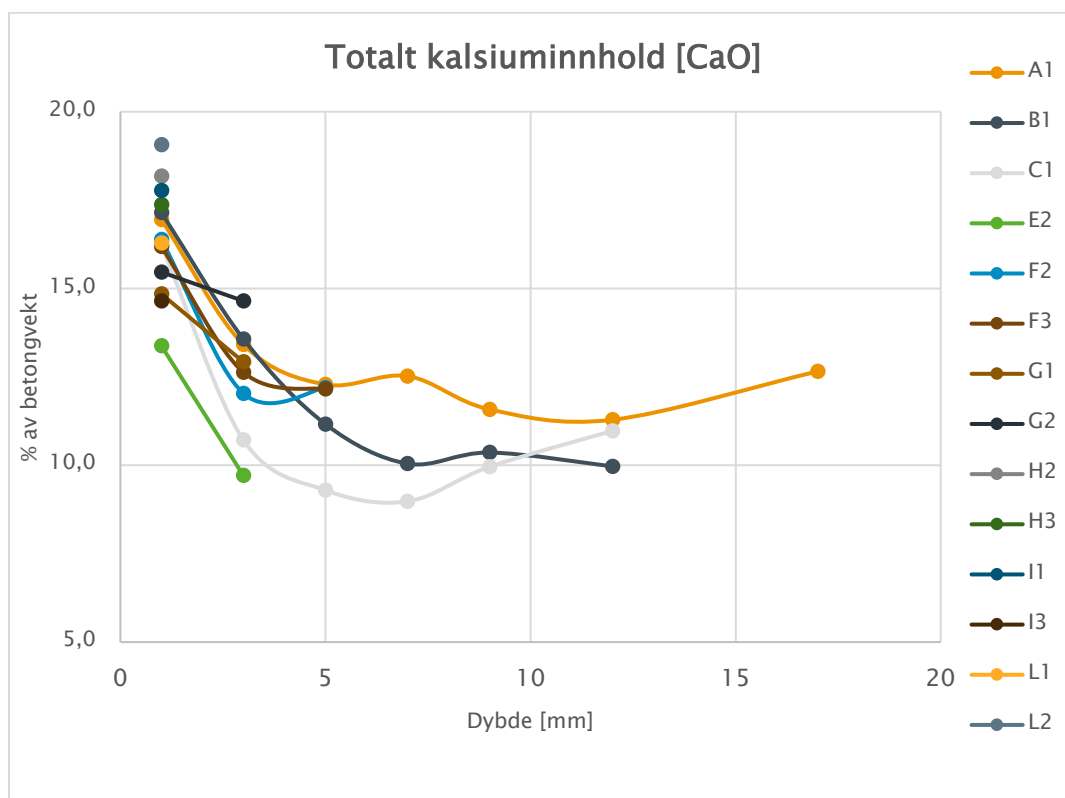
	Overflatekonsentrasjon	Bakgrunnskonsentrasjon	Diffusjonskoeffisient
Serie	% av betongvekt	% av betongvekt	m ² /s
E	0,780	0,006	$3,39 \cdot 10^{-12}$
F	0,865	0,003	$2,15 \cdot 10^{-12}$
G	0,821	0,006	$2,08 \cdot 10^{-12}$
I	0,890	0,006	$2,43 \cdot 10^{-12}$
L	0,832	0,005	$4,25 \cdot 10^{-12}$

Resultatene fra akselerert prøving er vist sammen med data fra uttak A fra felt. Beregnet profil ligger i dette tilfellet noe høyere enn målt verdi. Dersom vi benytter samme fremgangsmåte som tidligere for å estimere kloridinntrengning etter 100 år, vil en ved doubling av overflatekonsentrasjonen gi et kloridinnhold over antatt kritisk nivå helt inn til 70 mm dybde.



Figur 5-3: Beregnet fremtidig kloridinntrengning basert på måledata fra akselerert prøving.

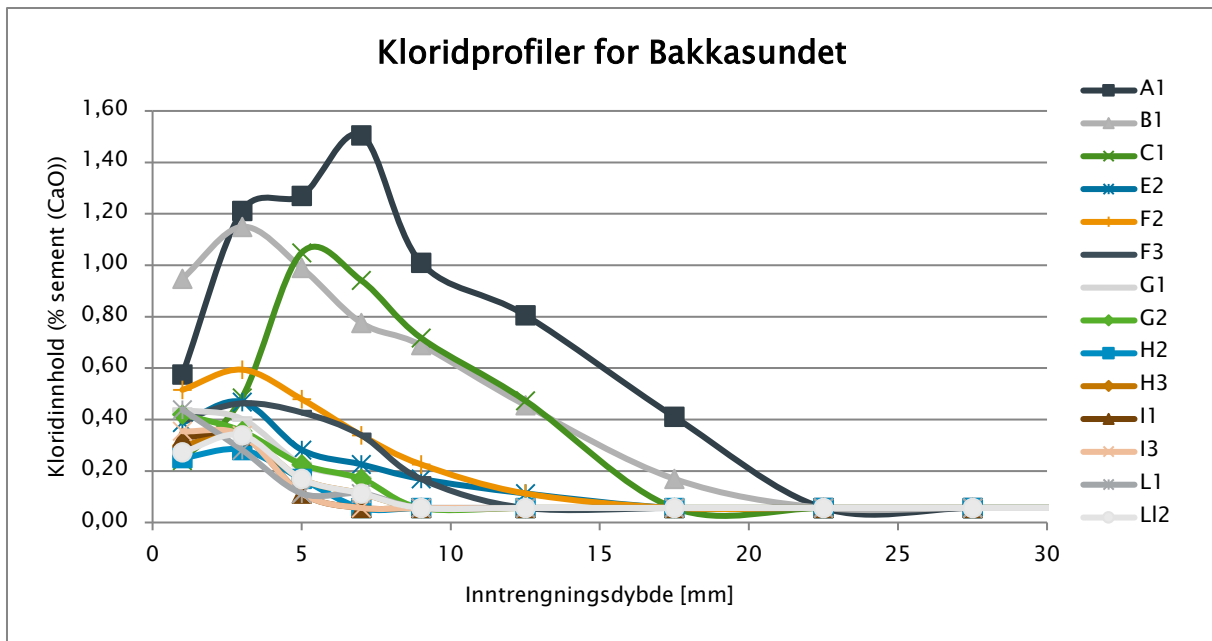
5.1.3 Kalsiuminnhold



Figur 5-4: Målt kalsiuminnhold i betongen i forhold til avstand fra overflate.

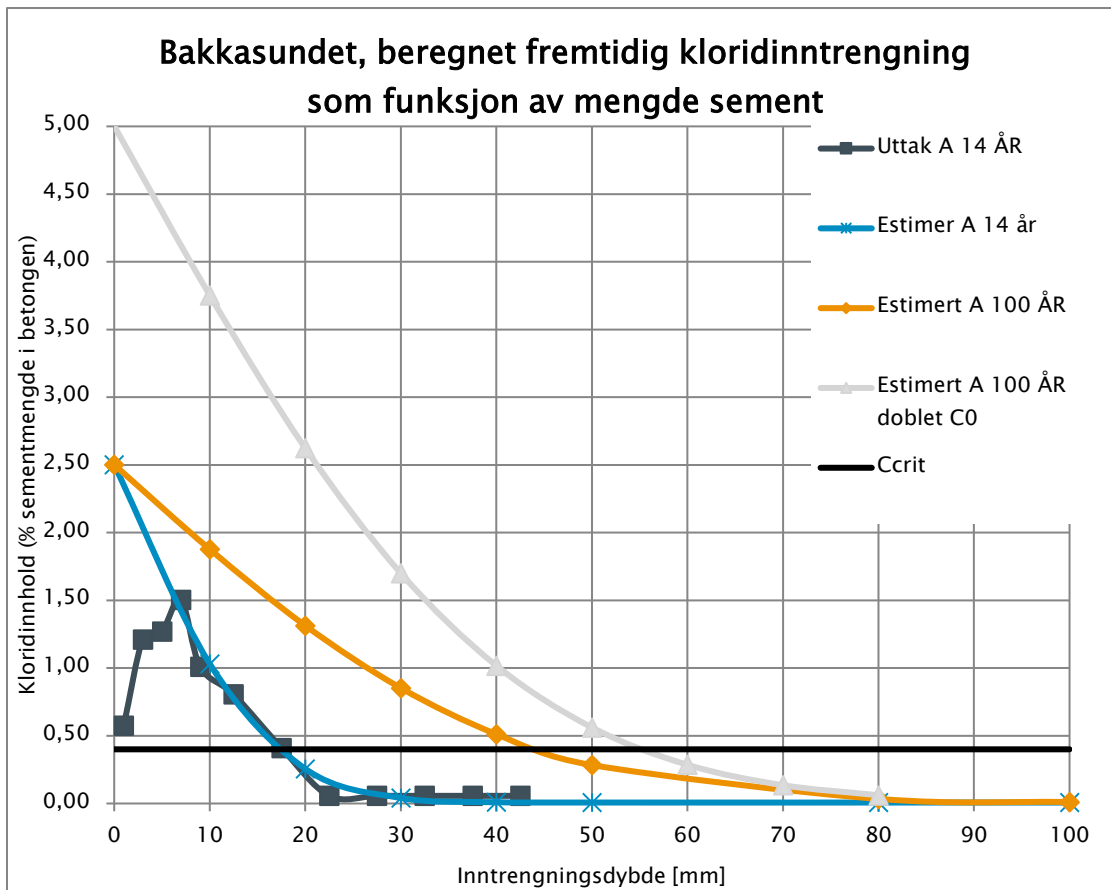
Analysen viser en større andel kalsium i yttersjiktet. Støpe huden som dannes mot forskalingen er normalt noe mer pastarik. Gjennomsnittet for de ytterste to millimeterne er på 16,4 %, mens en snittverdi for målingene innenfor dette er på 11,5 %.

For å beregne andelen sement i betongen/sjiktene, ble det benyttet informasjon fra sementleverandør. Siden det i alle prosjektene var benyttet Norcem anleggssement, skal innholdet av CaO for denne være på rundt 65%. Prosentandel sement i betongen kan da anslås til ca. 17,7 %. Målt gjennomsnittlig egenvekt til betongen var oppgitt til 2365 kg/m³, som tilsvarer 418 kg sement per kubikk betong. I resept var det oppgitt en sementandel på 409 kg pr kubikk betong.



Figur 5-5: Målt kloridinntrengning plottet som kloridinnhold i prosent av beregnet sementmengde.

Beregning av kloridinntrengning kan også utføres der en i stedet for prosent av total betongvekt plottes kloridinnholdet som prosent av sementen mot inntrengningsdybden. På samme måte benyttes beregningen med Ficks 2. lov og regresjonsanalyse for å finne best mulig kurvetilpasning. I Figur 5-6 vises beregnede inntrengningsprofiler for område A. Kritisk kloridkonsentrasjon tilsvarer nå 0,4 % av bindemiddelet. Med en overflatekonsentrasjon på 2,5 % vil nivået med kloridmengde over kritisk kloridkonsentrasjon etter 100 år bli 43 mm. Dersom overflatekonsentrasjonen dobles, vil dette nivået strekke seg helt inn til 55 mm.



Figur 5-6: Beregnet fremtidig kloridinntrengning i område A, i forhold til mengde sement, estimert fra målt kalsiuminnhold.

5.1.4 Spesifikk elektrisk motstand

I forbindelse med akselerert kloridinntrengning, ble det tildannet et antall prøvestykker med høyde 50 mm. Disse ble også målt for elektrisk motstand.

Spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) ble deretter beregnet etter følgende formel:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

Hvor:

R = målt elektrisk motstand i Ω

A = prøvestykkets tverrsnittsareal i m^2

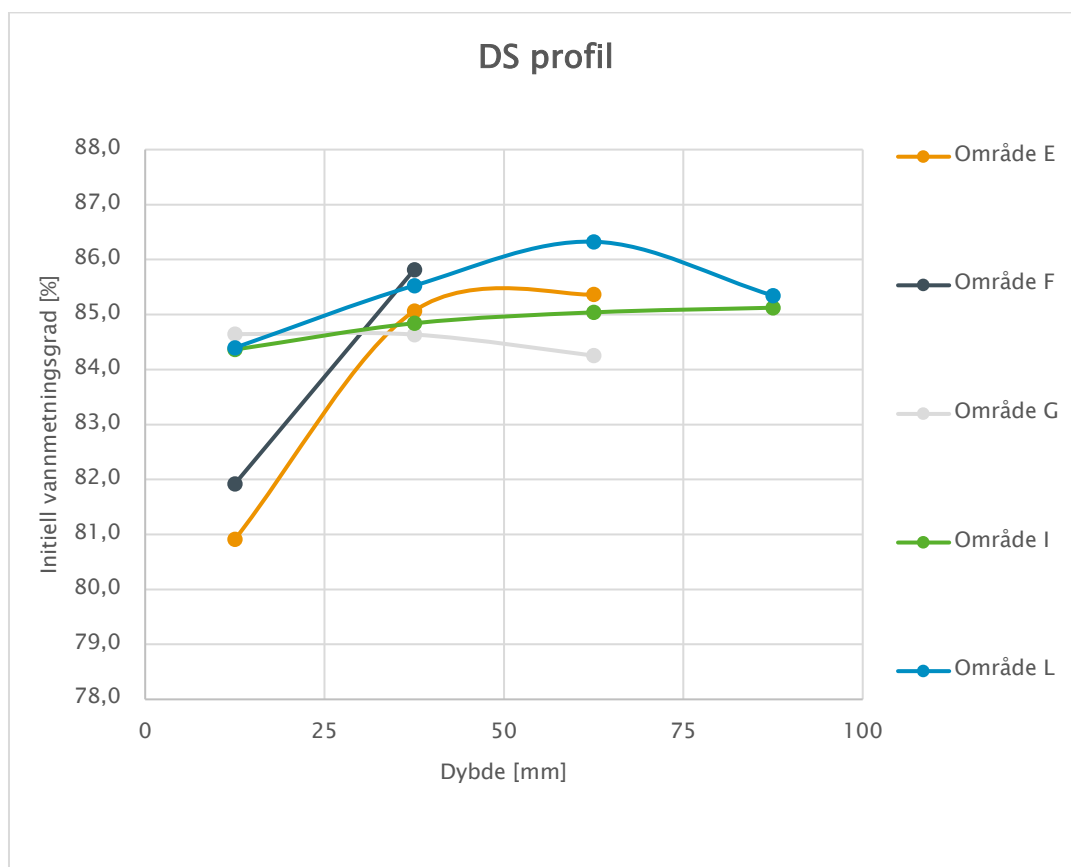
l = avstanden mellom prøvestykkets måleflater i m

Tabell 5-3: Beregnede verdier av resistivitet.

	Initiell resistivitet	Resistivitet etter lagring i $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Resistivitet etter 35 døgn i NaCl løsning
Serie	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
E	482	196	319
F	427	180	216
G	453	195	232
I	434	207	275
L	335	130	197

Høyere vannmetning i betongen vil gi en høy ledningsevne og derav lav elektrisk motstand. Unntakene vil være dersom betongen blir utvasket og mister oppløste ioner.

5.1.5 Vannmetningsgrad



Figur 5-7: Vannmetningsgraden (DS = Degree of saturation) i betongen målt fra overflaten i 25 mm sjikt innover.

Figuren viser hvordan vannmetningsgraden varierer fra ytterflaten og innover. Hvert sjikt tilsvarer en dybde på ca. 25 mm. Prøveuttakene er både fra søylene (E, F og G), og brukassen (L og I). Til tross for et begrenset prøveuttak er verdiene relativt sammenfallende rundt 85 -

86 %. Det forventes en mer lik vannmetningsgrad innover i betongen. Lavest vannmetningsgrad finnes i yttersjiktene på søylen (E og F), nederst mot fendertopp. En forklaring på disse lavere verdiene kan være at områdene er mer utsatt for vind og derav uttørking.

5.1.6 Porøsitet

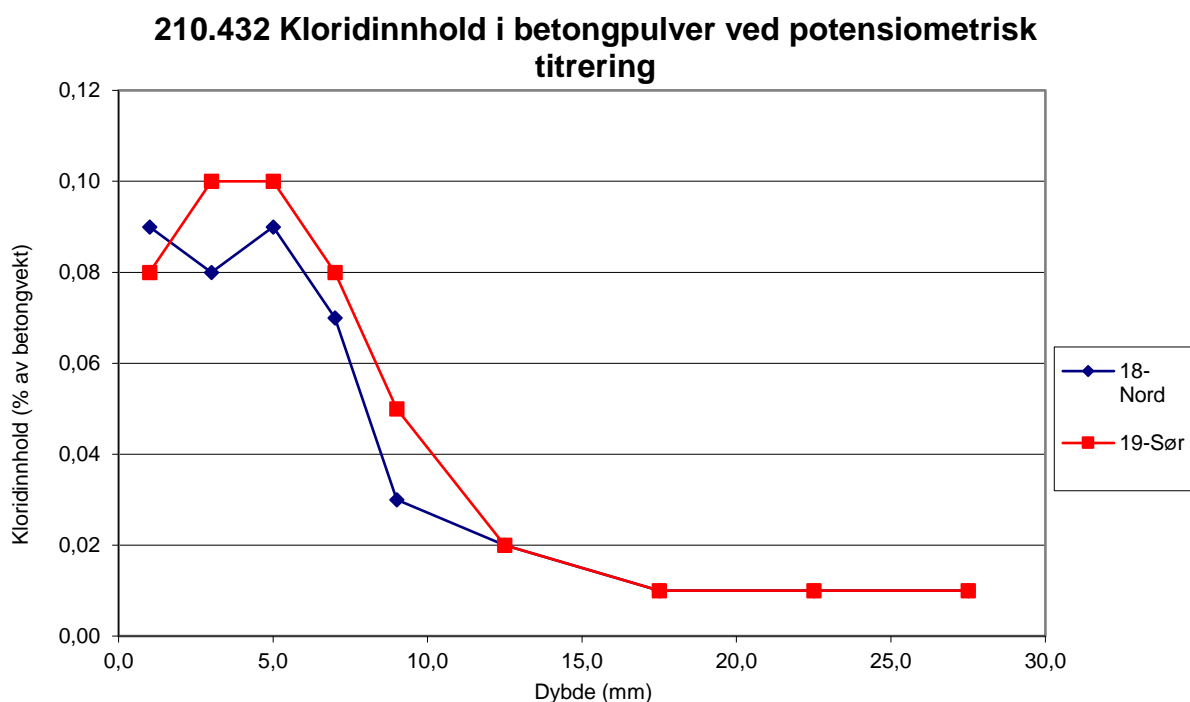
Tabell 5-4: Målte verdier av densitet og porøsitet.

	Tørrdensitet	Faststoffdensitet	Sug porøsitet	Makro porøsitet	Total porøsitet
Prøveserie	kg/m ³	kg/m ³	Vol %	Vol %	Vol %
E	2230	2659	14,3	1,8	16,1
F	2187	2658	15,4	2,4	17,7
G	2227	2660	14,6	1,7	16,3
I	2251	2663	13,1	2,4	15,5
L	2329	2700	12,3	1,5	13,7

Betongen fra brukassen har en noe høyere densitet enn for søylene. Sugporøsiteten er også noe lavere for betongen fra brukassen, dette kan ha en sammenheng med at betongkvaliteten var høyere. Den lave makroporøsiteten skulle tyde på at betongen ikke har vært luftinnført. Likevel er dette lite sannsynlig og antakeligvis er det prøvetekniske forhold som spiller inn.

5.1.7 Snudd kjerne

Etter omtrent 2 år, ble to prøvestykker hentet ut og tatt inn til fresing for å kunne bedømme kloridinntrengingen. Prøvestykket merket «18-nord» ble tatt ut fra område F, mens prøvestykket merket «19-sør» ble hentet ut fra område E.



Figur 5-8: Grafisk fremstilling av kloridinntrengning for snudde kjerner fra Bakkasundet bru.

I motsetning til prøvestykkene hentet fra felt til bestemmelse av kloridprofiler, har de snudde kjernene ikke blitt utsatt for klorideksponering i tidlig alder. Diffusjonskoeffisientene ligger her mellom det som ble funnet fra prøvestykkene eksponert i 14 år og fra prøvestykkene fra akselerert testing.

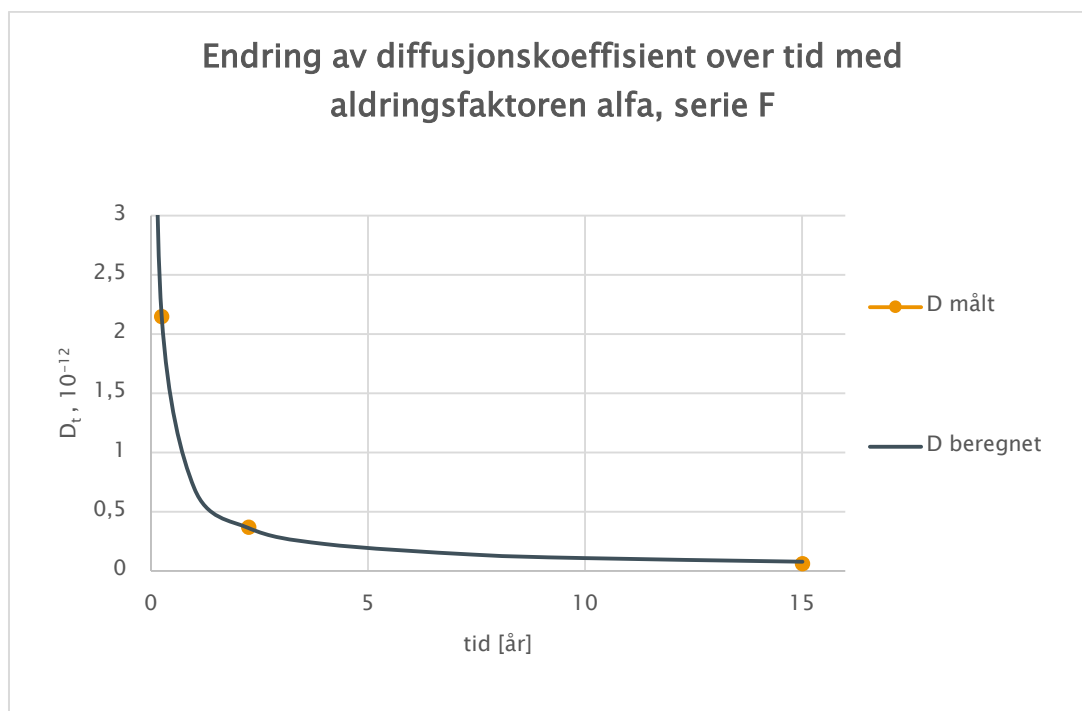
Tabell 5-5: Beregnede verdier av overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for snudde kjerner.

Prøve	Overflatekonsentrasjon, % av betongvekt	Diffusjonskoeffisient, D, 10^{-12} m ² /s
«18-nord»	0,17	0,37
«19-sør»	0,19	0,40

Av dette kan en så beregne reell α -verdi (ren aldring).

Tabell 5-6: Verdier benyttet til beregning av α -verdi.

Parameter	Enhet	Serie E	Serie F
D_0	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	3,39	2,15
D^*_0	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	3,39	2,15
t_0	Døgn	86	90
D_2	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,40	0,37
D^*_2	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,40	0,363
t_2	Døgn	820	820
D_{14}	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,066	0,062
D^*_{14}	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,066	0,079
t_{14}	Døgn	5479	5479
alfa		0,95	0,80

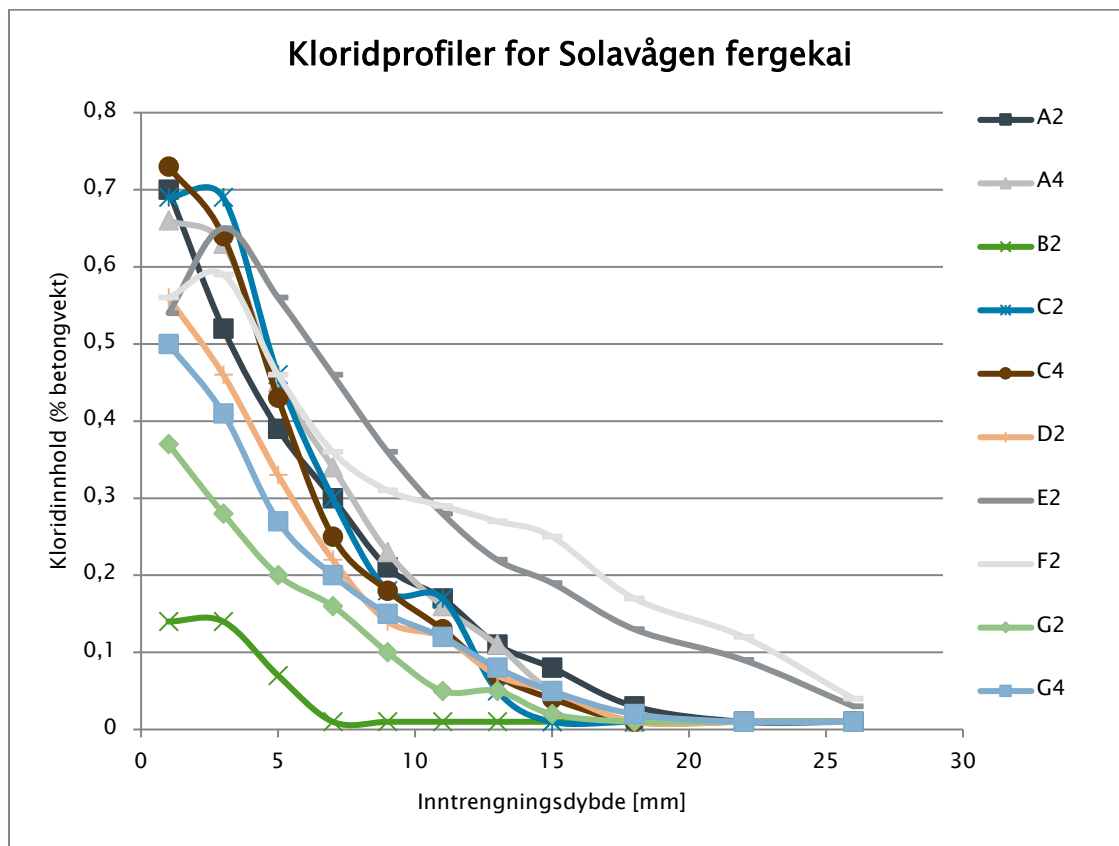


Figur 5-9: Endring av diffusjonskoeffisient over tid, beregnet med alfa-verdi på 0,80 for serie F.

5.2 Solavågen fergekai

For analysene av kjerneprøvene fra Solavågen fergekai, ble det utlyst en tilbudskonkurranse på rammeavtale på laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruedlikehold med FoU, avrop 18. Valgt tilbyder ble SINTEF Byggforsk. Rapporten er gitt i Vedlegg 2 – Rapport fra SINTEF Byggforsk.

5.2.1 Kloridinnhold



Figur 5-10: Målte kloridprofiler fra Solavågen fergekai. A og B er fra sidekant LO side, C og D er fra sidekant LE side, E og F stammer fra underside, mens G er fra fronten av kaia.

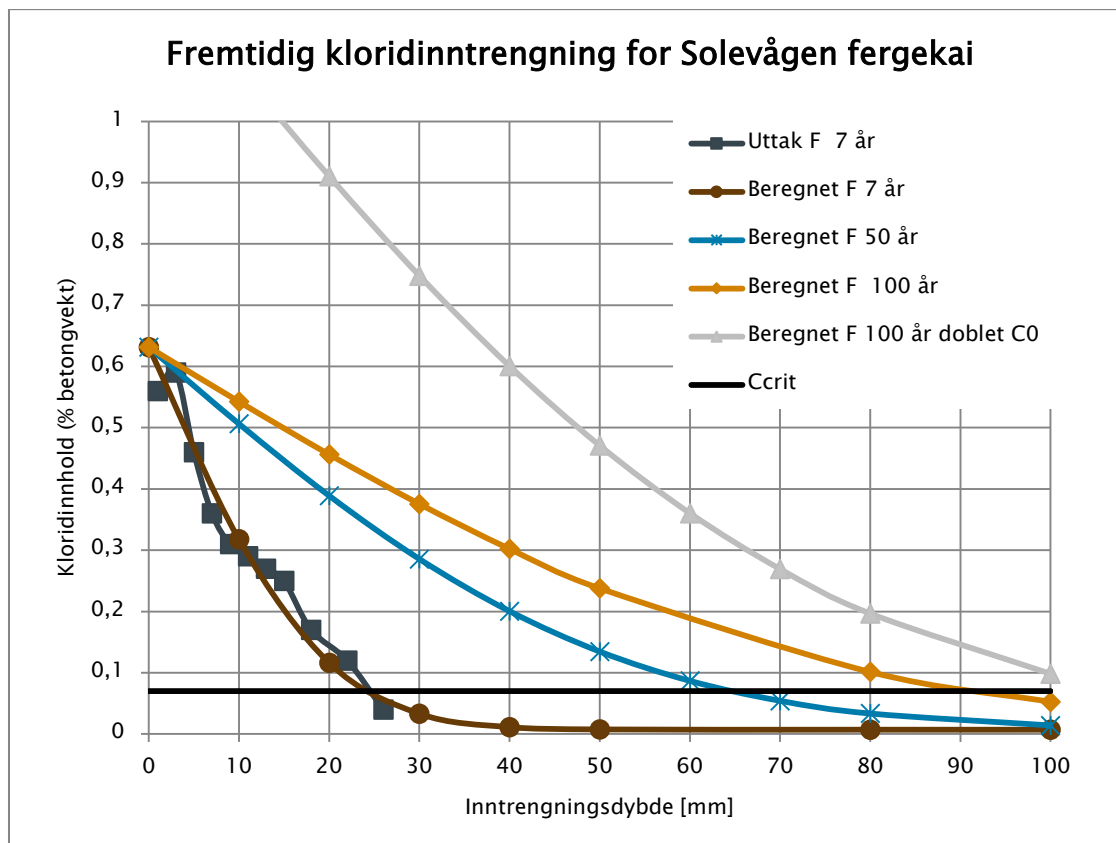
Undersiden av kaia blir kun utsatt for sjøsprøyt og overflaten vaskes ikke av regnvann, og kloridbelastningen blir derfor høy. Dette er sannsynligvis årsaken til høyere registrert inntrengning i disse seriene. Med unntak av B2 som viser en noe avvikende kloridprofil i alle målinger, er kloridinntrengingen lavest i uttakene nær fronten av fergekaia (serie G er helt i front).

Basert på kloridprofilene er diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner beregnet, se Tabell 5-7.

Tabell 5-7: Beregnede diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner fra kloridprofilene.

Serie	Overflatekonsentrasjon % av betongvekt	Diffusjonskoeffisient m ² /s
A	0,81	0,142 · 10 ⁻¹²
B	0,24	0,05 · 10 ⁻¹²
C	0,99	0,095 · 10 ⁻¹²
D	0,63	0,12 · 10 ⁻¹²
E	0,80	0,31 · 10 ⁻¹²
F	0,63	0,49 · 10 ⁻¹²
G	0,47	0,135 · 10 ⁻¹²

Verdiene fra disse undersøkelsene har videre blitt benyttet for å beregne fremtidig kloridinntrengning som for Bakkasundbrua. I Figur 5-11 er de beregnede resultatene fra uttak F presentert. Det er benyttet konstant D over hele tidsperioden.



Figur 5-11: Beregnet fremtidig kloridinntrengning basert på feltdata.

Ved å benytte Ficks 2. lov og regresjonsanalyse, ble det funnet en overflatekonsentrasjon (C_s) lik 0,63 % og diffusjonskoeffisient på $0,49 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$.

Siden beregnet levetid for fergekaier normalt er satt til 50 år, er beregnet kloridinntrengning vist for både 50 og 100 års eksponering. I tillegg er situasjonen etter 100 år og en forventet

dobling av overflatekonsentrasjonen av klorider vist i samme diagram. Estimaten viser at etter 50 år eksponering i dette miljøet vil kloridkonsentrasjonen være over antatt kritisk nivå drøyt 60 mm inn i konstruksjonen og etter 100 år nær 90 mm. Hvis en i tillegg antar en dobling av kloridkonsentrasjonen i overflaten vil inntrengning over kritisk nivå etter 100 år være 110 mm inn. Ved prøveuttak ble armeringsjern målt 70 – 80 mm fra overflaten på undersiden (E og F). Prosjektert overdekning har vært 75 mm, altså minimumsoverdekning 60 mm pluss 15 mm toleranse.

5.2.2 Akselerert kloridinntrengning

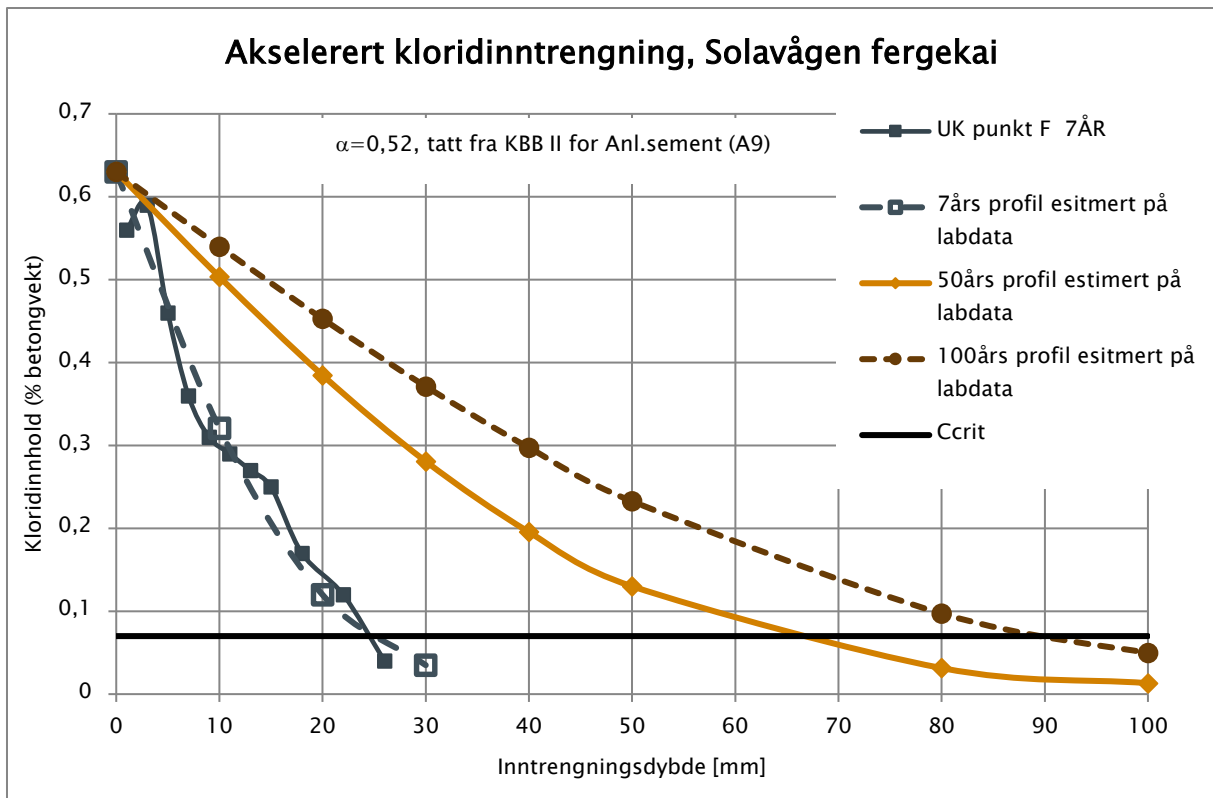
Til et utvalg av prøvestykker ble det utført akselerert kloridinntrengning. En oppsummering av resultatene fra denne prøvingen er gjengitt i Tabell 5–8.

Tabell 5–8: Sammendrag av verdier funnet ved akselerert kloridinntrengning.

Serie	Overflatekonsentrasjon	Diffusjonskoeffisient
	% av betongvekt	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
A	$1,12 \pm 0,19$	$2,60 \pm 0,17$
B	$0,95 \pm 0,05$	$2,97 \pm 0,26$
C	$0,96 \pm 0,12$	$2,55 \pm 0,60$
D	$0,96 \pm 0,08$	$2,87 \pm 0,40$
G	$1,05 \pm 0,05$	$2,60 \pm 0,53$

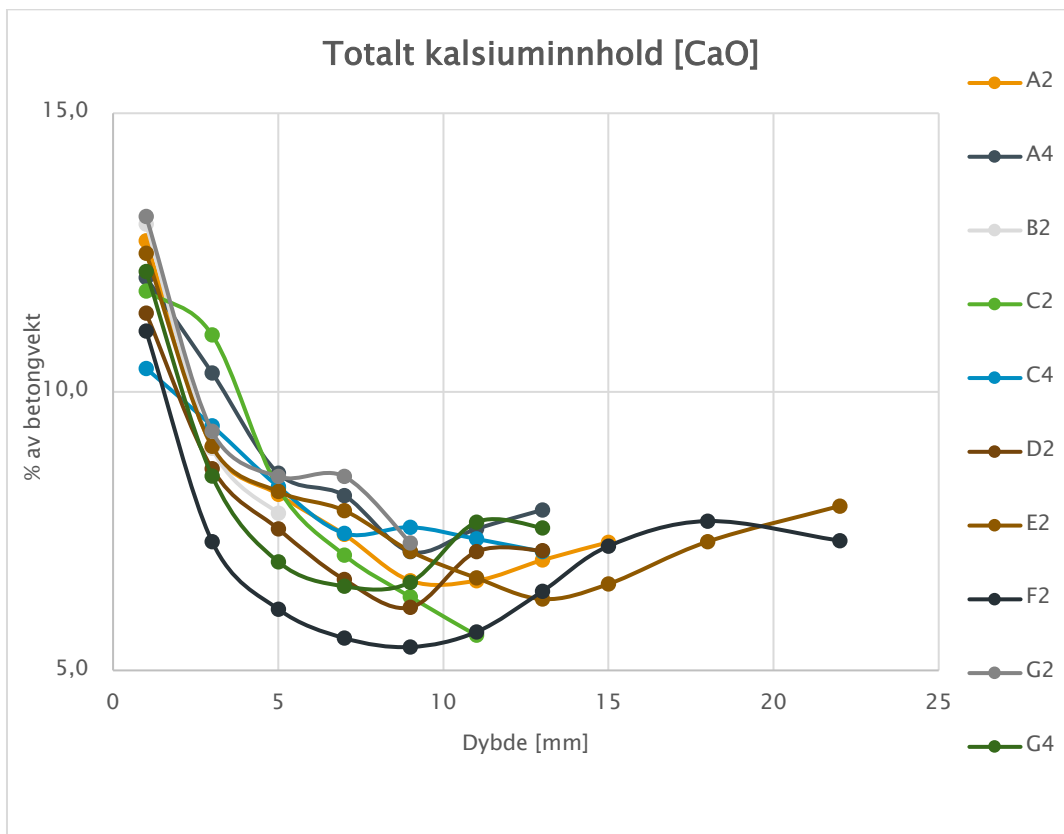
Resultatene viser stor jevnhet med overflatekonsentrasjoner på rundt 1% og diffusjonskoeffisienter på nær $3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$.

Det ble utført beregning av kloridinntrengning av verdiene funnet ved akselerert kloridinntrengning, samt ved å korrigere diffusjonskoeffisienten for aldring, som tidligere beskrevet. I Figur 5–12 ser en at beregnet kurve for 7 års eksponering sammenfaller meget bra med den reelle kurven for dette målepunktet. Beregning med 100 års eksponering viser også i dette tilfellet at inntrengning over antatt kritisk kloridnivå rekker helt inn til 90 mm dybde.



Figur 5-12: Beregnet fremtidig kloridinntrengning basert på verdier fra akselerert prøving.

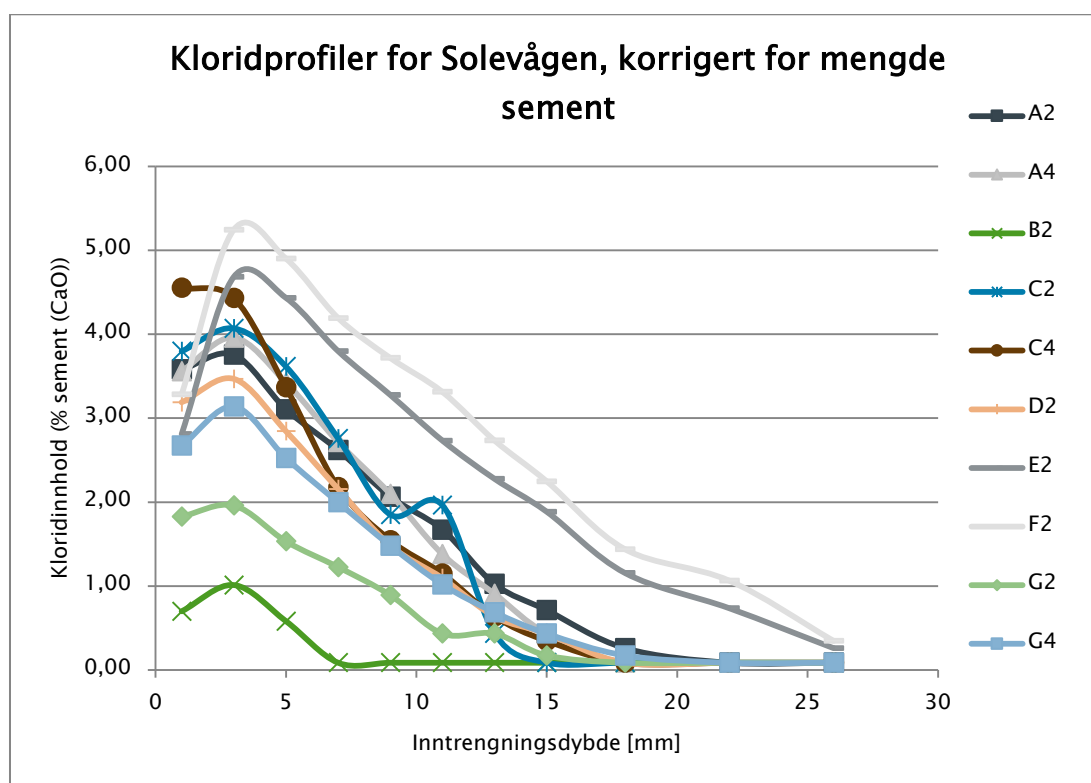
5.2.3 Kalsiuminnhold



Figur 5-13: Målt kalsiuminnhold i betongen i forhold til avstand fra overflate.

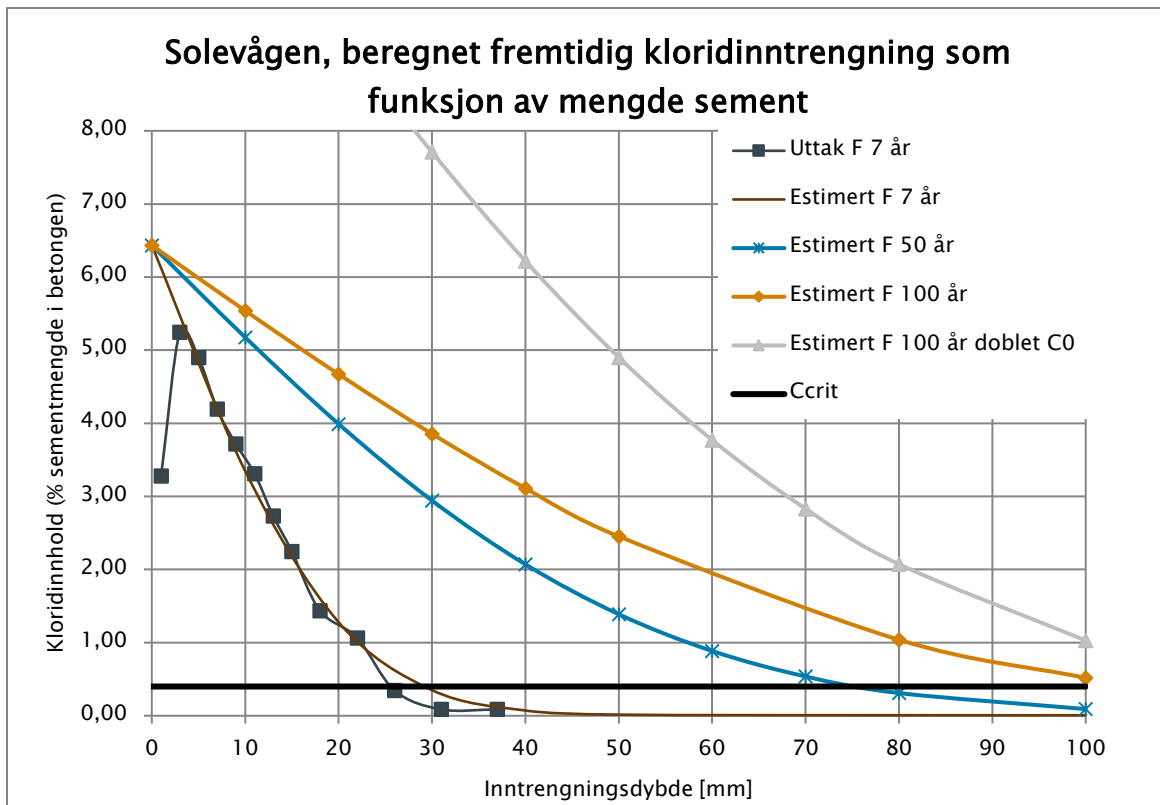
Prøvene av kalsiuminnhold viser også i dette tilfellet høyere sementandel ut mot overflaten, som forventet. De ytterste to millimeterne har et kalsiuminnhold på 12,0 %, mens innover i støpen faller andelen til en gjennomsnittverdi på 7,5 %.

For å beregne andelen sement i betongen/sjiktene, ble det benyttet informasjon fra sementleverandør. Siden det i alle prosjektene var benyttet Norcem anleggssement, skal innholdet av CaO for denne være på rundt 65%. Prosentandel sement i betongen kan da anslås til ca. 11,5 %. Med en antatt egenvekt til betongen på 2400 kg/m³, tilsvarer dette 277 kg sement per kubikk betong. Dette er et lavere resultat enn forventet. En forklaring kan være at det har blitt benyttet for lite sement, eller det kan ha blitt benyttet en annen type sement. Dersom Anlegg FA hadde vært benyttet ville andelen sement økt til rundt 350 kg per kubikk betong, som er en mer forventet verdi.



Figur 5-14: Målt kloridinntrengning plottet som kloridinnhold i prosent av beregnet sementmengde.

I Figur 5-15 er kloridinnholdet som andel av sement mot inntrengningsdybden vist, sammen med beregnede kloridprofiler for ulike eksponeringstider. Etter 50 år vil kritisk kloridinnhold være 75 mm inn i konstruksjonen, etter 100 år vil samme nivå befinne seg rundt 110 mm inn. I dette tilfellet viser den estimerte inntrengningen at levetiden til konstruksjonen blir noe lavere når det benyttes kloridprofiler der kloridinnholdet uttrykkes som % av sementmengde.



Figur 5-15: Beregnet fremtidig kloridinntrengning i område F, korrigert for mengde sement, estimert fra målt kalsiuminnhold.

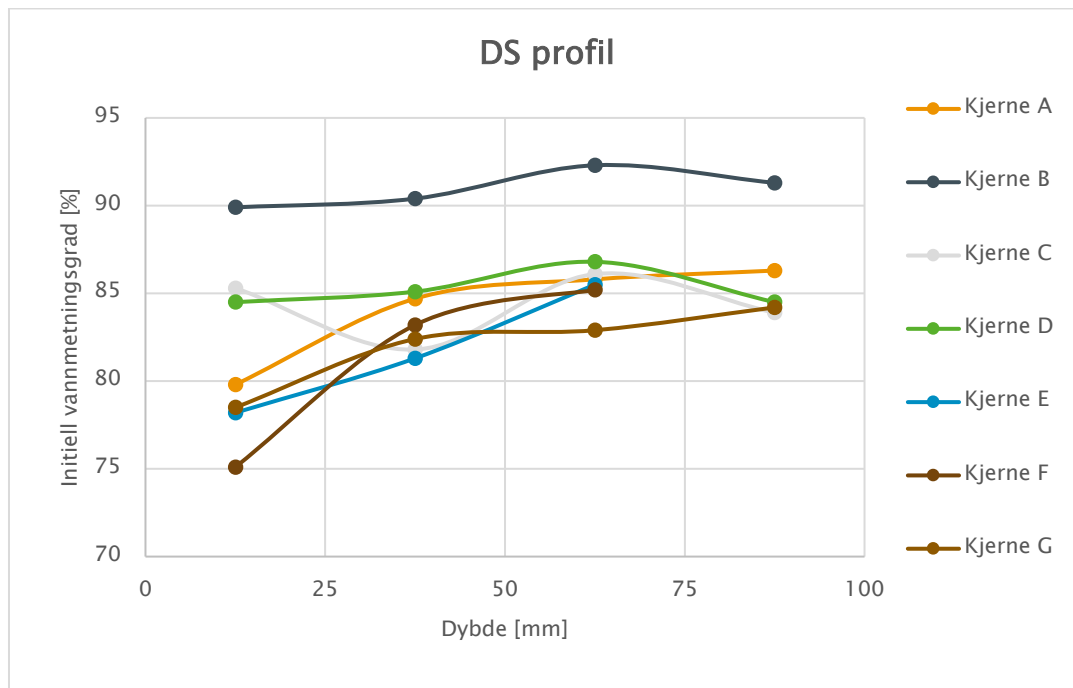
5.2.4 Spesifikk elektrisk motstand

Prøvestykkene tillaget for måling av bulkdiffusjon / akselerert kloridinntrengning, ble målt for elektrisk motstand på overflatetørre prøvestykker direkte etter saging. Prøvestykkene hadde alle en høyde på rundt 50 mm. Prøvestykkene til kapillær sugeevne ble også undersøkt for elektrisk motstand, høyden for disse var 45 mm ved uttak og 20 mm etter tillaging.

Tabell 5-9: Beregnet resistivitet for betong benyttet til akselerert kloridinntrengning og kapillær sugeevne.

	Akselerert kloridinntrengning	Kapillær sugeevne	
		Overflatetørre (45mm)	Overflatetørre (20 mm)
Serie	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
A	281,7 ± 12,8	269,9 ± 0,1	255,4 ± 12,2
B	282,3 ± 8,3		
C	415,8 ± 10,6	391,2 ± 9,5	343,0 ± 20,1
D	303,4 ± 31,8		
G	302,5 ± 18,2	278,1 ± 27,3	257,6 ± 18,7

5.2.5 Vanmetningsgrad



Figur 5-16: Vanmetningsgraden (DS = Degree of saturation) i betongen målt fra overflaten i 25 mm sjikt.

Fuktforholdene målt i fergekaia har som forventet størst spredning i overflaten, med laveste verdier for uttakene fra undersiden (E og F). Sjiktene lenger inn i konstruksjonene samles mot rundt 85 % vanmetningsgrad. Unntaket i serien er uttak B som ligger noe høyere.

5.2.6 Porøsitet

Tabell 5-10: Målte verdier av densitet og porøsitet.

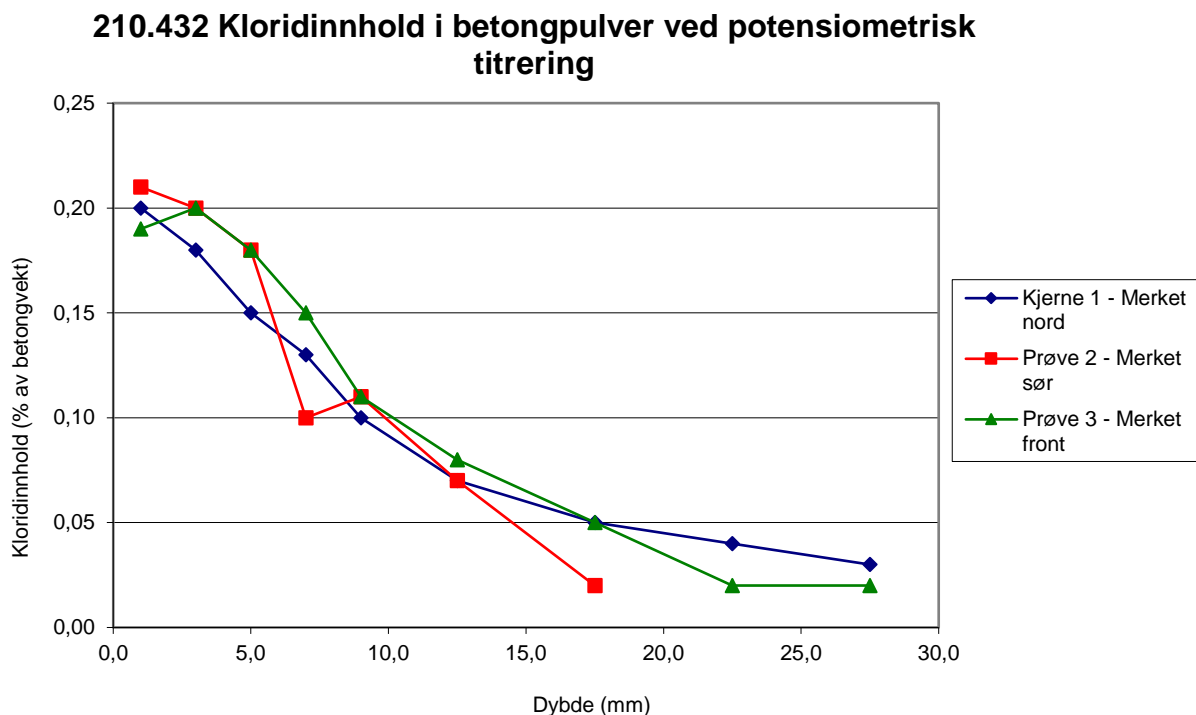
Prøveserie	Tørredensitet	Faststoffdensitet	Sug porøsitet	Makro porøsitet	Total porøsitet
	kg/m ³	kg/m ³	Vol %	Vol %	Vol %
A	2301	2736	13,9	2,0	15,9
B	2258	2710	15,1	1,5	16,7
C	2236	2653	13,7	2,0	15,7
D	2306	2735	13,7	2,0	15,7
E	2296	2721	13,3	2,3	15,6
F	2320	2737	13,4	1,9	15,2
G	2271	2723	13,8	2,8	16,6

Serie B som tidligere har vist avvikende resultater i forhold til kloridprofil og vanmetningsgrad, har også i dette forsøket avvikende resultat, her med høyere verdi i

sugporøsitet. For alle prøveseriene er makroporøsiteten lavere enn det som ville vært normalt når betongen er luftinnført.

5.2.7 Snudd kjerne

Det ble valgt ut tre områder i fergekaia hvor en kjerne fra hvert felt ble benyttet til «snudd kjerne-forsøk». Innerste del av kjernen ble kappet til og montert tilbake i prøvehullet, slik at sagflaten fluktet med den omkringliggende betongen. Etter omtrent to år, ble prøvestykkene hentet ut og tatt inn til fresing og kloridanalyser. Resultatene fra dette forsøket er vist i Figur 5-17.



Figur 5-17: Grafisk fremstilling av kloridinntrengning for snudde kjerner fra Solavågen fergekai.

Som for de snudde kjernene på Bakkasundet bru, har også de snudde kjernene på Solavågen fergekai hatt en lengre herdetid, før de ble eksponert for salter fra et værhardt kystmiljø. Resultatene fra feltprøvingen er gitt i Tabell 5-11.

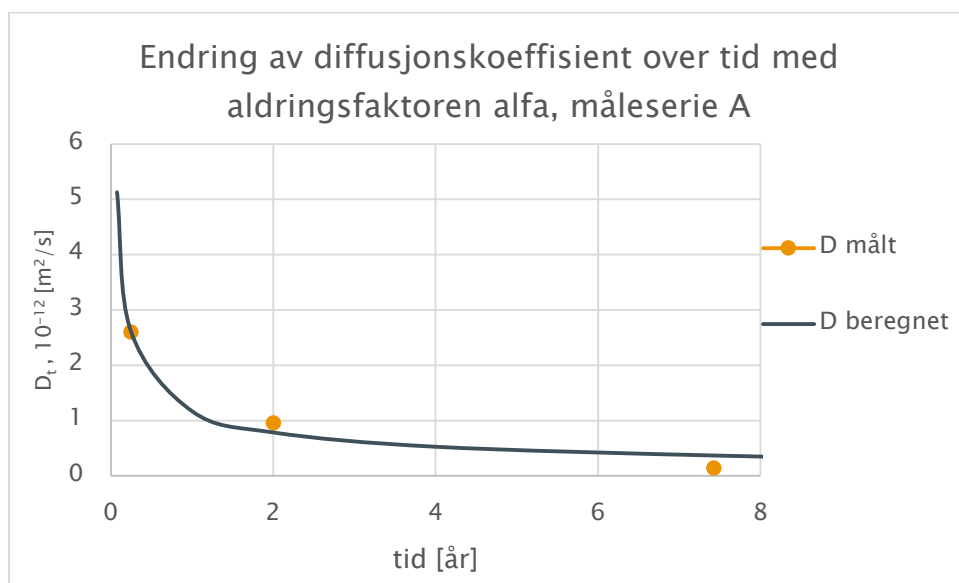
Tabell 5-11: Beregnede verdier av overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for snudde kjerner.

Prøve	Overflatekonsentrasjon, % av betongvekt	Diffusjonskoeffisient, D, 10 ⁻¹² m ² /s
«nord» - C	0,21	1,25
«sør» - A	0,24	0,96
«front» - G	0,25	1,14

Av dette kan en så beregne reell α -verdi (ren aldring).

Tabell 5-12: Verdier benyttet til beregning av α -verdi.

Parameter	Enhet	Serie A	Serie C	Serie G
D_0	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	2,60	2,55	2,60
D^*_0	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	2,62	2,59	2,63
t_0	Døgn	90	90	90
D_2	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,96	1,25	1,14
D^*_2	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,79	0,92	0,88
t_2	Døgn	730	730	730
D_7	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,14	0,095	0,135
D^*_7	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,37	0,482	0,446
t_7	Døgn	2710	2710	2710
alfa		0,58	0,49	0,52

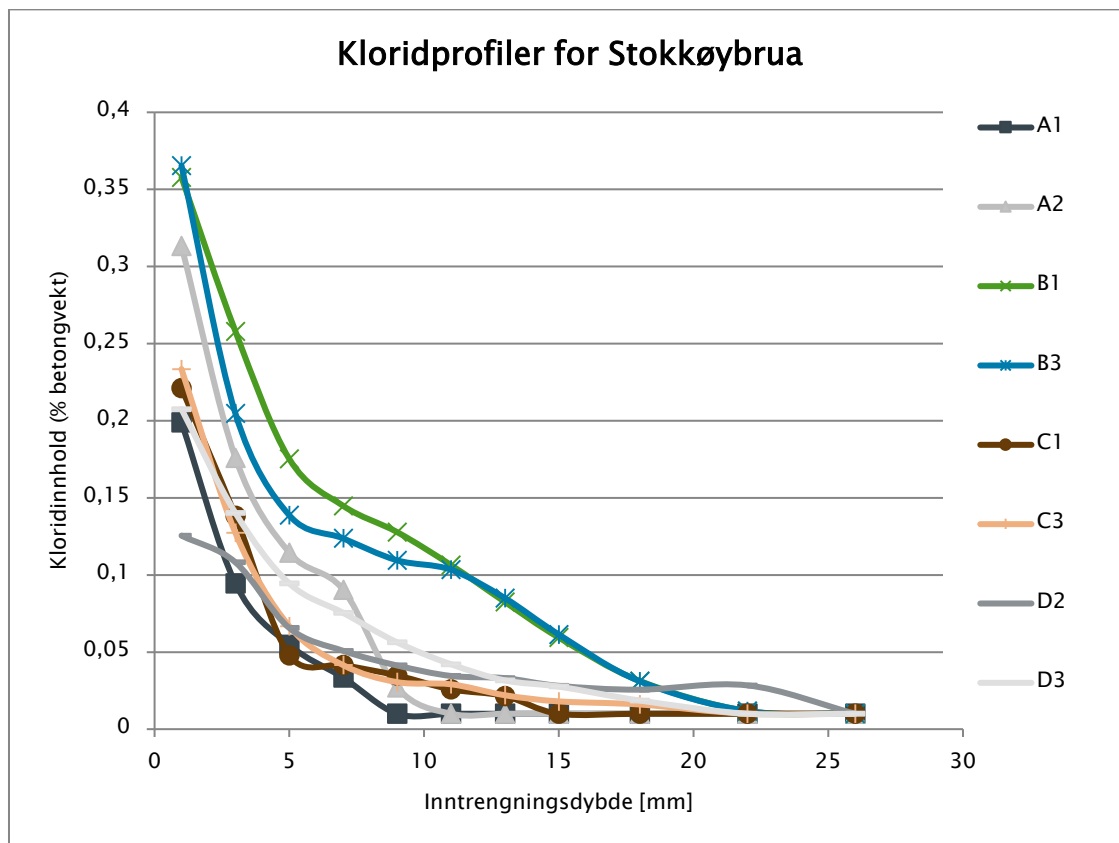


Figur 5-18: Endring av diffusjonskoeffisient over tid, beregnet med alfa-verdi på 0,58 for serie A.

5.3 Stokkøybrua

For analysene av kjerneprøvene fra Stokkøybrua, ble det utlyst en tilbudskonkurranse på rammeavtale på laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FoU, avrop 21. Valgt tilbyder ble Mannvit, fra Island. Rapporten er gitt i Vedlegg 3 – Rapport fra Mannvit.

5.3.1 Kloridinnhold



Figur 5-19: Kloridprofiler av prøveuttak fra Stokkøybrua. A – nord, B – øst, C – sør og D – vest.

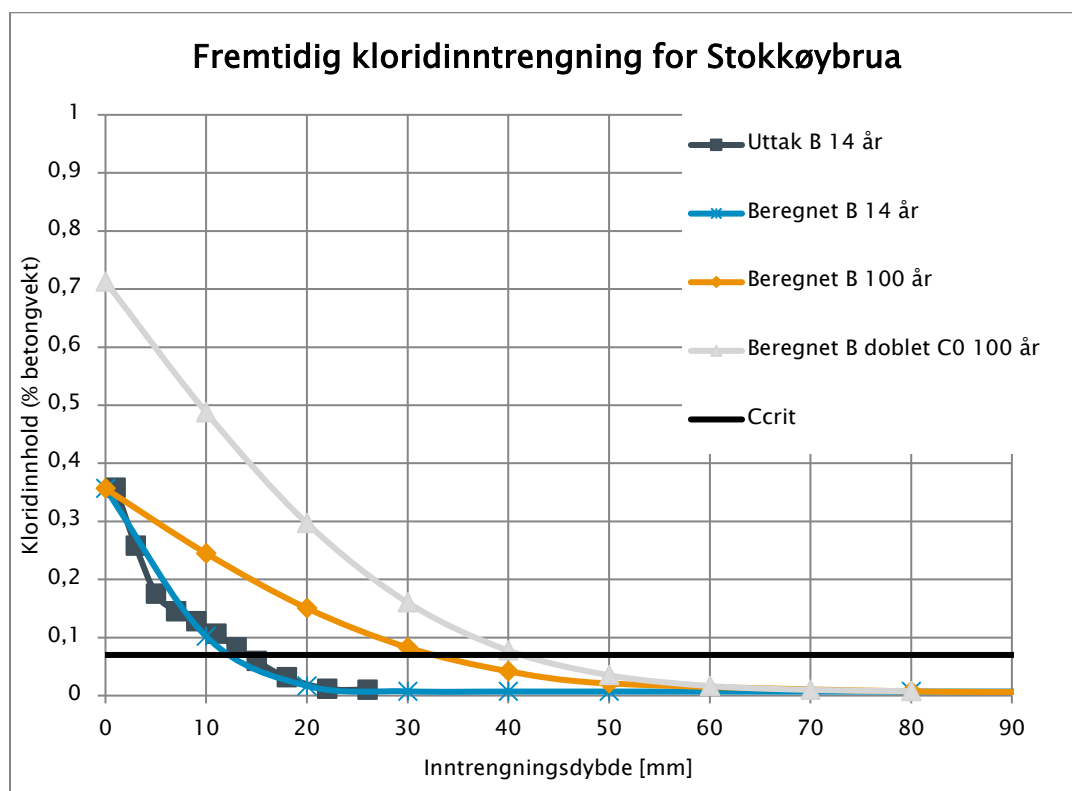
Av figuren kommer det frem at prøveuttakene i serie B har den største kloridinntrengingen. Prøvene i serie B er tatt fra søylevegg, retning øst/sør-øst, i le-side.

Basert på kloridprofilene er diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner beregnet, se Tabell 5-13.

Tabell 5-13: Beregnede diffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjoner fra kloridprofilene.

	Overflatekonsentrasjon	Diffusjonskoeffisient
Serie	% av betongvekt	m ² /s
A	0,279	0,028 · 10 ⁻¹²
B	0,345	0,088 · 10 ⁻¹²
C	0,264	0,022 · 10 ⁻¹²
D	0,176	0,066 · 10 ⁻¹²

Beregning av fremtidig kloridinntrengning er vist for resultatene fra prøveuttakene i serie B1, se Figur 5-20. Ved bruk av Ficks 2. lov og kurvetilpasning ble det funnet en overflatekonsentrasjon (C_s) på 0,36 % og diffusjonskoeffisient, D , lik $0,094 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Prøvealder var 14 år (5212 døgn). Etter 100 års eksponeringstid vil kritisk kloridkonsentrasjon være 30 mm inn i konstruksjonen og med en dobling av overflatekonsentrasjonen vil kritisk kloridkonsentrasjon ha kommet vel 40 mm inn. Overdekningen ble ved prøveuttak målt til 75 – 80 mm. Prosjektert overdekning har vært 75 mm, altså minimumsoverdekning 60 mm plus 15 mm toleranse.



Figur 5-20: Beregnet fremtidig kloridinntrengning på Stokkøybrua basert på feltdata.

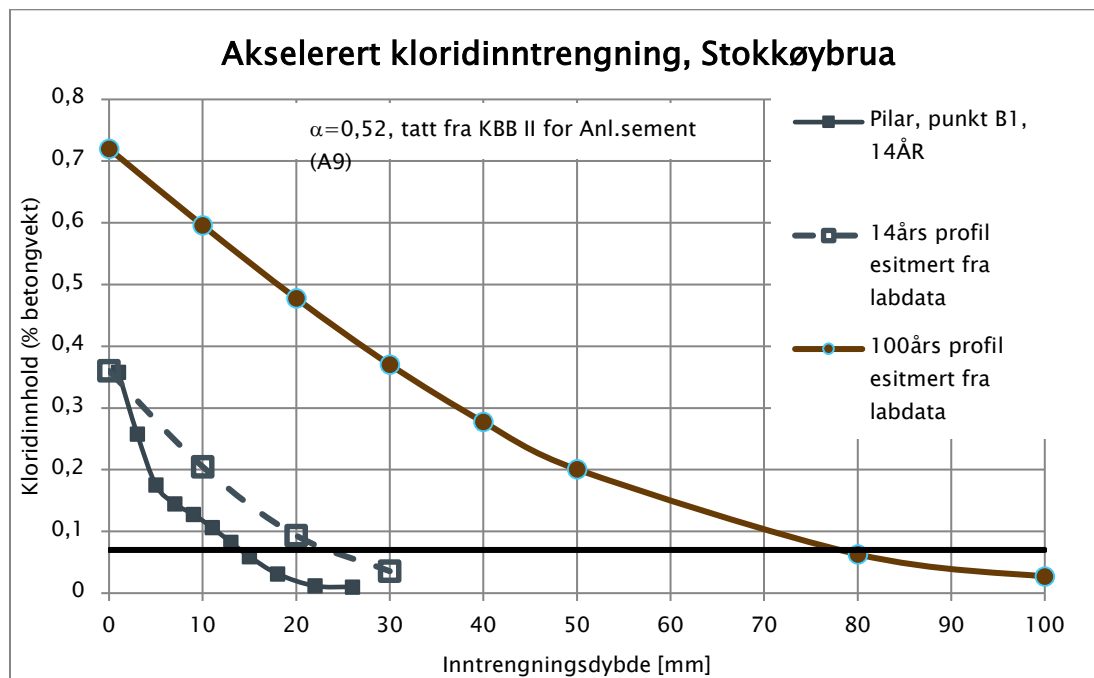
5.3.2 Akselerert kloridinntrengning

Det ble benyttet prøvestykker fra alle feltene til denne prøvingen. Resultatene er oppsummert i Tabell 5-14.

Tabell 5-14: Resultater fra akselerert kloridinntrengning.

Prøveserie	Overflatekonsentrasjon (C_s %)	Diffusjonskoeffisient (D , m^2/s)
A	0,72	$3,87 \cdot 10^{-12}$
B	0,86	$4,65 \cdot 10^{-12}$
C	0,89	$4,09 \cdot 10^{-12}$
D	0,76	$4,72 \cdot 10^{-12}$
Snitt	0,80	$4,38 \cdot 10^{-12}$

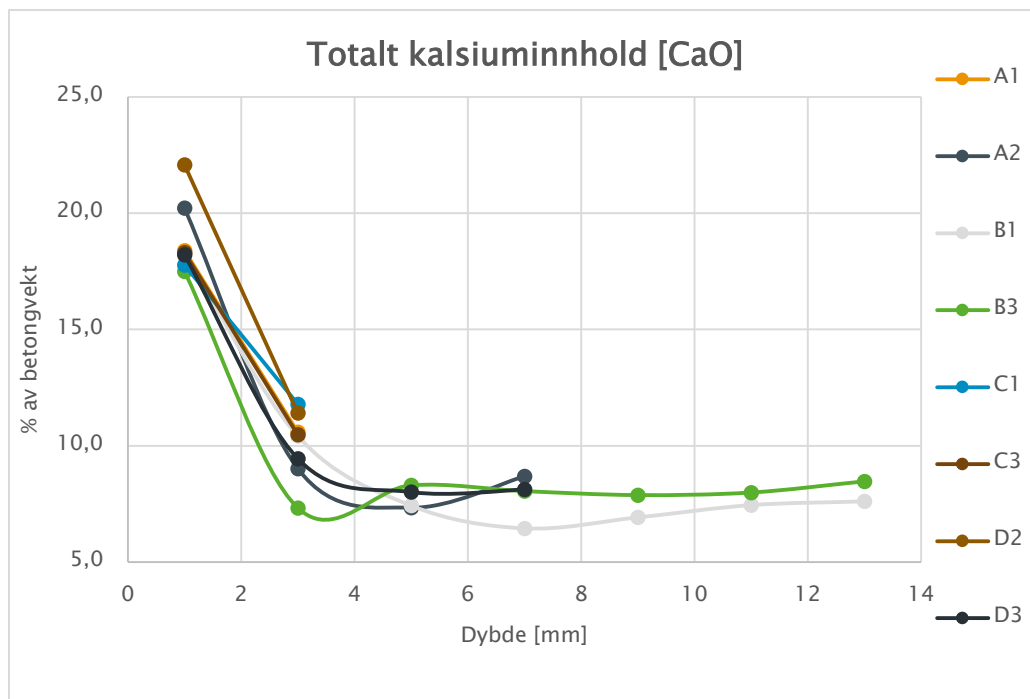
Verdiene ble videre benyttet til beregning av kloridinntrengning. Beregnet kloridinntrengning ved doblet overflatekonsentrasjon av klorider etter 100 år, viser kritisk kloridnivå ved rundt 80 mm inntrengning.



Figur 5-21: Beregnet fremtidig kloridinntrengning basert på akselerert prøving i laboratoriet.

5.3.3 Kalsiuminnhold

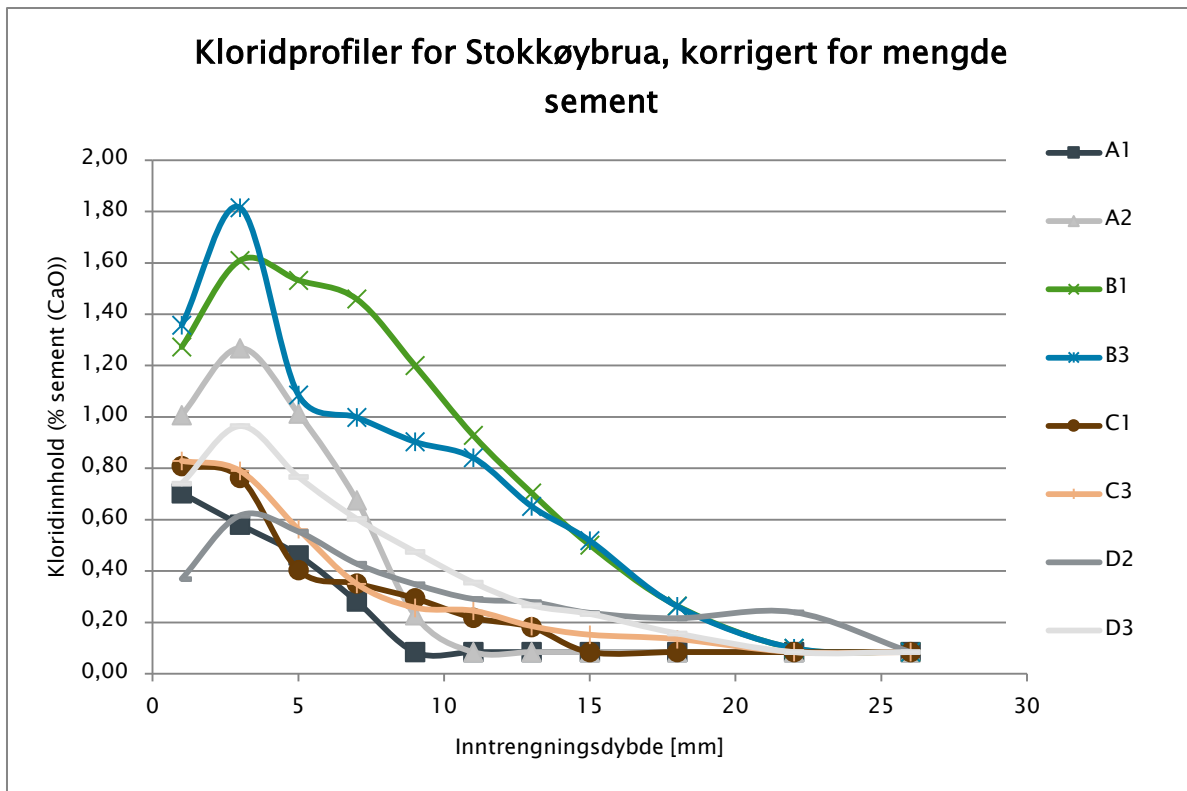
Analyse av kalsiuminnhold ble utført med flammefotometer, og ikke ved titrering som først avtalt, på grunn av problem med analyseutstyret. Dette kan ha hatt en betydning for bestemmelse av faktisk innhold av kalsium, mens for kurveutjevningen får det en mindre betydning siden målepunktene som sammenstilles er målt med samme utstyr.



Figur 5-22: Målt kalsiuminnhold i betongen i avstand fra overflaten.

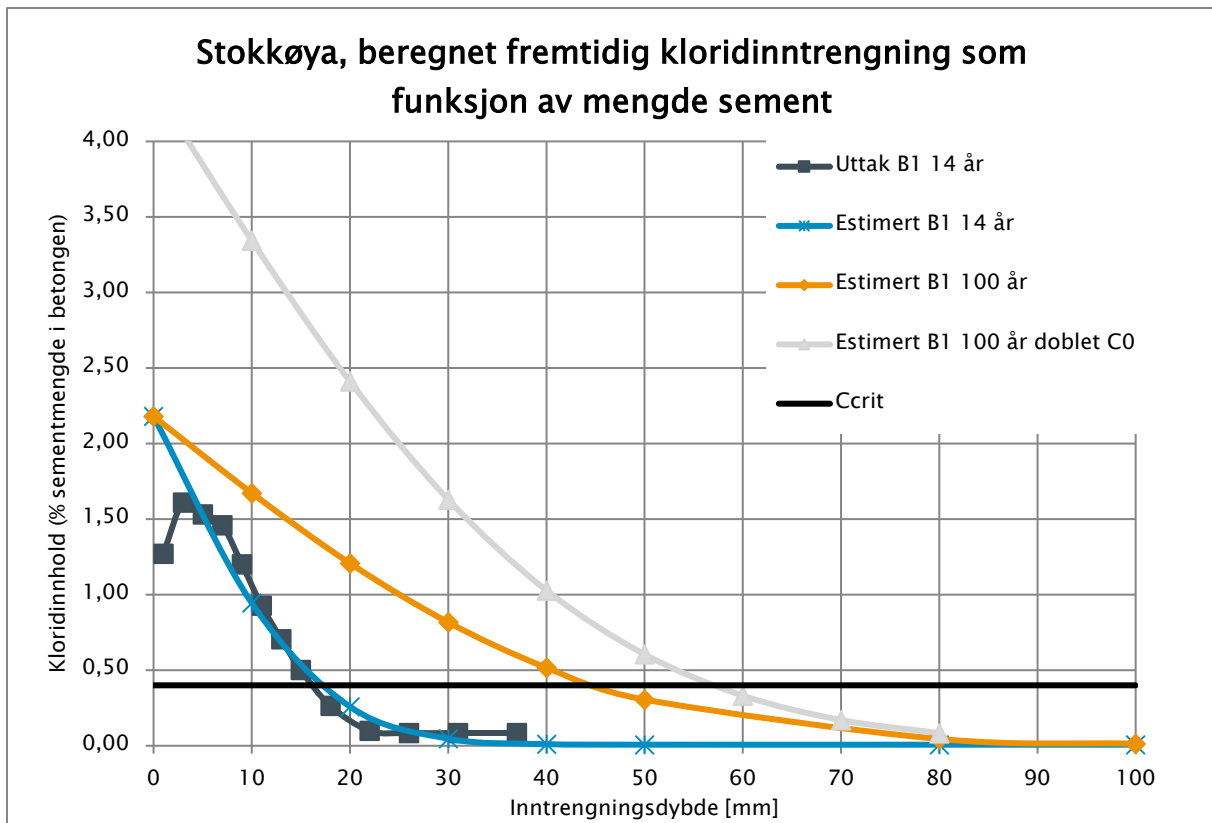
Det målte innholdet av kalsium i de ytterste 2 millimeterne er i snitt på hele 18,4 %. I sjiktene innenfor faller denne snittverdien til 8,6 %. Som i målingene fra både Bakkasundet bru og Solavågen fergekai er det også her en stor forskjell på andelen kalsium i yttersjiktet og innover i konstruksjonen.

For å beregne andelen sement i betongen/sjiktene, ble det benyttet informasjon fra sementleverandør. Siden det i alle prosjektene var benyttet Norcem anleggssement, skal innholdet av CaO for denne være på rundt 65%. Prosentandel sement i betongen kan da anslås til ca. 11,9 %. Med en antatt egenvekt til betongen på 2400 kg/m³, tilsvarer dette 284 kg sement per kubikk betong.



Figur 5-23: Målt kloridinntrengning plottet som kloridinnhold som prosent av beregnet sementmengde.

I Figur 5-24 er kloridinnholdet som andel av bindemiddelet mot inntrengningsdybden vist, sammen med beregnede kloridprofiler for ulike eksponeringstider. Etter 100 år vil kloridinnhold over antatt kritisk nivå være på 44 mm dybde, mens dersom overflatekonsentrasjonen av klorider dobles, vil samme nivå befinne seg ved rundt 58 mm dybde.



Figur 5-24: Beregnet fremtidig kloridinntrengning i område B1, korrigert for mengde sement, estimert fra målt kalsiuminnhold.

5.3.4 Spesifikk elektrisk motstand

I forbindelse med måling av kapillær absorpsjon, ble det målt elektrisk motstand på tillagede prøvestykker. Disse hadde en høyde på 50 mm. Resultatene er oppsummert i Tabell 5-15.

Tabell 5-15: Beregnede verdier av resistivitet i forbindelse med måling av kapillær absorpsjon.

	Initiell	Vannmettet
Serie	Ohm x m	Ohm x m
A	641 ± 42	413 ± 39
B	707	317
C	737 ± 104	472 ± 65
D	675 ± 41	430 ± 23

5.3.5 Vanmetningsgrad



Figur 5-25: Vanmetningsgraden (DS = Degree of saturation) i betongen målt fra overflaten i 25 mm sjikt innover. A og B i le sone, C og D i lo sone.

Det er en stor forskjell i fuktforholdene i ytterste sjikt, der prøvene fra kjerne A og B har de laveste verdiene (rundt 70%), mens for kjerne C og D er vanmetningsgraden like over 80%. Dette kan ha en sammenheng med LO/LE forhold på søylen. A er vegg mot nord, mens B er tatt fra søylevegg mot øst. C er fra vegg mot vest og D fra søylevegg mot sør. LE sonen er i retning øst/nord-øst, mens LO er her i retning vest/sør-vest.

5.3.6 Porøsitet

Tabell 5-16: Målte verdier av densitet og porøsitet.

Prøveserie	Tørrdensitet	Faststoffdensitet	Sug porøsitet	Makro porøsitet	Total porøsitet
	kg/m ³	kg/m ³	Vol %	Vol %	Vol %
A	2331	2717	12,3	2,0	14,2
B	2343	2718	12,0	1,8	13,8
C	2287	2711	13,9	1,8	15,7
D	2384	2724	11,2	1,2	12,5

For alle prøveseriene er makroporøsiteten lavere enn det som ville vært normalt når betongen er luftinnført.

6 Tidligere erfaringer

For å kunne si noe om hvordan levetiden til betongbruer har utviklet seg, er det viktig å se tilbake på vesentlige krav som ble stilt i standardverk og Prosesskode 2. En oppsummering av dette ble presentert av Reidar Kompen i 2014 på fagdag for etatsprogrammet Varige konstruksjoner, se Figur 6-1. I et bestandighetsperspektiv er det flere viktige parametere hvor kravene har blitt endret gjennom tiden. I tillegg til både endringer i betongkvalitet og overdekning har også andel tilsatte klorider vært en faktor, hvor tidligere praksis tillot både sjøvann, grus fra sjø og klorider i form av akselerator.

Dette prosjektet har fokusert på endringene som kom i 1989. I perioden fra 1988 til 1997 ble det stilt krav til betong i klasse C45 MA, hvor blant annet introduksjon av silikastøv var et av tiltakene som skulle øke bestandigheten. Samtidig med dette kravet, ble også krav til overdekning til konstruktiv armering økt til 40 mm. I 1997 kom en ytterligere skjerping, hvor betongklassene SV-30 og SV-40 ble introdusert. I denne tiden ble krav til overdekning ytterligere skjerpet og kravet økt til 60 mm.

Viktige Norske Standarder. Hvor lenge er det siden de ble utgitt ?

	100	88	75	52	41	28	25	16	11	6	I dag
	1914	1926	1939	1963	1973	1986	1989	1998	2003	2008	2014
CaCl ₂ %				< 2	< 1	?			0,4		
Od.		50	40	30-50	25		40	40		60	

Statens vegvesen fulgte Norske Standarder med minimale avvik helt inntil 1988

Prosesskode-2	1981	1988	1997	2007	2014
CaCl ₂ %	Spes till.	Spes till.	0,1	0,1	
Betongkvalitet	B350/C35	C45 MA (SVV)	C55/B45 SV-40, SV-30		
Overdekning	30 mm	40 mm	55, 75, 120 mm	1994/1997	

Figur 6-1: Oversikt over krav stilt i standarder og Prosesskode 2.

Et dokument som også hadde stor betydning for kvaliteten i byggeprosessen var Intern rapport nr. 1731, fra 1994. Denne publikasjonen gikk i dybden med forklaring og tolkning av toleransene ved overdekning. Variasjonen som naturlig fulgte tidligere byggeskikk, kunne med denne veiledningen reduseres i stor grad.

Av tidligere prosjekter hvor spesifikasjonene i tidsrommet før 1988 ble benyttet, finnes det enkelte hvor det har blitt utført større uttak for innsamling av data til vurdering av tilstand. Prosjektet «OFU Gimsøystraumen bru» (offentlig forsknings- og utviklingskontrakt) er et særdeles godt dokumentert prosjekt. Gimsøystraumen bru ble trafikkert i 1981. Betongen som er benyttet skal være typisk for betongkvaliteten på den tiden, noe som skal tilsvare B350/C35. Fra Intern rapport 2196, «Gimsøystraumen bru - Spesialinspeksjon 1992 - kloridprofiler» presenteres både kloridprofiler og diffusjonskoeffisienter fra da brua var 11 år. Et lite utdrag er vist i Tabell 6-1. Ved en senere spesialinspeksjon ble overdekningen i overbygningen målt til 29 mm, i pilar i akse 7, 45 mm og i fundament i samme akse, 59 mm. Alle verdier er gjennomsnittsmålinger.

Tabell 6-1: Overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for pilarene 2-5 på Gimsøystraumen bru.

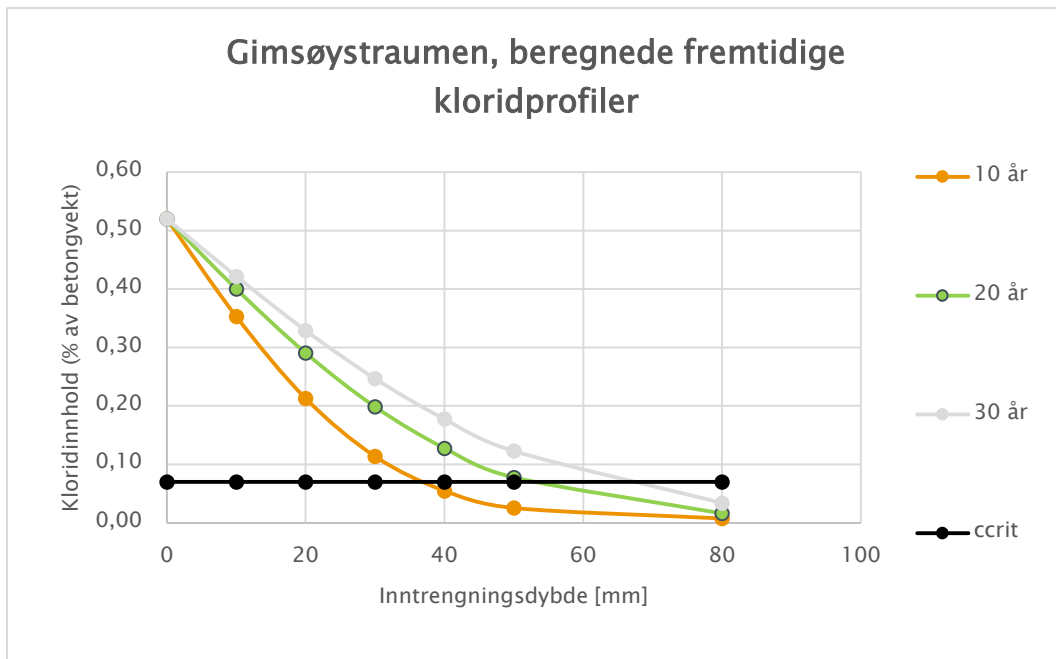
Side		Nord (le)	Vest	Sør (lo)	Øst
Antall prøver		32	48	32	48
Overflatekonsentrasjon, C ₀ , % av betongvekt	Middel	0,52	0,58	0,26	0,59
	Std.avvik	0,27	0,37	0,22	0,30
	Var.koeffisient	52	64	85	51
Diffusjonskoeffisient, D, 10 ⁻¹² m ² /s	Middel	0,9	0,9	0,9	0,9
	Std.avvik	0,38	0,44	0,42	0,42
	Var.koeffisient	40	50	46	45

Dersom verdiene for Gimsøystraumen i Tabell 6-1 benyttes til å lage fremtidige kloridprofiler, vil kritisk kloridinnhold ha kommet 50 mm inn i konstruksjonen etter 20 år, se Figur 6-2.

I samme rapport er det gitt en oversikt for andre tilsvarende konstruksjoner hvor det har blitt utført spesialinspeksjoner. Resultatene er gjengitt i Tabell 6-2.

Tabell 6-2: Midlere overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for kystbruer.

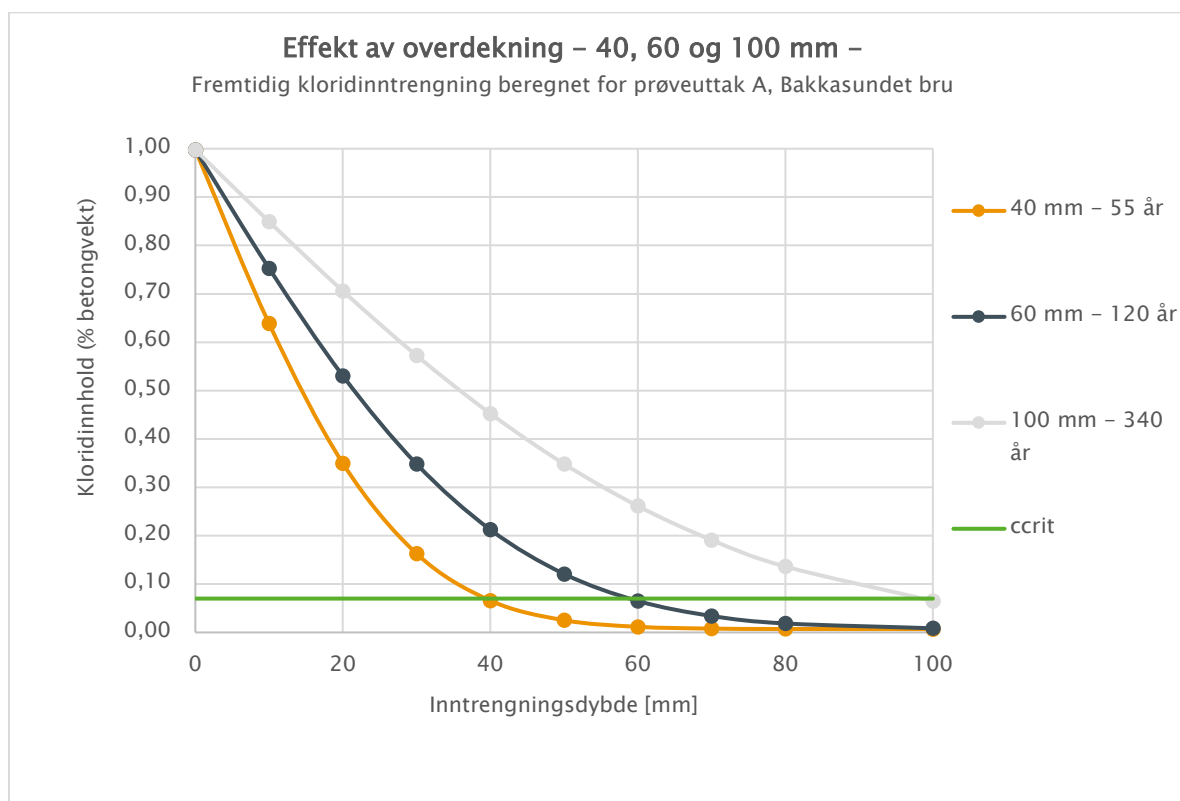
Konstruksjon	Alder	Antall verdier	C ₀ , % av betongvekt		D, 10 ⁻¹² m ² /s	
			Middel	Std.avvik	Middel	Std.avvik
Hadsel bru	13	101	0,60	0,22	2,85	1,50
Stokksund Bru (1992)	16	68	0,37	0,20	1,46	0,95
Stokksund Bru (1993)	17	45	0,19	0,16	0,97	0,67
Ulvesundet Bru	19	42	0,14	0,07	0,86	0,56
Nore Straumsundet Bru	16	37	0,24	0,19	0,79	0,56
Søre Straumsundet Bru	20	26	0,19	0,13	0,55	0,39
Herøy Bru	16	63	0,26	0,15	1,22	0,79
Torsetsund Bru	16	28	0,31	0,11	2,19	1,34



Figur 6-2: Beregnede kloridprofiler for Gimsøystraumen.

7 Diskusjon – hovedfunn

Endringene av overdekningskrav får stor betydning ved beregning av levetid. Til dette er det minimumsoverdekningen som benyttes. I Figur 7-1 er det tatt utgangspunkt i målingene fra uttak A for Bakkasundet bru og vist hvordan effekten av overdekning vil spille inn. Kravene til overdekning har blitt endret fra 40 mm på 80 tallet, til 60 mm etter 1996, mens det per i dag er 100 mm overdekning som er gjeldende krav. Nivå for kritisk kloridkonsentrasjon vil etter 55 år ha kommet 40 mm inn i betongen. Etter 120 år vil nivå for kritisk kloridkonsentrasjon passere 60 mm, mens det med 100 mm minimumsoverdekning vil ta 340 år før den kritiske kloridkonsentrasjonen når inn til nivå med armeringen. Det er viktig å presisere at beregningene er ut fra ett prøveområde fra Bakkasundet bru og ikke kan overføres direkte til andre konstruksjoner og betonger.



Figur 7-1: Effekt av krav til minimumsoverdekning, 40 mm, 60 mm og 100 mm, der fremtidig kloridinntrengning er beregnet basert på data fra prøveuttakene fra felt A for Bakkasundet bru.

Endringene av krav til betongsammensetning har også hatt en viktig rolle ved beregning av levetid. En kan sammenligne Gimsøystraumen bru (Tabell 6-1) mot Bakkasundet bru, gitt en minimumsoverdekning på 60 mm. Med betongen fra Gimsøystraumen ville nivået for kritisk kloridinntrengning nå frem til armeringen etter 26 år. Tilsvarende vil det for Bakkasundet bru (prøveuttak A), ta hele 120 år før samme tilstand oppnås. Når det gjelder dagens brubetonger (SV-standard), har vi foreløpig ingen felldata av tilstrekkelig alder for å kunne

utføre tilsvarende levetidsberegninger. Derfor må en tilsvarende beregning baseres på verdier fra akselererte forsøk i laboratoriet. I forsøkene med akselerert prøving på betongen fra Bakkasundet bru, ble det funnet en diffusjonskoeffisient (D_0) på $2,86 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Fra Bjøntegaard (2015), ble det ved akselerert prøving funnet en diffusjonskoeffisient (D_0) på $1,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, for en betong tilsvarende dagens SV-standard. Som ved tidligere beregninger i 5.1.2 akselerert kloridinntrengning for Bakkasundet bru, vil nivå for kritisk kloridinntrengning komme 60 mm inn etter 85 år. For SV-normal vil samme nivå være oppnådd etter 180 år.

Tilstanden for Bakkasundet bru, må karakteriseres som meget god. Av beregningene kom det frem en forventet kloridinntrengning av kritisk kloridinnhold inn til 55 mm etter 100 år, i området hvor det ble påvist størst kloridinntrengning etter 14 år. I samme område var det mellom 70 – 80 mm inn til armering. Prøving med akselerert kloridinntrengning viste 70 mm beregnet inntrengning etter 100 år. Avviket mellom beregningene fra felteksponeringen og beregningene fra akselerert prøving kommer av eksponeringen. Ved den akselererte prøvingen er prøvestykkene konstant neddykket og eksponert for en vesentlig høyere kloridkonsentrasjon enn hva som er i sjøvann. Alle prøver hentet i felt har blitt utsatt for ulike kloridbelastninger. Med et større prøveuttak ville vi kunne finne prøver som hadde vært utsatt for større belastninger enn de som ble hentet inn og som da også ville hatt en forventet kloridinntrengning mer lik fra den akselererte prøvingen. Dette er en av årsakene til at en må legge inn en større sikkerhetsfaktor enn hva som kommer ut av de enkelte resultatene fra analysene.

Prøveuttakene fra Bakkasundet bru, viser at den største påkjenningen av klorider er å finne i le-siden ved pilarene. En videre oppfølging av kloridinntrengning, bør i all hovedsak ha størst fokus på et bredere prøveuttak i disse områdene. En kartlegging av armerings-overdekning og kloridprofiler fra disse områdene, vil gi en enda større sikkerhet i forhold til når det kan forventes korrosjon på armeringen.

Tilstanden for Solavågen fergekai, kan også karakteriseres som god. Selv om det ble målt høye kloridverdier etter kun 7 års levetid, viste beregningene likevel at det vil ta 50 år før det kritiske kloridnivået er vel 60 mm inne i konstruksjonen. Det var i tillegg en god korrelasjon mellom verdiene fra felt og den akselererte prøvingen. Armerings-overdekningen på undersiden av fergekaia hvor prøveuttakene ble foretatt var på rundt 70 mm.

Kloridbelastningen på Solavågen fergekai er klart størst på undersiden av dekket. Fremtidig oppfølging av kloridinntrengningen, bør være rettet inn på dette området. En større kartlegging av både overdekning samt kloridmålinger, vil kunne gi et enda bedre bilde på den forventede levetiden og når en kan forvente begynnende armeringskorrosjon.

Tilstanden for Stokkøya bru er den som peker seg ut mest i positiv retning. Selv med en dobling av overflatekonsentrasjonen, vil den kritiske kloridkonsentrasjonen kun ha kommet like over 40 mm inn i konstruksjonen etter 100 år! Noe av dette kan forklares med en høyere betongkvalitet i C55-SV30. Likevel er det en større forskjell tatt i betraktning resultatene fra akselerert prøving. Resultatene fra denne prøvingen tilsier en kloridinntrengning på 80 mm. Armeringsoverdekningen på Stokkøya bru var mellom 75 – 85 mm. Det ble montert «snudde kjerner» på Stokkøybrua. Disse er planlagt å hentes inn etter to år, selv om det blir etter

avslutningen på FoU-programmet. Resultatet fra disse kjernene vil gi verdifull informasjon i forhold til de avvikende resultatene.

En mulig forklaring på dette resultatet kan være at betongen har blitt utsatt for en overflatebehandling. Siden det ikke var mulig å se om dette var tilfelle, må dette eventuelt ha vært en type hydrofoberende impregnering, som motvirker fuktighet å trenge inn i konstruksjonen. Tidligere forsøk med denne type overflatebehandling viser ofte en klar reduksjon i kloridinntrengning de første årene etter behandlingen. Det har ikke vært mulig å få noen dokumentasjon på om det har eller ikke har blitt benyttet noen overflatebehandling på broen.

Analysene av kalsiuminnhold førte til mindre justeringer av kloridprofilene, når disse ble uttrykket som kloridinnhold som funksjon av bindemiddel. For Bakkasundet bru viste resultatene lik fremtidig inntrengningsdybde, mens for både Solavågen fergekai og Stokkøybrua viste beregningene rundt 10 mm høyere kloridinntrengning når kurvene ble justert i forhold til mengde bindemiddel. Dette er et interessant funn, som vil være verdt å vurdere videre når en skal utføre tilsvarende levetidsberegninger.

En faktor som også vil spille inn ved levetidsbetraktninger er at betongen i søyler og kasse vil være kortere tid hvor denne er eksponert for klorider, sammenlignet med betong som er neddykket. Det vil si at en kan regne med en lengre levetid for disse, sammenlignet med en neddykket betong.

8 Konklusjoner

Resultatene fra denne undersøkelsen antyder at bestandigheten for betongen spesifisert som «SV 30» og «SV 40» er god sammenlignet med tidligere betonger av type B350/C35.

Det er i rapporten antydnet en dobling av levetid, der minimumsoverdekningen ble økt fra 40 mm til 60 mm.

Tilsvarende er det vist en markant økning i levetid i sammenligning av betongkvalitet mellom bruene Gimsøystraumen og Bakkasundet. Beregningene viste nær en femdobling av levetiden.

For Bakkasundet bru antyder beregningene en begynnende armeringskorrosjon etter rundt 100 år. Sannsynlig vis vil dette da gjelde for le-sonene på pilarene.

For Solavågen fergekai antyder beregningene at det vil gå mer enn 50 år før armeringskorrosjonen vil inntreffe. Sannsynlig vis vil dette først gjelde for undersiden av fergekaia.

Stokkøybrua viser minst kloridinntrengning og dermed lengst forventet levetid, sett ut fra tidspunkt for initiering av armeringskorrosjon.

Resultatene fra de ulike prøveuttakene antyder en forventet levetid som prosjektert. Da antall prøveuttak i prosjektet var begrenset, anbefales det å legge inn større sikkerhet i form av høyere betongkvalitet og økt overdekning, for å ta høyde for variasjoner som har betydning for levetiden.

9 Referanser

Helland, Steinar, The «Selmer» chloride ingress model, kap 2.3, Prediction models for chloride ingress and corrosion initiation in concrete structures, Nilsson, Lars-Olof, Publikation P-01:6, Chalmers Tekniska Högskola, 2001

Ueli Angst, Bernhard Elsner, Claus K. Larsen, Øystein Vennesland, Critical chloride content in reinforced concrete – A review, Cement and Concrete Research, 2009

Kompen, Reidar, Betongregelverk og betongbruer i historisk perspektiv, Fagdag
Etatsprogrammet Varige konstruksjoner, 12 februar 2014, Felix konferansesenter, Oslo

Skjølvold, Ola, Intern rapport nr. 2196, Gimsøystraumen Bru, Spesialinspeksjon 1992 – kloridprofiler, Vegteknisk avdeling, april 2001

Bjøntegaard, Øyvind, Møllenberg betongtunnel – FoU bestandighet: Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015, Vegdirektoratet, oktober 2015

Skjølvold, Ola, Kloriddiffusjon i betong. Vurdering av aldringseffekten ved felteksponeering, COIN, Project report 11, SINTEF, 2011

Vedlegg 1 – Rapport fra NBTL

NBTL' Prøvingsrapport				Norsk betong - og tilslagslaboratorium AS
Oppdragsgiver(e) Statens Vegvesen Vegdirektoratet				Sorgenfriveien 11 7037 Trondheim Telefon: 73 945150
Oppdragsgivers referanse Claus K. Larsen				Telefax: 73 945151 E-mail: viggo.jensen@nbt.no Web: www.nbt.no
Oppdragets art Laboratorieanalyser iht. avrop 14				Organisasjonsnr. NO 984 706 138 Sertifisert prøvingslaboratorium nr U19 
Prøvematerialet 193 støvprøver og 12 borekjerner				Ansvarlig signatur: Viggo Jensen 
Rapportnummer P 13352	Dato 18.11.2013	Gradering Fortrolig	Sider + bilag 2 + 6 (98s)	Saksbehandler Viggo Jensen
Innhold Prøvingsresultater				

1. Formål

Prøvingene er en del av rammeavtale på laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, tilbud 2010174185 avrop 14. Formålet er å dokumentere prøvematerialet iht kravspesifikasjon: " Beskrivelse av oppdraget"

2. Prøvematerialet

193 stk støvprøver merket A1 (1-13), B1 (1-13), C1 (1-13), E2 (1-12), E3 (1-12), F2 (1-13), F3 (1-13), G1 (1-13), G2 (1-13), H2 (1-13), H3 (1-13), I1 (1-13), I3 (1-13), L1 (1-13) og L2 (1-13) samt 12 stk borekjerner Ø 84 mm og varierende lengder merket E2, E3, F2, F3, G1, G2, I1, I2, I3, L1, L2 og L4. Prøvematerialet ble mottatt den 19. juli 2013 i COWIs materialelaboratorium.

3. Utførte prøvinger

Det er utført prøvinger iht. Kravspesifikasjon gitt i avrop 14:

- Kloridinnhold ved potensiometrisk titrering
- Kalsiuminnhold ved potensiometrisk titrering
- Dokumentasjon av kjerner og armering
- Akselerert koridinntrenging (neddykket kloriddiffusjon)
- Resistivitet av borekjerner
- Porøsitet og resistivitet

Note: Alle analysene er utført av COWI

Norsk betong- og tilslagslaboratorium AS (NBTL) er et uavhengig norsk selskap. Et av formålene med selskapet er å tilby kostnadseffektiv prøving og tjenester av høy kvalitet til byggindustrien, byggherrer og betong - og tilslagsbransjen.

4. Resultater

Resultatene av prøvingene er gitt i etterfølgende vedlegg .

Vedlegg:

- Vedlegg 1: Kloridinnhold ved potensiometrisk titrering, 15 sider
- Vedlegg 2: Kalsiuminnhold ved potensiometrisk titrering, 3 sider
- Vedlegg 3: Dokumentasjon for kerner og armering, Cowi dok. Nr. A039417-0-04.2, 14 sider
- Vedlegg 4: Accelereret kloridintrænging, Cowi dok. Nr. A039417-02-04.4, 28 sider
- Vedlegg 5: Resistivitet av borekerner, Cowi dok. Nr. A039417-04-04.3, 14 sider
- Vedlegg 6: Bestem. av porøsitet og resistivitet, Cowi dok. Nr. A039417-04-04.1, 24 sider

I tillegg er det fremsendt 3 regneark med digitale resultater



Vedlegg 1:

Kloridinnhold ved potensiometrisk titrering, 15 sider

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titring

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 26-09-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
A1-1	0-2	3,00	0,15
A1-2	2-4	3,00	0,25
A1-3	4-6	3,00	0,24
A1-4	6-8	3,00	0,29
A1-5	8-10	3,00	0,18
A1-6	10-15	3,00	0,14
A1-7	15-20	3,00	0,08
A1-8	20-25	3,00	0,01
A1-9	25-30	3,00	0,01
A1-10	30-35	3,00	0,01
A1-11	35-40	3,00	0,01
A1-12	40-45	3,00	0,01
A1-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHS

Godkendt: PSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 27-09-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
B1-1	0-2	3,00	0,25
B1-2	2-4	3,00	0,24
B1-3	4-6	3,01	0,17
B1-4	6-8	3,00	0,12
B1-5	8-10	3,01	0,11
B1-6	10-15	3,00	0,07
B1-7	15-20	3,01	0,03
B1-8	20-25	3,00	0,01
B1-9	25-30	3,00	0,01
B1-10	30-35	3,00	0,01
B1-11	35-40	3,00	0,01
B1-12	40-45	3,00	0,01
B1-13	45-50	3,00	0,01

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHSJ

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titring

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 27-09-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
C1-1	0-2	3,00	0,06
C1-2	2-4	3,00	0,08
C1-3	4-6	3,01	0,15
C1-4	6-8	3,00	0,13
C1-5	8-10	3,00	0,11
C1-6	10-15	3,00	0,08
C1-7	15-20	3,01	0,01
C1-8	20-25	3,00	0,00
C1-9	25-30	3,01	0,00
C1-10	30-35	3,00	0,00
C1-11	35-40	3,00	0,00
C1-12	40-45	3,00	0,03
C1-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MH5

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 30-09-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
E2-1	0-2	3,00	0,08
E2-2	2-4	3,00	0,07
E2-3	4-6	3,00	0,05
E2-4	6-8	3,00	0,04
E2-5	8-10	3,01	0,03
E2-6	10-15	3,01	0,02
E2-7	15-20	3,00	0,01
E2-8	20-25	3,00	0,01
E2-9	25-30	3,01	0,00
E2-10	30-35	3,00	0,00
E2-11	35-40	3,01	0,01
E2-12	40-45	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHSJ

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 02-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
E3-1	0-2	3,01	0,04
E3-2	2-4	3,00	0,06
E3-3	4-6	3,00	0,04
E3-4	6-8	3,01	0,02
E3-5	8-10	3,01	0,01
E3-6	10-15	3,01	0,01
E3-7	15-20	3,00	0,01
E3-8	20-25	3,00	0,00
E3-9	25-30	3,00	0,01
E3-10	30-35	3,00	0,00
E3-11	35-40	3,01	0,01
E3-12	40-45	3,01	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: BELN

Kontrolleret: MHS

Godkendt: RSD

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 02-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
F2-1	0-2	3,01	0,13
F2-2	2-4	3,00	0,11
F2-3	4-6	3,01	0,09
F2-4	6-8	3,00	0,06
F2-5	8-10	3,00	0,04
F2-6	10-15	3,00	0,02
F2-7	15-20	3,01	0,00
F2-8	20-25	3,00	0,00
F2-9	25-30	3,00	0,00
F2-10	30-35	3,01	0,00
F2-11	35-40	3,00	0,00
F2-12	40-45	3,00	0,00
F2-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHS

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 04-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
F3-1	0-2	3,00	0,10
F3-2	2-4	3,01	0,09
F3-3	4-6	3,00	0,08
F3-4	6-8	3,01	0,06
F3-5	8-10	3,00	0,03
F3-6	10-15	3,01	0,01
F3-7	15-20	3,01	0,01
F3-8	20-25	3,00	0,00
F3-9	25-30	3,01	0,00
F3-10	30-35	3,00	0,00
F3-11	35-40	3,00	0,01
F3-12	40-45	3,00	0,00
F3-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHSJ

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titring

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 07-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
G1-1	0-2	3,00	0,10
G1-2	2-4	3,01	0,08
G1-3	4-6	3,00	0,04
G1-4	6-8	3,00	0,03
G1-5	8-10	3,00	0,01
G1-6	10-15	3,00	0,01
G1-7	15-20	3,01	0,01
G1-8	20-25	3,00	0,00
G1-9	25-30	3,01	0,00
G1-10	30-35	3,00	0,00
G1-11	35-40	3,00	0,00
G1-12	40-45	3,00	0,00
G1-13	45-50	3,00	0,01

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MFS

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 08-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
G2-1	0-2	3,00	0,10
G2-2	2-4	3,00	0,08
G2-3	4-6	3,00	0,04
G2-4	6-8	3,00	0,03
G2-5	8-10	3,00	0,01
G2-6	10-15	3,00	0,01
G2-7	15-20	3,00	0,00
G2-8	20-25	3,00	0,00
G2-9	25-30	3,00	0,00
G2-10	30-35	3,00	0,00
G2-11	35-40	3,00	0,00
G2-12	40-45	3,01	0,00
G2-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHSD

Godkendt: PSE

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 08-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
----------------------	-------------	-----------------	---

H2-1	0-2	3,01	0,07
H2-2	2-4	3,00	0,05
H2-3	4-6	3,00	0,03
H2-4	6-8	3,00	0,01
H2-5	8-10	3,00	0,01
H2-6	10-15	3,00	0,00
H2-7	15-20	3,01	0,00
H2-8	20-25	3,00	0,00
H2-9	25-30	3,01	0,00
H2-10	30-35	3,00	0,00
H2-11	35-40	3,00	0,00
H2-12	40-45	3,00	0,00
H2-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHST

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 10-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
----------------------	-------------	-----------------	---

H3-1	0-2	3,00	0,08
H3-2	2-4	3,01	0,06
H3-3	4-6	3,00	0,03
H3-4	6-8	3,00	0,02
H3-5	8-10	3,00	0,01
H3-6	10-15	3,00	0,01
H3-7	15-20	3,00	0,00
H3-8	20-25	3,00	0,00
H3-9	25-30	3,00	0,00
H3-10	30-35	3,00	0,00
H3-11	35-40	3,00	0,00
H3-12	40-45	3,00	0,00
H3-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet:

Beln

Kontrolleret:

MHSS

Godkendt:

BSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 11-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
----------------------	-------------	-----------------	---

I1-1	0-2	3,00	0,09
I1-2	2-4	3,00	0,06
I1-3	4-6	3,00	0,02
I1-4	6-8	3,01	0,01
I1-5	8-10	3,00	0,00
I1-6	10-15	3,00	0,00
I1-7	15-20	3,00	0,00
I1-8	20-25	3,00	0,00
I1-9	25-30	3,00	0,00
I1-10	30-35	3,00	0,00
I1-11	35-40	3,01	0,00
I1-12	40-45	3,00	0,00
I1-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHSJ

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 15-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
----------------------	-------------	-----------------	---

I3-1	0-2	3,01	0,08
I3-2	2-4	3,00	0,06
I3-3	4-6	3,00	0,02
I3-4	6-8	3,00	0,00
I3-5	8-10	3,00	0,01
I3-6	10-15	3,00	0,00
I3-7	15-20	3,00	0,00
I3-8	20-25	3,00	0,00
I3-9	25-30	3,01	0,00
I3-10	30-35	3,00	0,00
I3-11	35-40	3,00	0,00
I3-12	40-45	3,00	0,00
I3-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHJ

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 15-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
L1-1	0-2	3,00	0,11
L1-2	2-4	3,00	0,05
L1-3	4-6	3,00	0,02
L1-4	6-8	3,01	0,02
L1-5	8-10	3,01	0,01
L1-6	10-15	3,01	0,00
L1-7	15-20	3,00	0,00
L1-8	20-25	3,00	0,00
L1-9	25-30	3,00	0,00
L1-10	30-35	3,01	0,00
L1-11	35-40	3,00	0,00
L1-12	40-45	3,00	0,00
L1-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHS

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af kloridindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417-001 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 16-10-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Hærdnet betons kloridindhold
Svarer på alle væsentlige punkter til DS/EN 14629

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten
L2-1	0-2	3,00	0,08
L2-2	2-4	3,00	0,06
L2-3	4-6	3,00	0,03
L2-4	6-8	3,00	0,02
L2-5	8-10	3,01	0,01
L2-6	10-15	3,00	0,01
L2-7	15-20	3,00	0,00
L2-8	20-25	3,00	0,00
L2-9	25-30	3,00	0,00
L2-10	30-35	3,00	0,00
L2-11	35-40	3,00	0,00
L2-12	40-45	3,00	0,00
L2-13	45-50	3,00	0,00

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kloridindholdet er angivet som masse% af tør beton, og kan omregnes til:
Natriumklorid% ved at gange med 1.65
Kalciumklorid% ved at gange med 1.57
Kloridindhold i forhold til cementvægten ved at gange med 6-8

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHS

Godkendt: RSC

Vedlegg 2:

Kalsiuminnhold ved potensiometrisk titrering, 3 sider

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af Kalciumindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 12-11-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Metode 1, Nordtest projekt nr. 1581-02

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kalciumindhold % CaO af betonvægten
----------------------	-------------	-----------------	--

Serie A1

A1-1	0-2	3,00	16,9
A1-2	2-4	3,00	13,4
A1-3	4-6	3,00	12,3
A1-4	6-8	3,00	12,5
A1-5	8-10	3,00	11,6
A1-6	10-15	3,00	11,3
A1-7	15-20	3,00	12,7

Serie B1

B1-1	0-2	3,00	17,1
B1-2	2-4	3,00	13,6
B1-3	4-6	3,00	11,2
B1-4	6-8	3,00	10,0
B1-5	8-10	3,00	10,4
B1-6	10-15	3,00	10,0

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kalciumindholdet er angivet som masse% af tør beton.

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHSJ

Godkendt: PSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af Kalciumindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Arop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 13/14-11-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Metode 1, Nordtest projekt nr. 1581-02

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kalciumindhold % CaO af betonvægten
----------------------	-------------	-----------------	--

Serie C1

C1-1	0-2	3,00	16,2
C1-2	2-4	3,00	10,7
C1-3	4-6	3,00	9,3
C1-4	6-8	3,00	9,0
C1-5	8-10	3,00	10,0
C1-6	10-15	3,00	11,0

Serie E2

E2-1	0-2	3,00	13,4
E2-2	2-4	3,00	9,7

Serie F2

F2-1	0-2	3,00	16,4
F2-2	2-4	3,00	12,0
F2-3	4-6	3,00	12,2

Serie F3

F3-1	0-2	3,00	16,2
F3-2	2-4	3,00	12,6
F3-3	4-6	3,00	12,2

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger: Kalciumindholdet er angivet som masse% af tør beton.

Udarbejdet:

Beln

Kontrolleret:

MHSJ

Godkendt:

RSO

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af Kalciumindhold ved potentiometrisk titrering

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Arop 14
Lab. Nr. P04 Init: BELN
Dato: 13/14-11-2013 Rekvirent: Ekstern

Prøveudtagningsmetode: Pulver udtaget af rekvirent
Metodereference: Metode 1, Nordtest projekt nr. 1581-02

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	Dybde mm	Prøvemasse g	Kalciumindhold % CaO af betonvægten
Serie G1			
G1-1	0-2	3,00	14,8
G1-2	2-4	3,00	12,9
Serie G2			
G2-1	0-2	3,00	15,5
G2-2	2-4	3,00	14,6
Serie H2			
H2-1	0-2	3,00	18,2
Serie H3			
H3-1	0-2	3,00	17,4
Serie I1			
I1-1	0-2	3,00	17,8
Serie I3			
I3-1*	0-2	0,68	14,6
Serie L1			
L1-1	0-2	3,00	16,3
Serie L2			
L2-1	0-2	3,00	19,1

COWI Materialelaboratorium

Bemærkninger:

Kalciumindholdet er angivet som masse% af tør beton.

*Der var ikke tilstrækkeligt med prøvemasse

Udarbejdet: Beln

Kontrolleret: MHJ

Godkendt: RSO

Vedlegg 3-6:

På etterfølgende sider (Cowi prøvingsrapporter):

- Vedlegg 3 Dokumentasjon for kerner og armering, Cowi dok. Nr. A039417-0-04.2, 14 sider
- Vedlegg 4: Accelereret kloridintrænging, Cowi dok. Nr. A039417-02-04.4, 28 sider
- Vedlegg 5: Resistivitet av borekerner, Cowi dok. Nr. A039417-04-04.3, 14 sider
- Vedlegg 6: Bestem. av porøsitet og resistivitet, Cowi dok. Nr. A039417-04-04.1, 24 sider

STATENS VEGVESEN

AVROP 14 – DOKUMENTATION FOR KERNER OG ARMERING

PRØVNINGSRAPPORT

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	2
2	Modtagelse	2
3	Fotodokumentation af Kerner	2
3.1	Prøveserie E	2
3.2	Prøveserie F	3
3.3	Prøveserie G	4
3.4	Prøveserie I	5
3.5	Prøveserie L	7
4	Armering og armeringsaftryk i beton	9
4.1	Kerne E3	9
4.2	Kerne G1	10
4.3	Kerne G2	12
4.4	Kerne I2	13
4.5	Kerne I3	14

PROJEKTNR. A039417
DOKUMENTNR. A039417-0-04.2
VERSION 1
UDGIVELSESDATO 31.10.2013
UDARBEJDET MHSJ
KONTROLLERET RSO
GODKENDT RSO

1 Indledning

I forbindelse med modtagelsen af kerner til prøveserierne i Avrop 14 er der foretaget dokumentation af kernerne. Dette er gjort ved fotografering samt registrering af armering og længde af kernerne. Yderligere er der taget billeder af armering og armeringsaftryk i betonen efter armeringen er blevet frigjort fra betonen i forbindelse med prøveneddeling.

2 Modtagelse

Kernerne var ved modtagelse pakket ind i plastik og forseglet med pakketape. Indpakningen blev fjernet før fotodokumentation og herefter blev kernerne mærket op med henblik på neddeling til de enkelte delprøvninger.

3 Fotodokumentation af Kerner

For de enkelte kerne er taget foto, samt målt diameter, længde og skønnet en brugbar længde af kernen. Dog er der i den brugbare længde ikke taget højde for evt. armering.

3.1 Prøveserie E

3.1.1 Kerne E2

Diameter: Ø84	Længde: 102 mm	Brugbar længde: 79 mm
---------------	----------------	-----------------------

Bemærkninger: Bindetråd ca. 50 mm fra skåren flade.



3.1.2 Kerne E3

Diameter: Ø84	Længde: 183 mm	Brugbar længde: 165 mm
---------------	----------------	------------------------

Bemærkninger: Armering (Ø22) ca. 10 mm fra skåren flade.

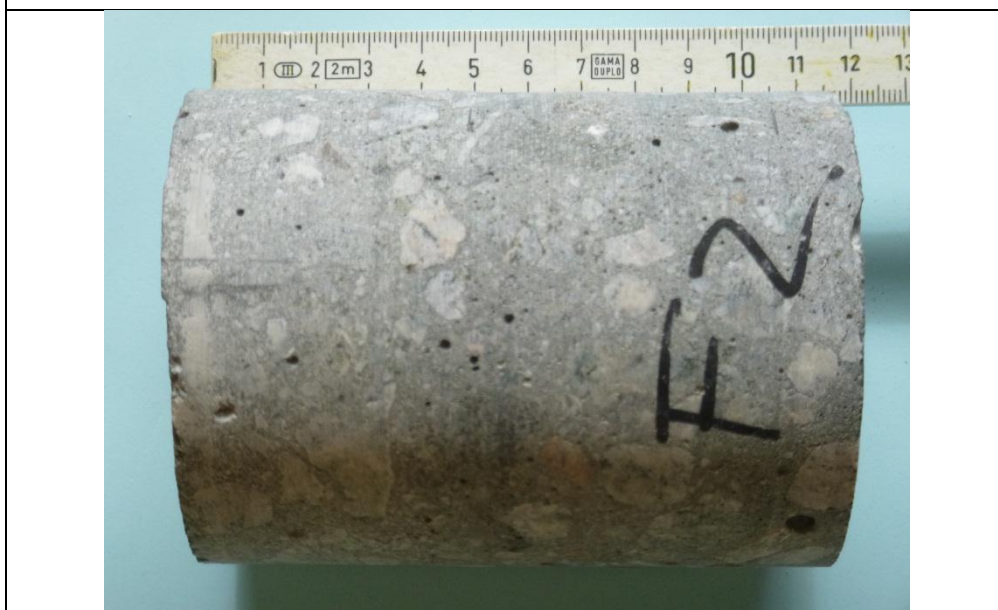


3.2 Prøveserie F

3.2.1 Kerne F2

Diameter: Ø84	Længde: 113 mm	Brugbar længde: 105 mm
---------------	----------------	------------------------

Bemærkninger: Savflade i begge ender.



3.2.2 Kerne F3

Diameter: Ø84	Længde: 173 mm	Brugbar længde: 150 mm
---------------	----------------	------------------------

Bemærkninger: Ingen.



3.3 Prøveserie G


3.3.1 Kerne G1

Diameter: Ø84	Længde: 128 mm	Brugbar længde: 128 mm
---------------	----------------	------------------------

Bemærkninger: Armering i dybderne 20 mm og 40 mm, med en ca. diameter på henholdsvis Ø20 og Ø35. Savflade i begge ender.

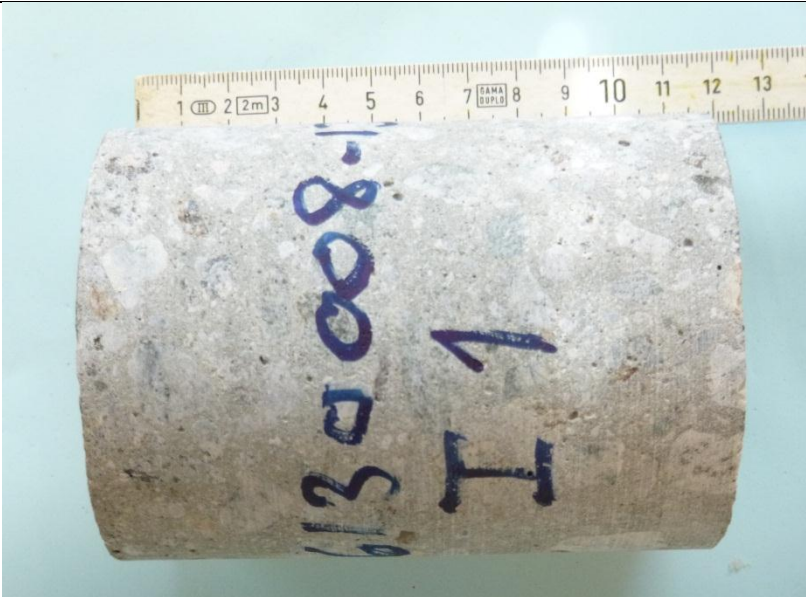


3.3.2 Kerne G2

Diameter: Ø84	Længde: 183 mm	Brugbar længde: 172 mm
Bemærkninger: Armering i dybderne 41 mm og 48 mm, men en ca. diameter på henholdsvis Ø32 og Ø24.		
		

3.4 Prøveserie I

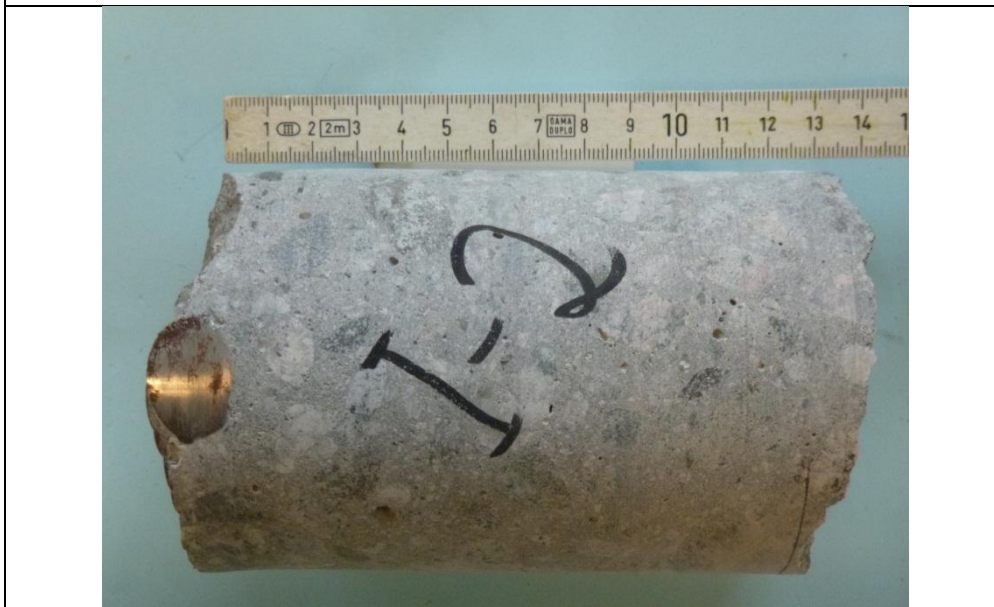
3.4.1 Kerne I1

Diameter: Ø84	Længde: 116 mm	Brugbar længde: 111 mm
Bemærkninger: Savflade i begge ender.		
		

3.4.2 Kerne I2

Diameter: Ø84	Længde: 136 mm	Brugbar længde: 106 mm
---------------	----------------	------------------------

Bemærkninger: Brudflader i begge ender. Armering i brudflade Ø16.



3.4.3 Kerne I3

Diameter: Ø84	Længde: 166 mm	Brugbar længde: 153 mm
---------------	----------------	------------------------

Bemærkninger: Armering ved overflade og ca. 19 mm fra overflade med en diameter på Ø20.

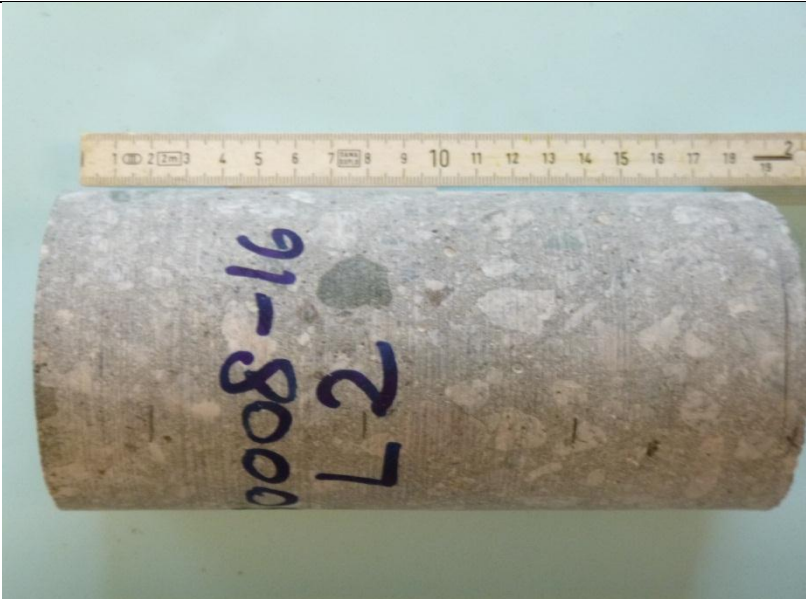


3.5 Prøveserie L

3.5.1 Kerne L1

Diameter: Ø84	Længde: 94 mm	Brugbar længde: 87 mm
Bemærkninger: Savflade i begge ender.		
		

3.5.2 Kerne L2

Diameter: Ø84	Længde: 188 mm	Brugbar længde: 175 mm
Bemærkninger: Ingen.		
		

3.5.3 Kerne L3

Diameter: Ø84	Længde: 122 mm	Brugbar længde: 94 mm
---------------	----------------	-----------------------

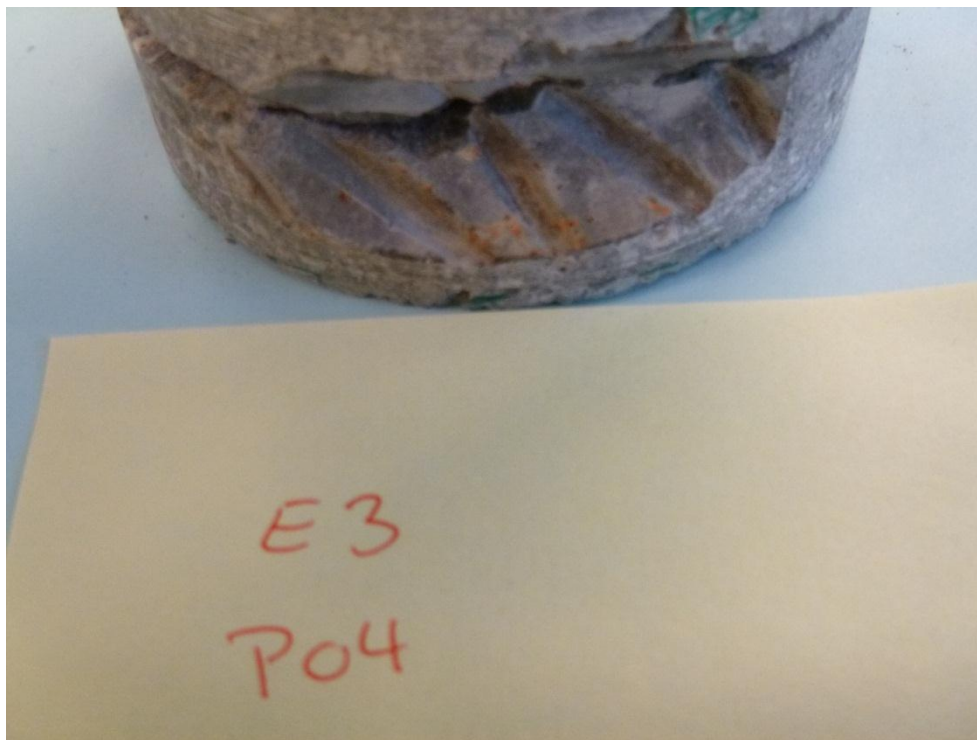
Bemærkninger: Brudflade i begge ender.



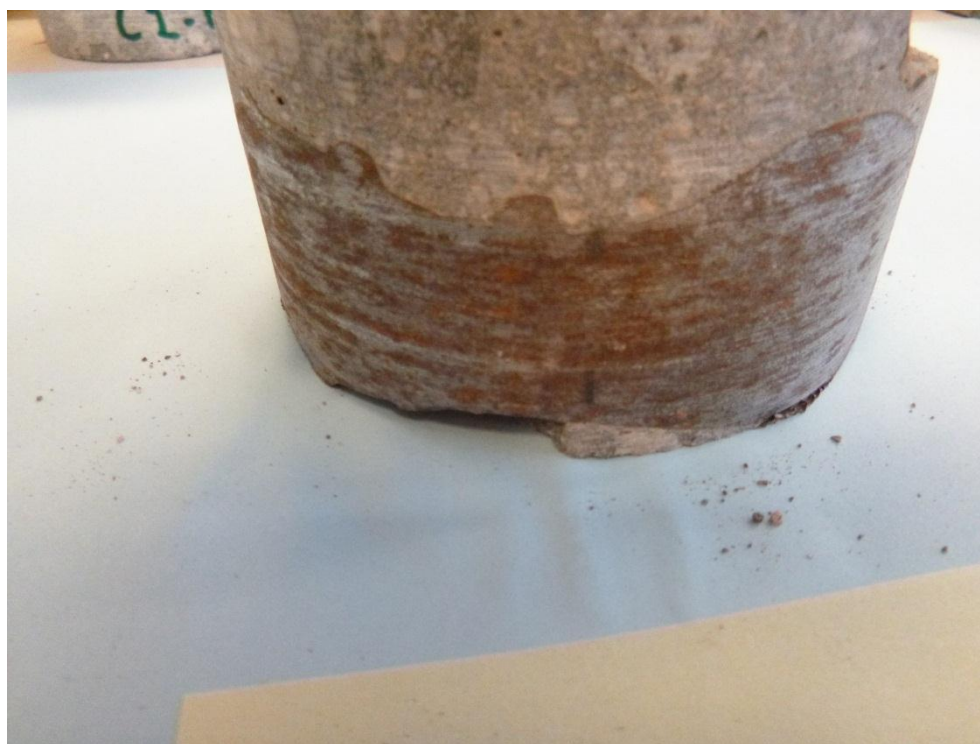
4 Armering og armeringsaftryk i beton

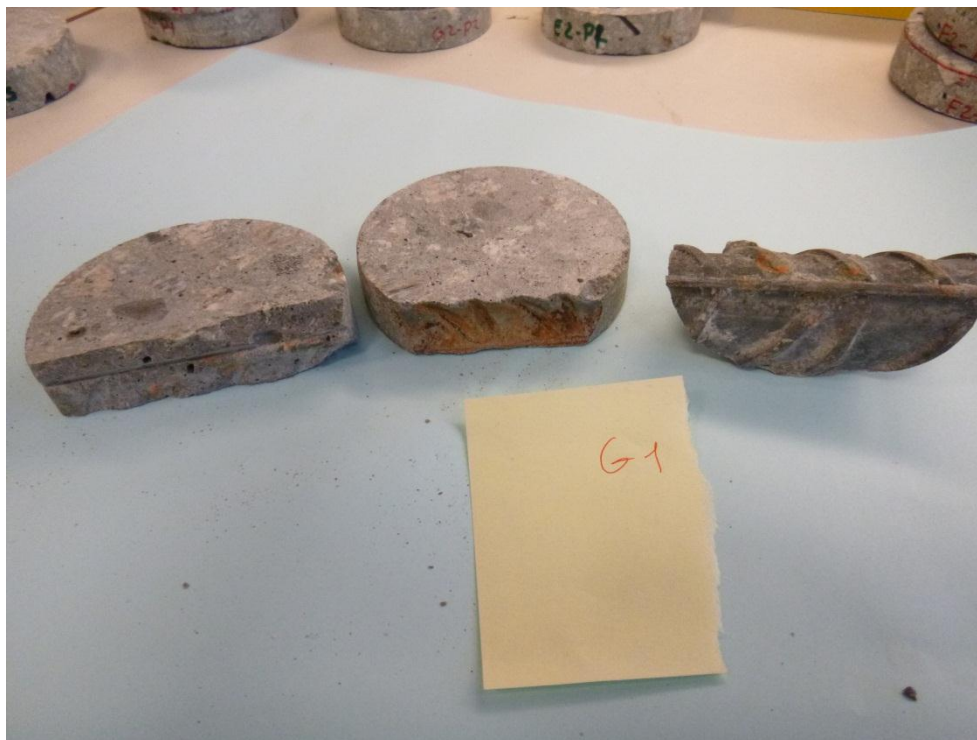
Følgende billeder viser armering og armeringsaftryk i betonen for de enkelte kerner.

4.1 Kerne E3



4.2 Kerne G1





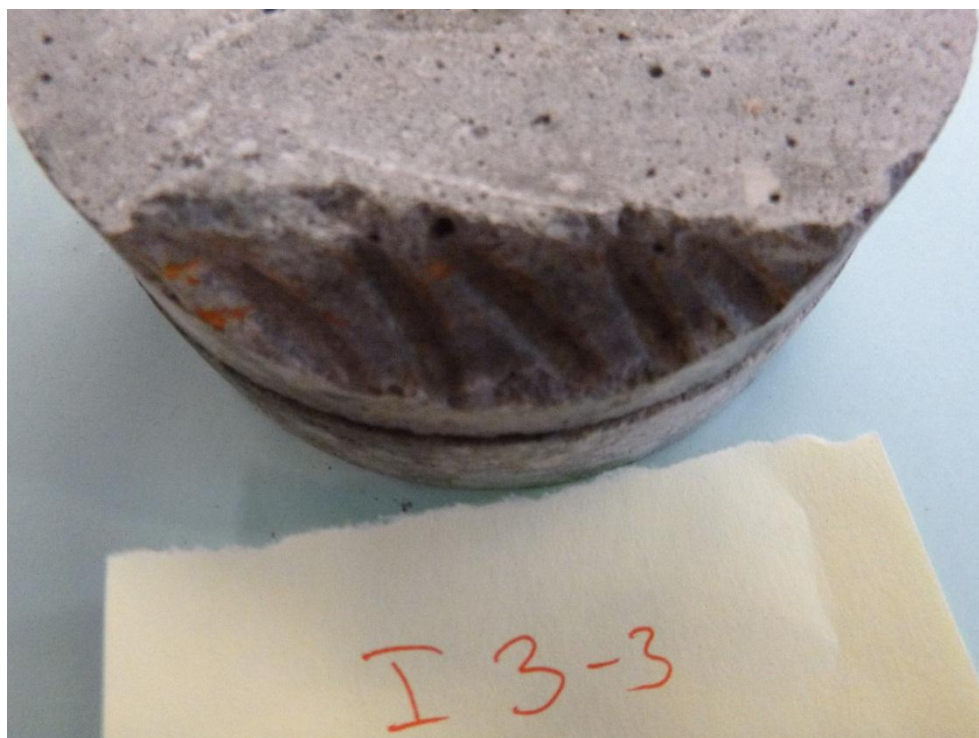
4.3 Kerne G2



4.4 Kerne I2



4.5 Kerne I3



STATENS VEGVESEN

AVROP 14 - ACCELERERET KLORIDINDTRÆNGNING

PRØVNINGSRAPPORT

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Målemetode	2
2	Prøveemner og modtagelse	2
3	Resultater	3
3.1	Serie E	3
3.2	Serie F	5
3.3	Serie G	7
3.4	Serie I	9
3.5	Serie L	11
4	Sammenfatning	12

BILAG

Bilag A	Prøvningsrapport kloridindtrængningsparametre	13
---------	--	----

PROJEKTNR. A039417
DOKUMENTNR. A039417-02-04.4
VERSION 1
UDGIVELSESDATO 12.11.2013
UDARBEJDET MHSJ
KONTROLLERET RSO
GODKENDT RSO

1 Målemetode

Den anvendte målemetode følger Håndbok 014, prosess 14.651, med følgende præcisering angivet i udbudsmaterialet for Avrop 14 fra Statens Vegvesen.

- › Emnerne eksponeres i 35 døgn i saltopløsning for alle serier.
- › Forholdet mellem arealet af det eksponerede betonareal i cm² og mængden af væske i dm³ skal være mellem 20 og 80.
- › Betonens resistivitet måles efter tildannelse af prøveemner, før forsegling med epoxy og efter eksponering i NaCl, resultaterne ses af COWI dok. nr. A039417-04-04.3.
- › Fræsning skal foretages efter et modificeret profil som er angivet i Tabel 1.

Tabel 1 – Viser fræseprofil for emnerne.

Afstand fra eksponeret overflade	Tykkelse på niveau
0-2 mm	2 mm
0-4 mm	2 mm
4-6 mm	2 mm
6-8 mm	2 mm
8-10 mm	2 mm
10-12 mm	2 mm
12-16 mm	4 mm
16-20 mm	4 mm
20-25 mm	5 mm
25-30 mm	5 mm

2 Prøveemner og modtagelse

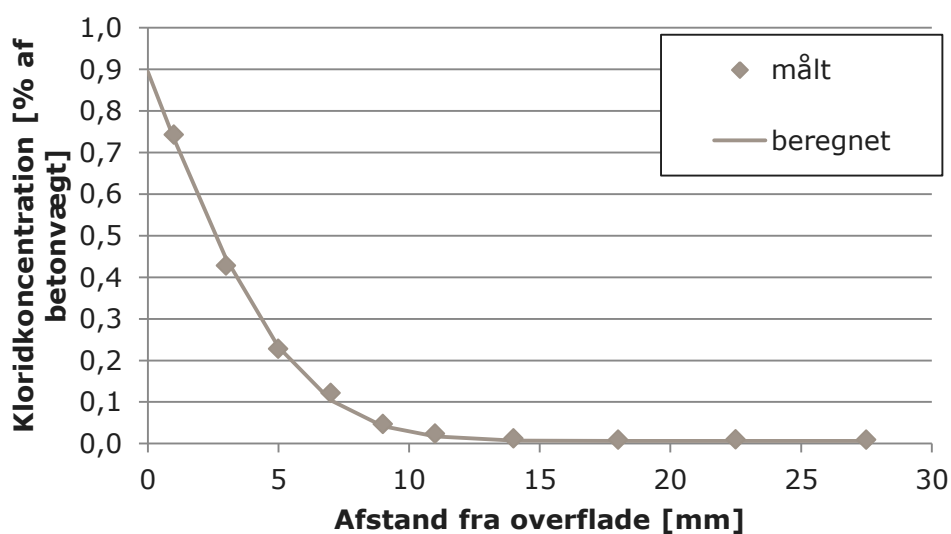
Borekernerne blev modtaget i COWIs laboratorium, hvorefter de blev neddelte efter, hvad der er foreskrevet i udbudsmaterialet for Avrop 14.

3 Resultater

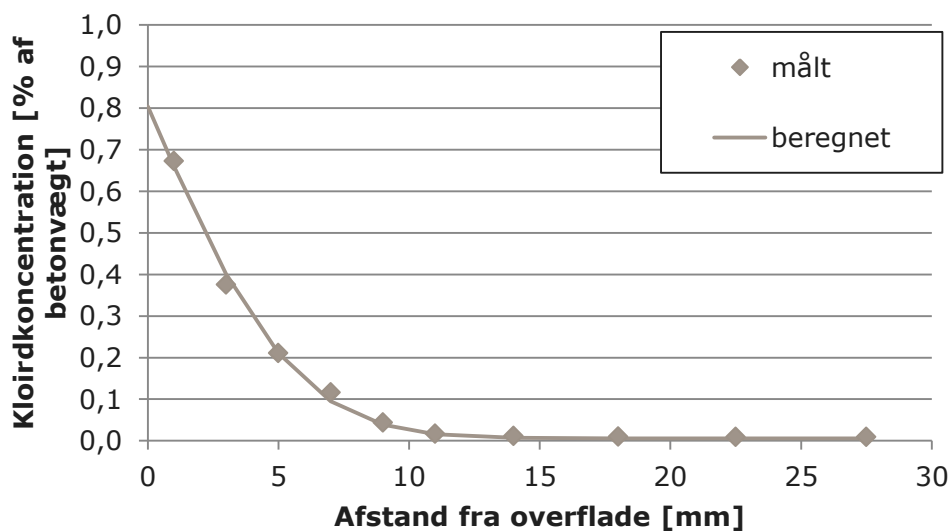
Der er for alle emner udført kurvefit med alle målepunkter, samt med baggrunds-kloridkoncentrationen bestemt for de enkelte kerner.

3.1 Serie E

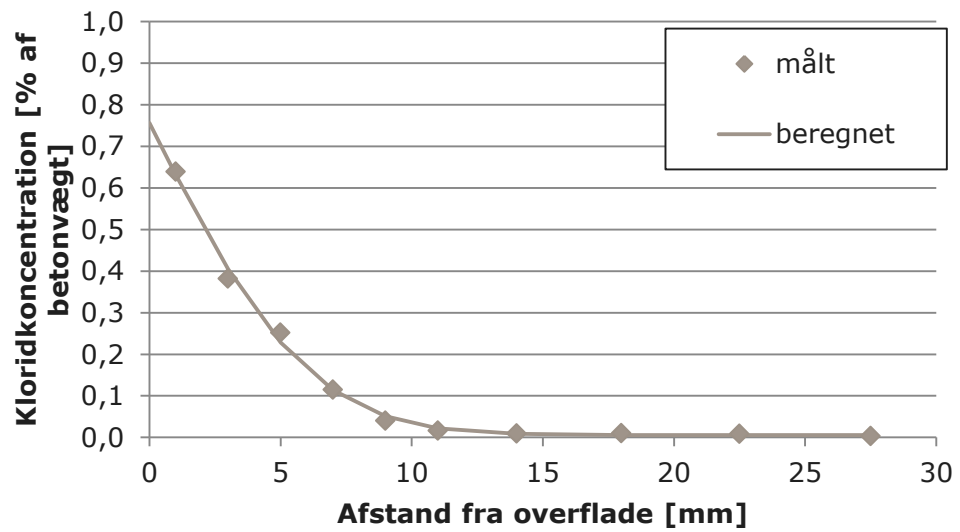
Kurvefit for de enkelte emner i serie E er vist i Figur 1 til Figur 3, den fulde prøvningsrapport er vedlagt som Bilag A.



Figur 1 – Viser kurvefit for emne E2-1.



Figur 2 – Viser kurvefit for emne E3-1.



Figur 3 - Viser kurvefit for emne E3-2.

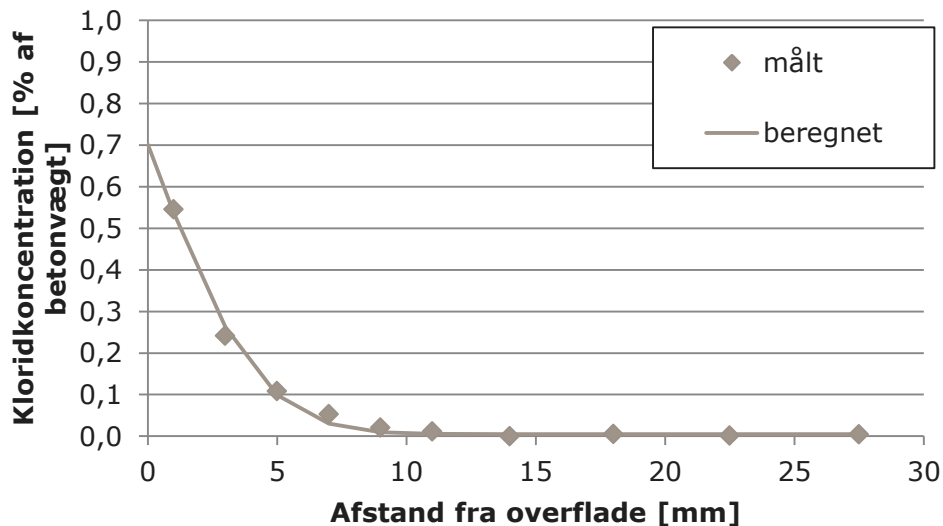
Af Tabel 2 fremgår de enkelte diffusionsparametre for hvert af emnerne, samt midelværdien for hele måleserien.

Tabel 2 – Viser overfladekoncentration, baggrundskoncentration og diffusionskoefficient for de enkelte emner i serie E.

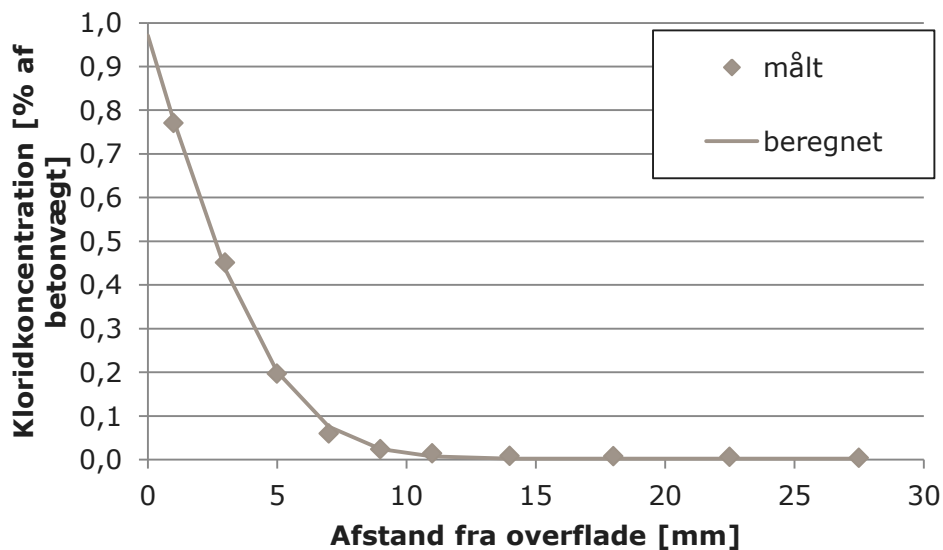
Emne	Overflade koncentration	Baggrundskoncentration	Diffusionskoefficient
	% af betonvægt	% af betonvægt	m ² /s
E2-1	0,894	0,006	3,19 · 10 ⁻¹²
E3-1	0,804	0,006	3,20 · 10 ⁻¹²
E3-2	0,756	0,006	3,79 · 10 ⁻¹²
middel	0,780	0,006	3,39 · 10⁻¹²

3.2 Serie F

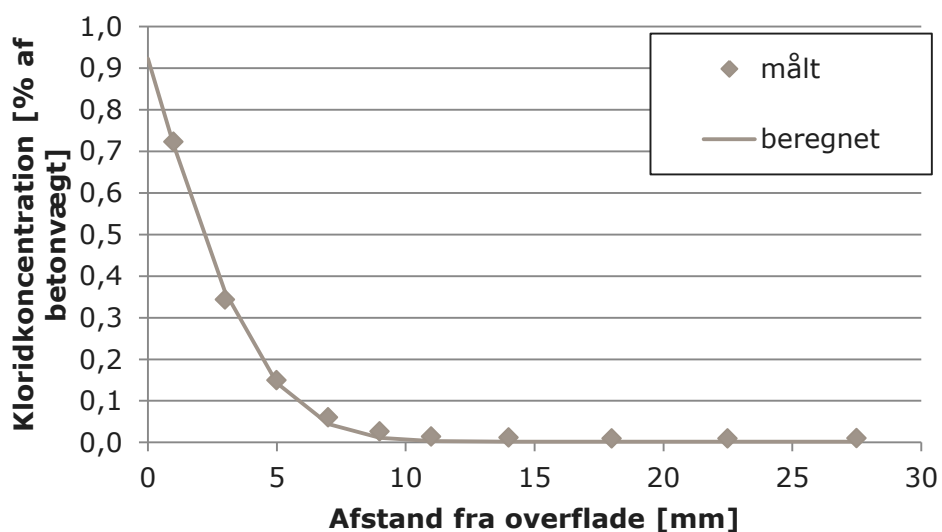
Kurvefit for de enkelte emner i serie F er vist i Figur 4 til Figur 6, den fulde prøvningsrapport er vedlagt som Bilag A.



Figur 4 – Viser kurvefit for emne F2-1



Figur 5 – Viser kurvefit for emne F3-1.



Figur 6 – Viser kurvefit for emne F3-2.

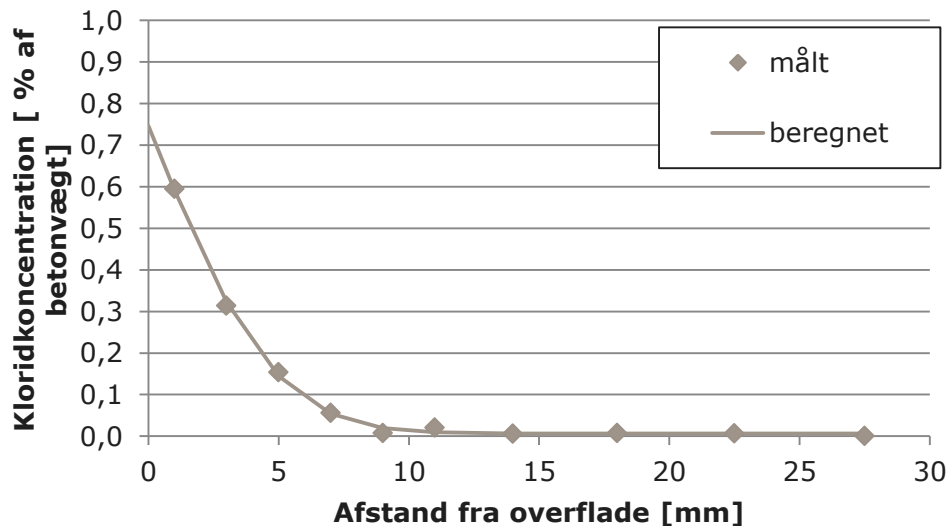
Af Tabel 3 fremgår de enkelte diffusionsparametre for hvert af emnerne, samt midelværdien for hele måleserien.

Tabel 3 – Viser overfladekoncentration, baggrundskoncentration og diffusionskoefficient for de enkelte emner i serie F.

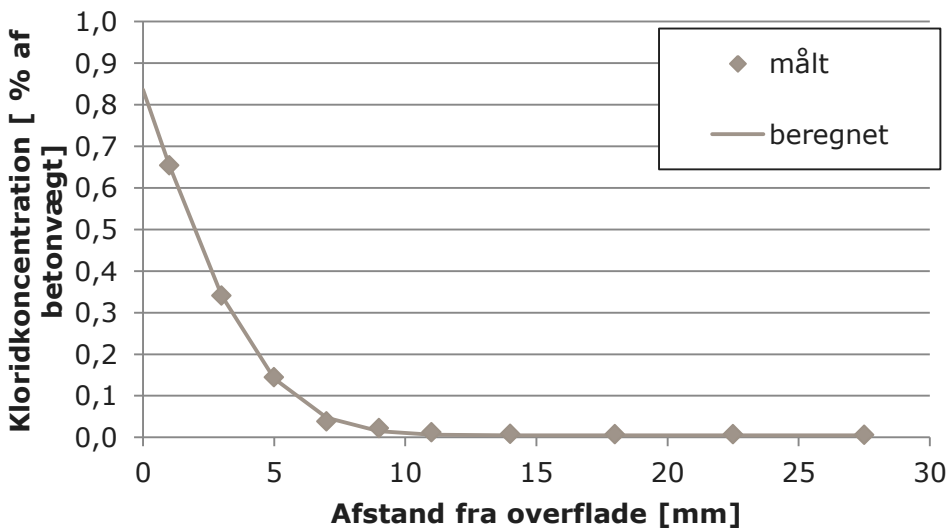
Emne	Overflade koncentration	Baggrundskoncentration	Diffusionskoefficient
	% af betonvægt	% af betonvægt	m ² /s
F2-1	0,701	0,005	$1,85 \cdot 10^{-12}$
F3-1	0,971	0,002	$2,57 \cdot 10^{-12}$
F3-2	0,923	0,002	$2,02 \cdot 10^{-12}$
middel	0,865	0,003	$2,15 \cdot 10^{-12}$

3.3 Serie G

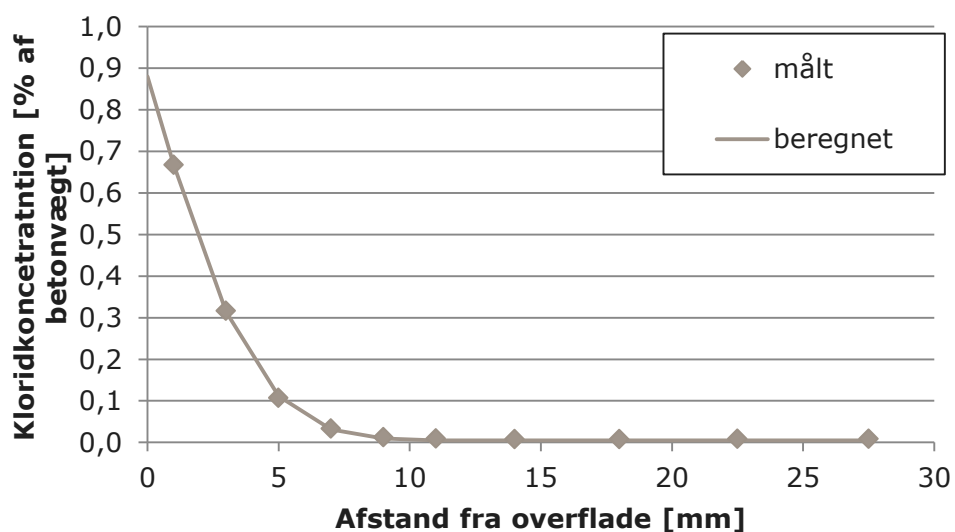
Kurvefit for de enkelte emner i serie G er vist i Figur 7 til Figur 9, den fulde prøvningsrapport er vedlagt som Bilag A.



Figur 7 – Viser kurvefit for emne G1-1.



Figur 8 – Viser kurvefit for emne G2-1.



Figur 9 – Viser kurvefit for emne G2-2.

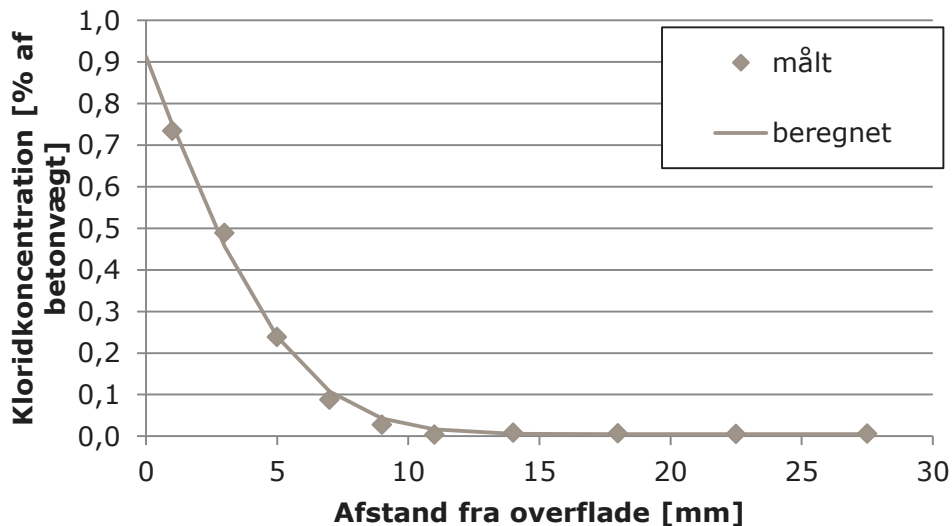
Af Tabel 4 fremgår de enkelte diffusionsparametre for hvert af emnerne, samt midelværdien for hele måleserien.

Tabel 4 – Viser overfladekoncentration, baggrundskoncentration og diffusionskoefficient for de enkelte emner i serie G

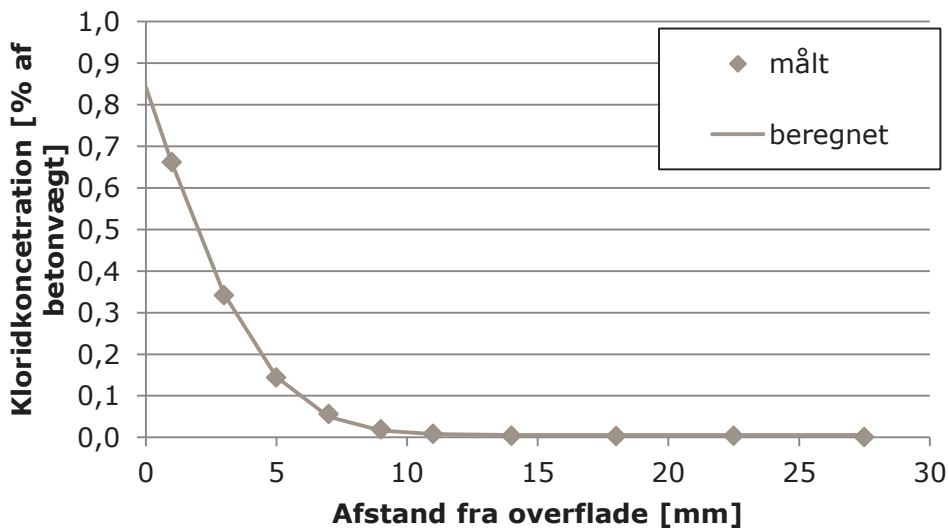
Emne	Overflade koncentration	Baggrundskoncentration	Diffusionskoefficient
	% af betonvægt	% af betonvægt	m ² /s
G1-1	0,746	0,007	2,37 · 10 ⁻¹²
G2-1	0,836	0,005	2,14 · 10 ⁻¹²
G2-2	0,880	0,005	1,73 · 10 ⁻¹²
middel	0,821	0,006	2,08 · 10⁻¹²

3.4 Serie I

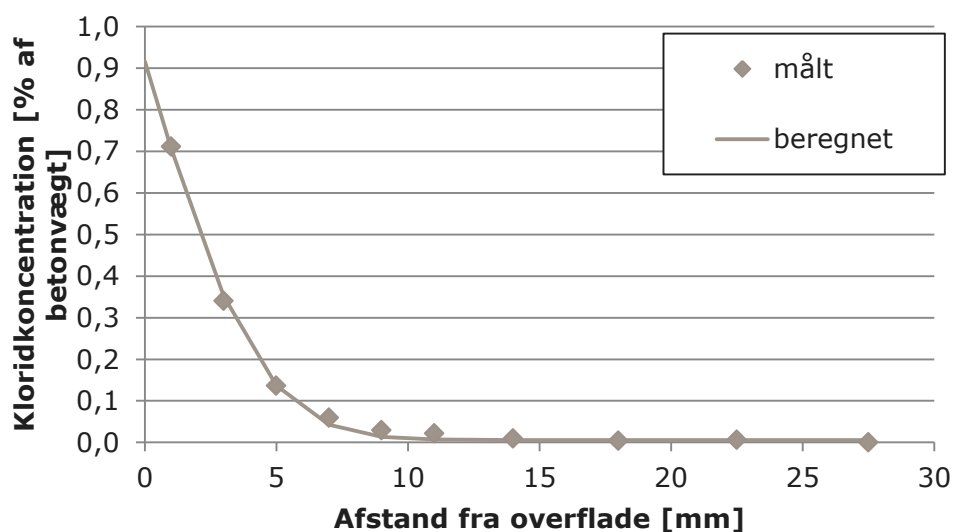
Kurvefit for de enkelte emner i serie I er vist i Figur 10 til Figur 12, den fulde prøvningsrapport er vedlagt som Bilag A.



Figur 10 – Viser kurvefit for emne I1-1.



Figur 11 – Viser kurvefit for emne I3-1.



Figur 12 – Viser kurvefit for emne I3-2.

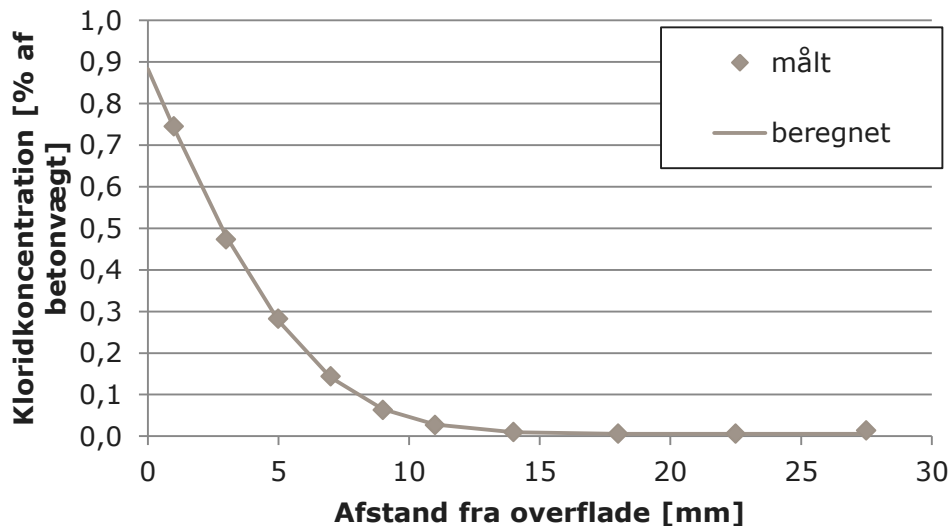
Af Tabel 5 fremgår de enkelte diffusionsparametre for hvert af emnerne, samt middelværdien for hele måleserien.

Tabel 5 – Viser overfladekoncentration, baggrundskoncentration og diffusionskoefficient for de enkelte emner i serie I

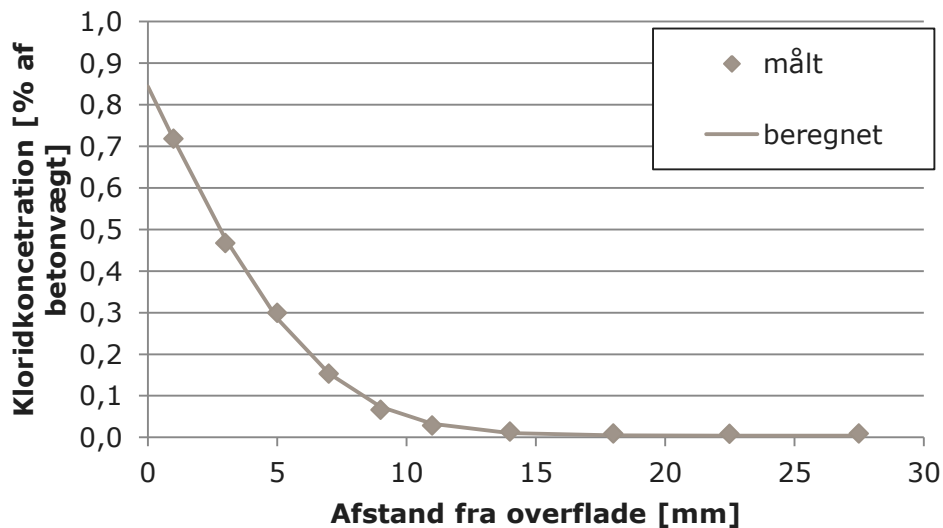
Emne	Overflade koncentration	Baggrundskoncentration	Diffusionskoefficient
	% af betonvægt	% af betonvægt	m ² /s
I1-1	0,913	0,005	$3,22 \cdot 10^{-12}$
I3-1	0,842	0,006	$2,15 \cdot 10^{-12}$
I3-2	0,916	0,006	$1,93 \cdot 10^{-12}$
middel	0,890	0,006	$2,43 \cdot 10^{-12}$

3.5 Serie L

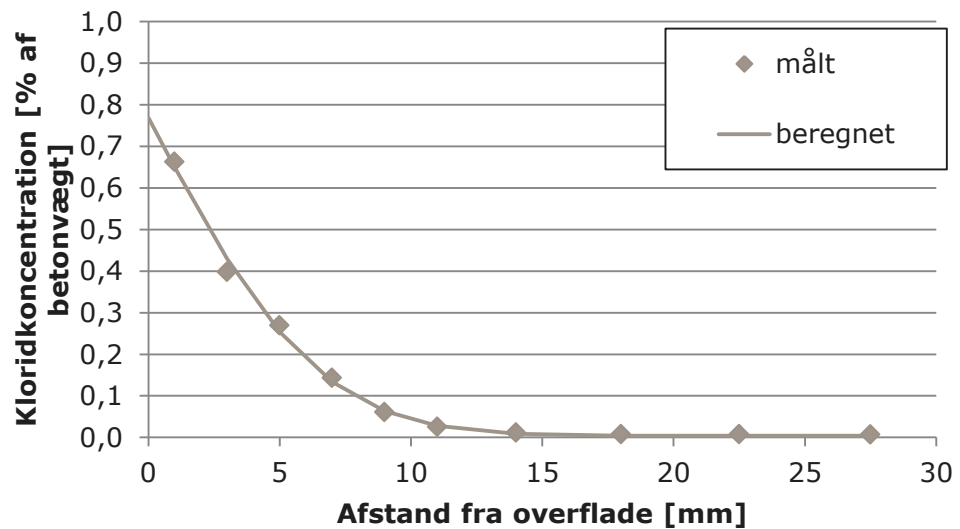
Kurvefit for de enkelte emner i serie I er vist i Figur 13 til Figur 15, den fulde prøvningsrapport er vedlagt som Bilag A.



Figur 13 – Viser kurvefit for emne L1-1.



Figur 14 – Viser kurvefit for emne L2-1.



Figur 15 – Viser kurvefit for emne L2-2

Af Tabel 6 fremgår de enkelte diffusionsparametre for hvert af emnerne, samt middelværdien for hele måleserien.

Tabel 6 – Viser overfladekoncentration, baggrundskoncentration og diffusionskoefficient for de enkelte emner i serie L

Emne	Overflade koncentration	Baggrundskoncentration	Diffusionskoefficient
	% af betonvægt	% af betonvægt	m ² /s
L1-1	0,883	0,006	4,00 · 10 ⁻¹²
L2-1	0,844	0,004	4,45 · 10 ⁻¹²
L2-2	0,768	0,004	4,30 · 10 ⁻¹²
middel	0,832	0,005	4,25 · 10⁻¹²

4 Sammenfatning

Middelværdierne for de enkelte måleserier er angivet i Tabel 7.

Tabel 7 – Viser middelværdierne for de enkelte serier.

Serie	Overflade koncentration	Baggrundskoncentration	Diffusionskoefficient
	% af betonvægt	% af betonvægt	m ² /s
E	0,780	0,006	3,39 · 10 ⁻¹²
F	0,865	0,003	2,15 · 10 ⁻¹²
G	0,821	0,006	2,08 · 10 ⁻¹²
I	0,890	0,006	2,43 · 10 ⁻¹²
L	0,832	0,005	4,25 · 10 ⁻¹²

Bilag A Prøvningsrapport kloridindtrængningsparametre

COWI Materialelaboratorium

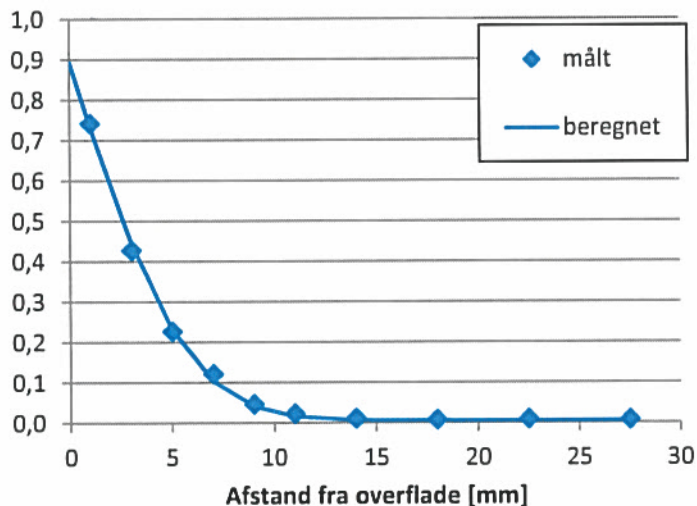
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: E2-1
Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
Dato: 06.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,743	Eksponeringstid: 35 dage
	3,0	0,428	
	5,0	0,228	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,006 %
	7,0	0,122	
	9,0	0,047	Evt. tærskelværdi %
	11,0	0,024	
	14,0	0,012	
	18,0	0,009	
	22,5	0,010	
	27,5	0,009	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusionskoefficient, D: $3,19 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s: 0,894 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

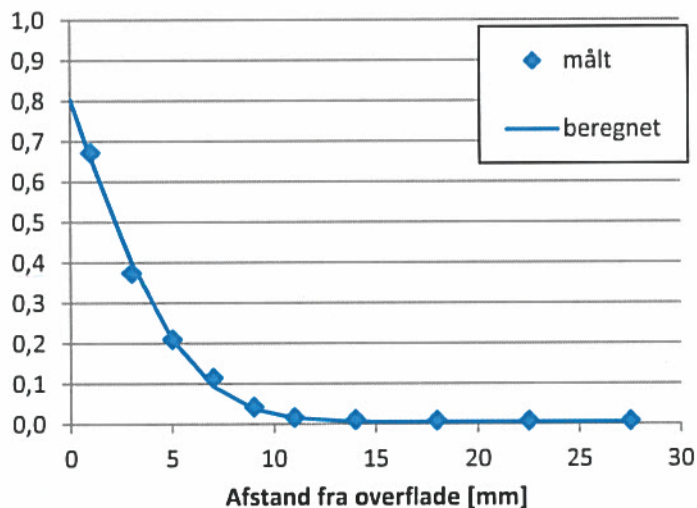
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: E3-1
Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
Dato: 11.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl^- af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,673	Eksponeringstid: 35 dage
	3,0	0,376	
	5,0	0,211	Baggrunds- koncentration, C_i : 0,006 %
	7,0	0,116	
	9,0	0,044	
	11,0	0,017	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,012	
	18,0	0,010	
	22,5	0,009	
	27,5	0,009	

Kloridkoncentration



Diffusionskoefficient, D : $3,20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s : 0,804 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSE

Godkendt: RSE

COWI Materialelaboratorium

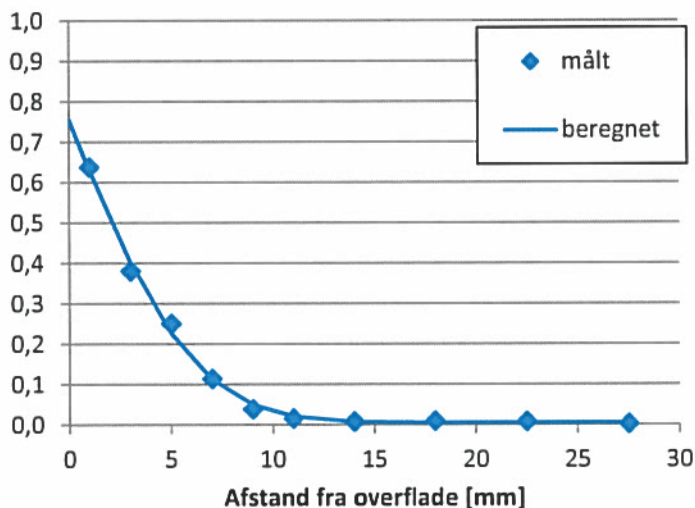
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: E3-2
Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
Dato: 05.10.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl^- af betonavægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,638	Eksponeringstid: 35 dage
	3,0	0,381	
	5,0	0,252	Baggrunds-koncentration, C_i : 0,006 %
	7,0	0,115	
	9,0	0,040	
	11,0	0,016	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,009	
	18,0	0,010	
	22,5	0,008	
	27,5	0,003	

Kloridkoncentration [% af betonavægt]



Diffusionskoefficient, D : $3,79 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s : 0,756 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

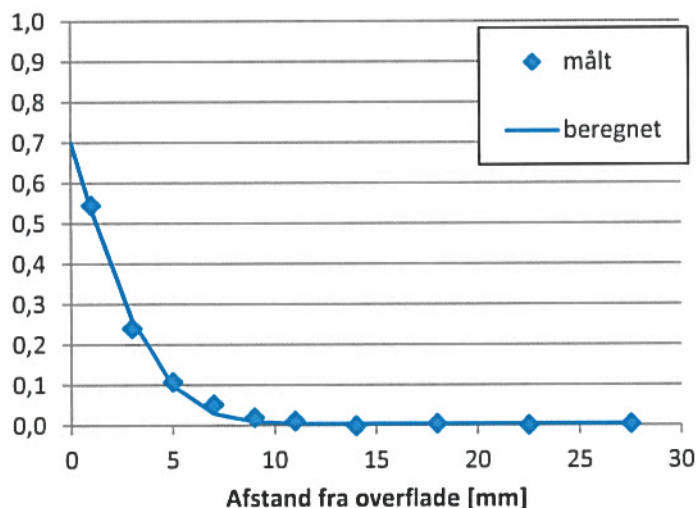
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: F2-1
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 31.10.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,545	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,241	
	5,0	0,109	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,005 %
	7,0	0,053	
	9,0	0,021	
	11,0	0,012	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,000	
	18,0	0,005	
	22,5	0,002	
	27,5	0,005	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusionskoefficient, D: $1,85 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s: 0,701 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: Rso

Godkendt: Rso

COWI Materialelaboratorium

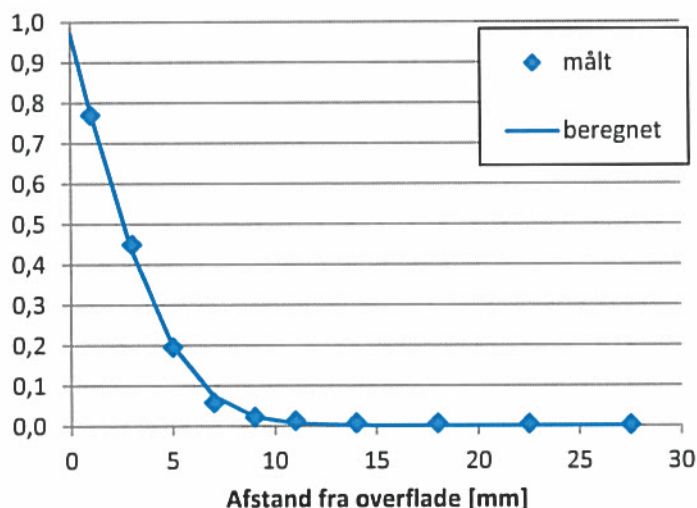
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: F3-1
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 31.10.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,771	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,451	
	5,0	0,197	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,002 %
	7,0	0,060	
	9,0	0,024	
	11,0	0,014	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,009	
	18,0	0,008	
	22,5	0,006	
	27,5	0,004	

Kloridkoncentration
 [% af betonvægt]



Diffusions-
 koefficient, D: $2,57 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
 koncentration, C_s: 0,971 %

COWI Materialelaboratorium

Note
 Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHS

Kontrolleret: RSC

Godkendt: RSC

COWI Materialelaboratorium

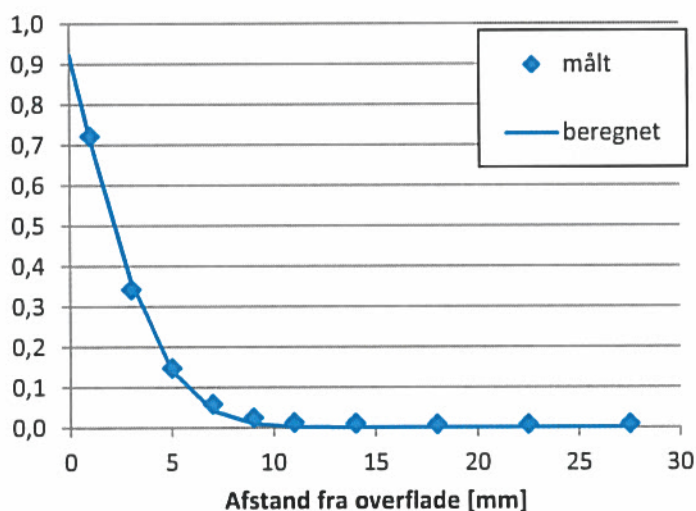
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: F3-2
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 31.10.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,723	Eksponeringsstid: 35 dage
	3,0	0,343	
	5,0	0,149	Baggrunds-koncentration, C _i : 0,002 %
	7,0	0,060	
	9,0	0,026	Evt. tærskelværdi %
	11,0	0,014	
	14,0	0,012	
	18,0	0,009	
	22,5	0,009	
	27,5	0,010	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusionskoefficient, D: $2,02 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s: 0,923 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

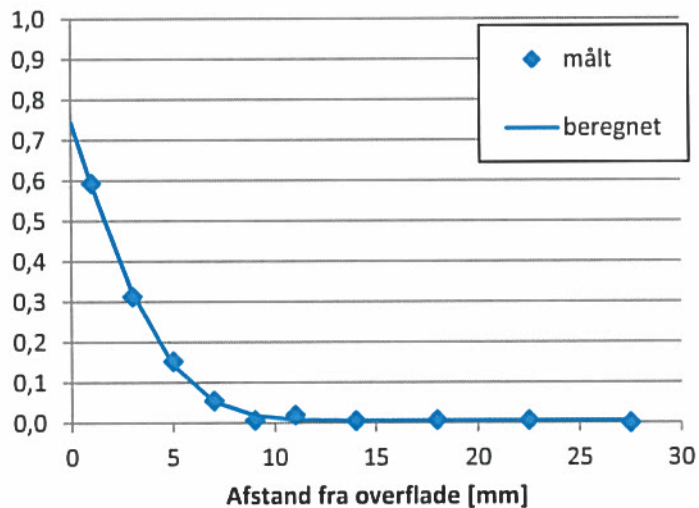
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: G1-1
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 31.10.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,595	Eksponeringstid: 35 dage
	3,0	0,314	
	5,0	0,154	Baggrunds-koncentration, C _i : 0,007 %
	7,0	0,056	
	9,0	0,008	
	11,0	0,021	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,006	
	18,0	0,008	
	22,5	0,007	
	27,5	0,001	

Kloridkoncentration
 [% af betonvægt]



Diffusionskoefficient, D: $2,37 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s: 0,746 %

COWI Materialelaboratorium

Note
 Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

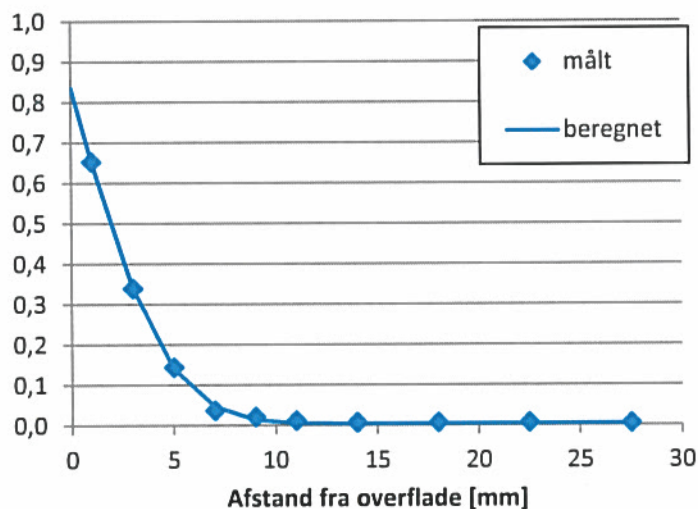
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: G2-1
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 31.10.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,654	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,341	
	5,0	0,145	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,005 %
	7,0	0,038	
	9,0	0,022	
	11,0	0,013	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,008	
	18,0	0,008	
	22,5	0,008	
	27,5	0,006	

Kloridkoncentration
 [% af betonvægt]



Diffusions-
 koefficient, D: $2,14 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
 koncentration, C_s: 0,836 %

COWI Materialelaboratorium

Note
 Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

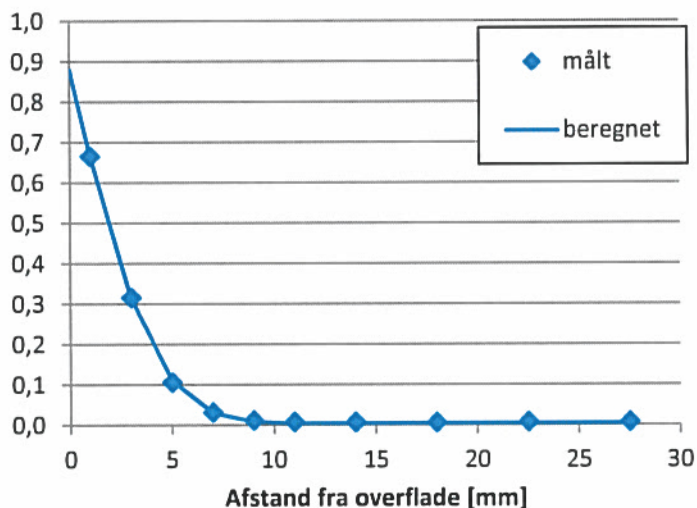
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: G2-2
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 11.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,667	Eksponeringstid: 35 dage
	3,0	0,316	
	5,0	0,107	Baggrunds-koncentration, C _i : 0,005 %
	7,0	0,033	
	9,0	0,013	
	11,0	0,009	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,008	
	18,0	0,007	
	22,5	0,009	
	27,5	0,009	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusionskoefficient, D: $1,73 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s: 0,880 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

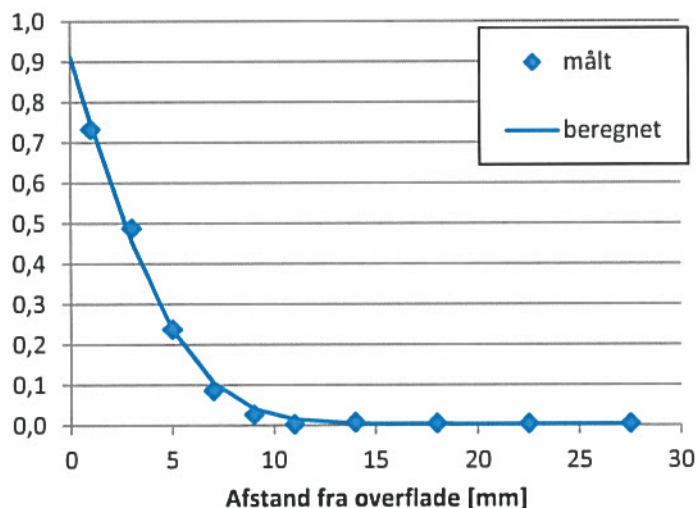
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: I1-1
Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
Dato: 05.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl^- af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,734	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,489	
	5,0	0,239	Baggrunds- koncentration, C_i : 0,005 %
	7,0	0,088	
	9,0	0,027	
	11,0	0,004	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,008	
	18,0	0,007	
	22,5	0,006	
	27,5	0,006	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusions-
koefficient, D : $3,22 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
koncentration, C_s : 0,913 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

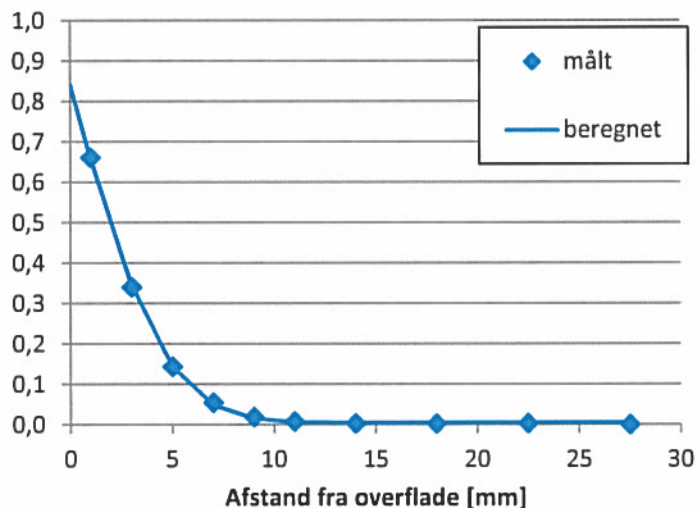
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: I3-1
Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
Dato: 05.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl^- af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,662	Eksponeringstid: 35 dage
	3,0	0,341	
	5,0	0,144	Baggrunds- koncentration, C_i : 0,006 %
	7,0	0,056	
	9,0	0,020	
	11,0	0,009	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,004	
	18,0	0,003	
	22,5	0,004	
	27,5	0,001	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusionskoefficient, D : $2,15 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overfladekoncentration, C_s : 0,842 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

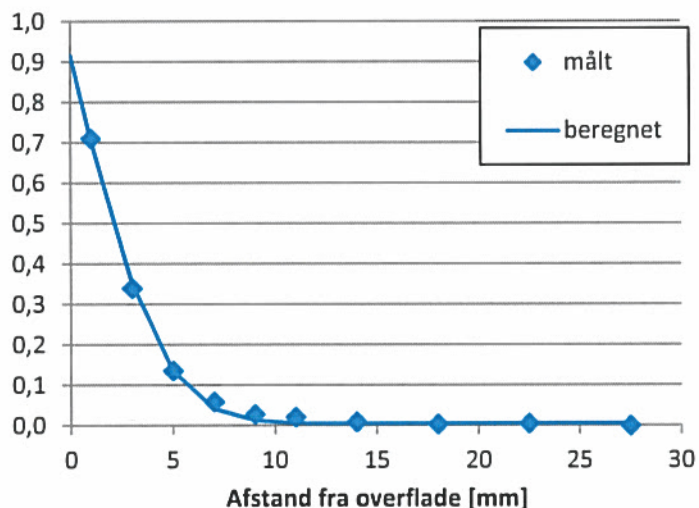
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: I3-2
Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
Dato: 05.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde <i>mm</i>	Målt kloridindhold <i>% Cl⁻ af betonvægten</i>	Øvrige oplysninger
	1,0	0,711	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,340	
	5,0	0,136	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,006 %
	7,0	0,059	
	9,0	0,029	
	11,0	0,021	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,009	
	18,0	0,004	
	22,5	0,006	
	27,5	0,000	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusions-
koefficient, D: $1,93 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
koncentration, C_s: 0,916 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

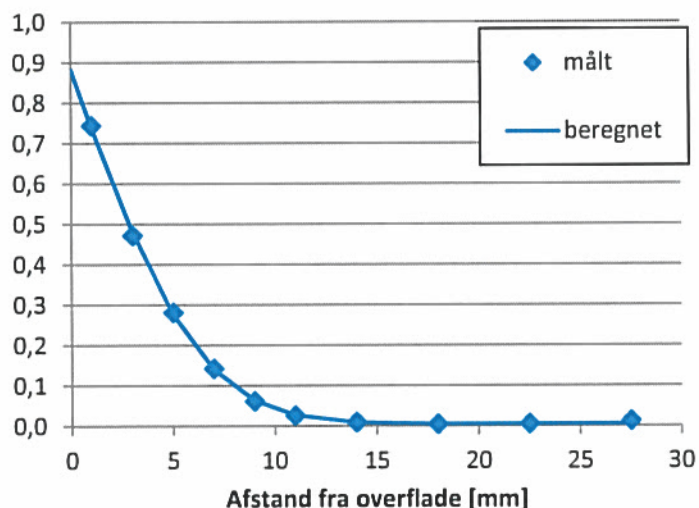
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: L1-1
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 05.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,745	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,473	
	5,0	0,282	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,006 %
	7,0	0,144	
	9,0	0,063	
	11,0	0,027	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,010	
	18,0	0,006	
	22,5	0,006	
	27,5	0,014	

Kloridkoncentration
 [% af betonvægt]



Diffusions-
 koefficient, D: $4,00 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
 koncentration, C_s: 0,883 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: RSO

Godkendt: RSO

COWI Materialelaboratorium

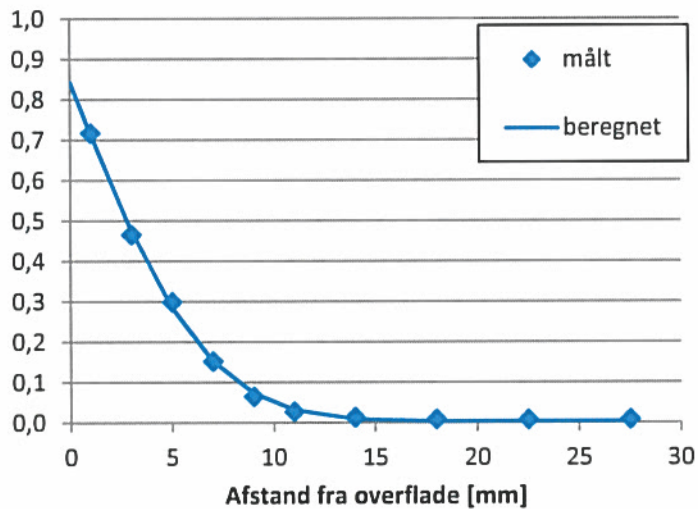
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: L2-1
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 11.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,718	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,467	
	5,0	0,300	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,004 %
	7,0	0,153	
	9,0	0,066	
	11,0	0,028	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,014	
	18,0	0,009	
	22,5	0,008	
	27,5	0,009	

Kloridkoncentration
 [% af betonvægt]



Diffusions-
 koefficient, D: $4,45 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
 koncentration, C_s: 0,844 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: Rsa

Godkendt: Rsa

COWI Materialelaboratorium

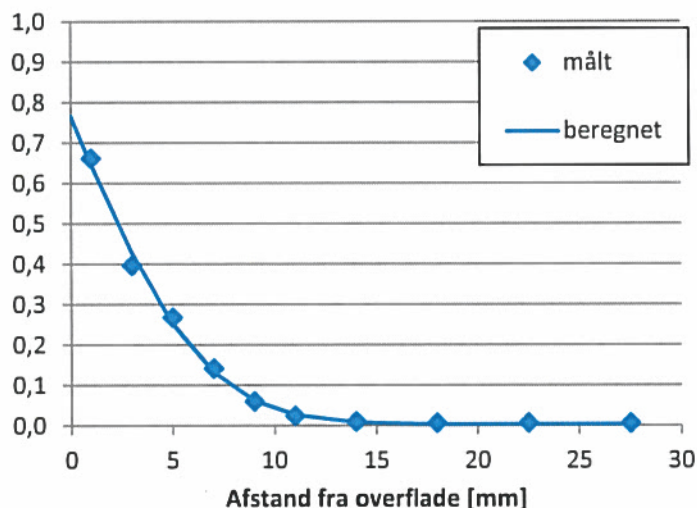
Bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Sagsnr.: A039417 Sagsnavn: Avrop 14 Emne: L2-2
 Lab. Nr. P04 Init: MHSJ
 Dato: 11.11.2013 Rekvirent: Ekstern

Metodereference: Kloridindtrængning i hærdnet beton
 Svarer mht. resultatbehandling til NT BUILD 443

Se note	Gennemsnitsdybde mm	Målt kloridindhold % Cl ⁻ af betonvægten	Øvrige oplysninger
	1,0	0,662	Eksponerings- tid: 35 dage
	3,0	0,398	
	5,0	0,269	Baggrunds- koncentration, C _i : 0,004 %
	7,0	0,143	
	9,0	0,061	
	11,0	0,025	Evt. tærskelværdi %
	14,0	0,011	
	18,0	0,008	
	22,5	0,008	
	27,5	0,007	

Kloridkoncentration [% af betonvægt]



Diffusions-
koefficient, D: $4,30 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Overflade-
koncentration, C_s: 0,768 %

COWI Materialelaboratorium

Note

Måleresultater markeret med "x" indgår ikke i bestemmelse af kloridindtrængningsparametre

Udført: MHSJ

Kontrolleret: Rso

Godkendt: Rso

STATENS VEGVESEN

AVROP 14 - RESISTIVITET AF BOREKERNER

PRØVNINGSRAPPORT

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Målemetode	2
2	Prøveemner og -modtagelse	2
3	Resultater	3
4	Sammenfatning	5

BILAG

Bilag A	Beregningsskema for resistivitet
Bilag B	APM 219: Hardened concrete

PROJEKTNR. A039417
DOKUMENTNR. A039417-04-04.3
VERSION 1
UDGIVELSESDATO 31.10.2013
UDARBEJDET MHSJ
KONTROLLERET RSO
GODKENDT RSO

1 Målemetode

Den anvendte målemetode er beskrevet i APM 219: Hardened concrete, se Bilag B.

Resistiviteten bestemmes ved hjælp af følgende udtryk fra APM 219.

$$\rho = \frac{A \cdot R_s}{\delta}$$

Hvor

- › A er emnet tværsnits areal
- › R_s er emnet modstand
- › δ er emnets tykkelse

Resistiviteten blev målt ved følgende tilstande.

- › Før vandmætning i Ca(OH)_2
- › Efter vandmætning i Ca(OH)_2
- › Efter 35 dage i NaCl (165 g/liter)

2 Prøveemner og -modtagelse

Ved modtagelse blev kernerne opdelt, efter anvisningen i Avrop 14. Således blev der 15 emner af en ca. størrelse på Ø84 og en længde på ca. 50 mm. Emnerne er efter neddeling blevet mærket med følgende:

Serie	Kerne	Emne
E	E2	E2-1
	E3	E3-1
		E3-2
F	F2	F2-1
	F3	F3-1
		F3-2
G	G1	G1-1
	G2	G2-1
		G2-2*
I	I1	I1-1
	I3	I3-1
		I3-2
L	L1	L1-1
	L2	L2-1
		L2-2

*Kernen har ikke veldefineret tværsnit over hele længden. Derfor er der ikke målt resistivitet for emnet. Dette skyldes at der var et armerings aftryk med en dybde på ca. 8 mm i emnets ene ende, modsat den eksponerede flade.

3 Resultater

Prøveemnernes dimensioner efter udskæring fremgår af tabel 1.

Tabel 1 – Keredimensioner efter udskæring

Emne	Diameter	Længde
	mm	mm
E2-1	84,0	51,0
E3-1	84,0	49,7
E3-2	84,0	50,8
F2-1	84,0	51,0
F3-1	84,0	50,8
F3-2	84,0	49,5
G1-1	84,4	51,5
G2-1	84,0	51,5
I1-1	83,8	52,7
I3-1	84,0	49,0
I3-2	84,0	50,0
L1-1	83,8	52,6
L2-1	83,8	50,8
L2-2	84,0	50,0

Emnernes resistivitet er målt før lagring i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -opløsning.

Tabel 2 – Resistivitet målt før anbringelse i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -opløsning

Emne	Modstand, prøve	Resistivitet
	Ohm	Ohm x m
E2-1	4743	515
E3-1	3972	443
E3-2	4464	487
F2-1	4366	474
F3-1	3449	376
F3-2	3841	430
G1-1	4493	488
G2-1	3889	418
I1-1	4488	470
I3-1	3735	422
I3-2	3691	409
L1-1	3120	327
L2-1	3259	354
L2-2	2931	325

Emnerne er vejret frem til vandmættet tilstand i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ved ca. 20°C. Prøverne anses for vandmættet, når den daglige vægtændring er mindre end 0,1 %.

Tabel 3 – Registrering af prøveemneres vægt

	Tør	Våd	Våd	
Dato	23.07.2013*	03.08.2013	04.08.2013	Ændring**
Kerne	Vægt [g]	Vægt [g]	Vægt [g]	%
E2-1	651,3	657,5	657,5	0,00
E3-1	637,4	643,4	643,3	0,02
E3-2	654,4	660,2	659,8	0,06
F2-1	647,1	652,7	652,5	0,03
F3-1	638,4	644,6	644,4	0,03
F3-2	632,4	637,6	637,6	0,00
G1-1	667,8	672,3	672,3	0,00
G2-1	659,6	664,0	664,0	0,00
I1-1	678,4	683,1	683,2	0,01
I3-1	626,5	639,5	629,4	0,02
I3-2	646,3	650,7	650,2	0,08
L1-1	687,1	692,9	692,7	0,03
L2-1	662,3	667,5	667,6	0,01
L2-2	661,3	666,5	666,5	0,00

* Før anbringelse i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -opløsning

** Ændringen er mellem de to seneste vægtmålinger

Resistiviteten ved vandmættet tilstand fremgår af Tabel 4.

Tabel 4 – Resistivitet ved vandmættet tilstand

Emne	Modstand prøve	Resistivitet
	Ohm	Ohm x m
E2-1	1813	197
E3-1	1610	179
E3-2	1934	211
F2-1	1862	202
F3-1	1392	152
F3-2	1660	186
G1-1	1901	206
G2-1	1699	183
I1-1	2089	219
I3-1	1825	206
I3-2	1761	195
L1-1	1206	126
L2-1	1228	133
L2-2	1177	130

Emnerne blev herefter coatet med en 2-komponent epoxy opbygning på alle flader undtagen den ene endeflade. Dette blev gjort for at sikre en en-dimensional klorid-indtrængning. Emnerne er herefter blevet eksponeret i en saltopløsning i 35 døgn,

jævnfør Håndbok 014, process 14.651 fra Statens Vegvesen. Hvorefter den epoxy beklædte endeflade blev skåret fri for epoxy. Herefter er modstanden og længden målt af emnerne, værdierne er angivet i Tabel 5.

Tabel 5 – Diameter, længde, modstand og resistivitet for de enkelte emner efter eksponering i saltopløsning.

Emne	Diameter	Længde	Modstand prøve	Resistivitet
	mm	mm	Ohm	Ohm x m
E2-1	84,0	50,7	2636	288
E3-1	84,0	49,4	2376*	267
E3-2	84,0	49,6	3593*	401
F2-1	84,0	50,5	2218	243
F3-1	84,0	49,0	1562	177
F3-2	84,0	49,0	2028	229
G1-1	84,4	50,0	2115*	237
G2-1	84,0	50,8	2068	226
I1-1	83,8	51,8	2655	283
I3-1	84,0	48,6	2330	266
I3-2	84,0	49,9	2498*	277
L1-1	83,8	52,0	1516	161
L2-1	83,8	50,5	2308*	252
L2-2	84,0	49,4	1585*	178

*Disse prøver behæftet med en større målesikkerhed end hvad foreskrevet i APM 219.

4 Sammenfatning

Resultaterne er sammenfattet for de i enkelte serie i Tabel 6 til Tabel 10.

Tabel 6 – Den beregnede resistivitet for de 3 stadier for emnerne i serie E.

Emne	Resistivitet som modtaget	Resistivitet efter lagring i Ca(OH)₂	Resistivitet efter accelereret klorid-indtrængning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
E2-1	515	197	288
E3-1	443	179	267
E3-2	487	211	401
middel	482	196	319

Tabel 7 – Den beregnede resistivitet for de 3 stadier for emnerne i serie F.

Emne	Resistivitet som modtaget	Resistivitet efter lagring i Ca(OH)₂	Resistivitet efter accelereret klorid-indtrængning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
F2-1	474	202	243
F3-1	376	152	177
F3-2	430	186	229

<i>middel</i>	427	180	216
---------------	------------	------------	------------

Tabel 8 – Den beregnede resistivitet for de 3 stadier for emnerne i serie G.

Emne	Resistivitet som modtaget	Resistivitet efter lagring i Ca(OH) ₂	Resistivitet efter accelereret klorid-indtrængning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
G1-1	488	206	237
G2-1	418	183	226
<i>middel</i>	453	195	232

Tabel 9 – Den beregnede resistivitet for de 3 stadier for emnerne i serie I.

Emne	Resistivitet som modtaget	Resistivitet efter lagring i Ca(OH) ₂	Resistivitet efter accelereret klorid-indtrængning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
I1-1	470	219	283
I3-1	422	206	266
I3-2	409	195	277
<i>middel</i>	434	207	275

Tabel 10 – Den beregnede resistivitet for de 3 stadier for emnerne i serie L.

Emne	Resistivitet som modtaget	Resistivitet efter lagring i Ca(OH) ₂	Resistivitet efter accelereret klorid-indtrængning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
L1-1	327	126	161
L2-1	354	133	252
L2-2	325	130	178
<i>middel</i>	335	130	197

Middelværdierne for de enkelte serier er sammenfattet i Tabel 11.

Tabel 11 – Middelværdierne for de enkelte serier, både før og efter vandmætning, samt efter accelereret kloridindtrængning.

Serie	Resistivitet som modtaget	Resistivitet efter lagring i Ca(OH) ₂	Resistivitet efter accelereret klorid-indtrængning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
E	482	196	319
F	427	180	216
G	453	195	232
I	434	207	275
L	335	130	197

Bilag A Beregningskema for resistivitet

Bestemmelse af porøsitet

Før vandmætning

					Initial resistivitet							
		Temp klima					22,2					
		Temp lab					24,6					
		Målt	BELN	BELN	BELN	BELN	BELN	BELN				
Prøveserie	Kerne	Prøvestykke	Diameter	Længde	m_0	R_S	R_S+P_1	R_S+P_2	diff	R_middel	Resistivitet	
			mm	mm	g	Ohm	Ohm	Ohm	%	Ohm	Ohm x m	
E	E2	E2-1	84	51	651,3	433	5187	5164	-0,44	4743	515	
	E3	E3-1	84	49,7	637,4	433	4432	4377	-1,24	3972	443	
		E3-2	84	50,8	654,4	433	4920	4873	-0,96	4464	487	
F	F2	F2-1	84	51,0	647,1	433	4836	4761	-1,55	4366	474	
	F3	F3-1	84	50,8	638,4	433	3902	3861	-1,05	3449	376	
		F3-2	84	49,5	632,4	433	4324	4224	-2,31	3841	430	
G	G1	G1-1	84,4	51,5	666,8	433	4974	4877	-1,95	4493	488	
	G2	G2-1	84	51,5	658,6	433	4358	4286	-1,65	3889	418	
		G2-2	84	51,4	640,1							
I	I1	I1-1	83,8	52,7	678,4	433	4934	4908	-0,53	4488	470	
	I3	I3-1	84	49	625,5	433	4187	4148	-0,93	3735	422	
		I3-2	84	50,0	646,3	433	4151	4096	-1,32	3691	409	
L	L1	L1-1	83,8	52,6	687,1	433	3572	3533	-1,09	3120	327	
	L2	L2-1	83,8	50,8	662,3	433	3732	3652	-2,14	3259	354	
		L2-2	84	50	661,3	433	3382	3346	-1,06	2931	325	

Efter mætning i Ca(OH)₂

					Vandmætning										
		Temp klima				22,10		22,30							
		Temp lab				24,80		25,30							
		Målt	BELN	BELN	BELN	MHSJ		MHSJ		MHSJ	MHSJ	MHSJ			
Prøveserie	Kerne	Prøvestykke	Diameter	Længde	m_sd.1	m_sd.2	diff	m_sd.3	diff	R_S	R_S+P_1	R_S+P_2	diff	R_middel	Resistivitet
			mm	mm	g	g	%	g	%	Ohm	Ohm	Ohm	%	Ohm	Ohm x m
E	E2	E2-1	84	51	656	657,5	0,228658537	657,5	0,00	170	1960	2006	2,3	1813	197
	E3	E3-1	84	49,7	642	643,4	0,218068536	643,3	-0,02	170	1751	1808	3,3	1610	179
		E3-2	84	50,8	658,4	660,2	0,273390036	659,8	-0,06	170	2088	2119	1,5	1934	211
F	F2	F2-1	84	51,0	651,1	652,7	0,245737982	652,5	-0,03	170	2006	2057	2,5	1862	202
	F3	F3-1	84	50,8	642,9	644,6	0,264426816	644,4	-0,03	170	1596	1527	-4,3	1392	152
		F3-2	84	49,5	636,2	637,6	0,220056586	637,6	0,00	170	1807	1852	2,5	1660	186
G	G1	G1-1	84,4	51,5	670,8	672,3	0,223613596	672,3	0,00	170	2084	2057	-1,3	1901	206
	G2	G2-1	84	51,5	662,5	664	0,226415094	664	0,00	170	1864	1874	0,5	1699	183
		G2-2	84	51,4	643,9	645,3	0,217425066	645,4	0,02						
I	I1	I1-1	83,8	52,7	682	683,1	0,161290323	683,2	0,01	170	2303	2215	-3,8	2089	219
	I3	I3-1	84	49	628,1	629,5	0,222894444	629,4	-0,02	170	1990	2000	0,5	1825	206
		I3-2	84	50,0	649,4	650,7	0,200184786	650,2	-0,08	170	1917	1944	1,4	1761	195
L	L1	L1-1	83,8	52,6	691,4	692,9	0,216951114	692,7	-0,03	170	1352	1400	3,6	1206	126
	L2	L2-1	83,8	50,8	666,1	667,5	0,210178652	667,6	0,01	170	1389	1406	1,2	1228	133
		L2-2	84	50	664,7	666,5	0,270798857	666,5	0,00	170	1334	1359	1,9	1177	130

Bestemmelse af porøsitet

Efter eksportering i NaCl

					Genvandmætning								
		Temp klima				22,4			22,3				
		Temp lab				22,8			23				
		Målt	BELN	BELN	MHSJ	MHSJ			BELN				
Prøveserie	Kerne	Prøvestykke	Diameter	Længde	m_sd.1	m_sd.2	diff	R_S	R_S+P_1	R_S+P_2	diff	R_middel	Resistivitet
			mm	mm	g	g	%	Ohm	Ohm	Ohm	%	Ohm	Ohm x m
E	E2	E2-1	84	50,7	778,9	778,8	0,0	231,3	2864	2871	0,2	2636	288
	E3	E3-1	84	49,4	791,3	791,3	0,0	231,3	2752	2462	-10,5	2376	267
		E3-2	84	49,6	793,8	793,7	0,0	348,8	4064	3820	-6,0	3593	401
F	F2	F2-1	84	50,5	755,8	755,6	0,0	306,9	2592	2458	-5,2	2218	243
	F3	F3-1	84	49	749,7	749,7	0,0	306,9	1919	1819	-5,2	1562	177
		F3-2	84	49,04	761,9	761,7	0,0	306,9	2377	2292	-3,6	2028	229
G	G1	G1-1	84,4	50	804,1	803,9	0,0	306,9	2551	2292	-10,2	2115	237
	G2	G2-1	84	50,8	761,6	761,4	0,0	306,9	2423	2326	-4,0	2068	226
		G2-2	84										
I	I1	I1-1	83,8	51,8	802,6	802,3	0,0	348,8	3079	2928	-4,9	2655	283
	I3	I3-1	84	48,6	773,5	773,1	-0,1	348,8	2675	2683	0,3	2330	266
		I3-2	84	49,9	761,3	761,7	0,1	348,8	2965	2729	-8,0	2498	277
L	L1	L1-1	83,8	52	810,8	810,6	0,0	348,8	1893	1837	-3,0	1516	161
	L2	L2-1	83,8	50,5	796,4	796,2	0,0	231,3	2217	2862	29,1	2308	252
		L2-2	84	49,4	797,4	797,1	0,0	231,3	1691	1942	14,8	1585	178

Bilag B APM 219: Hardened concrete

AEC laboratory	Concrete testing Hardened concrete Electrical resistivity	APM 219
Staktoften 20		1. edition
DK-2950 Vedbæk		May 1996
tlf +45 45 66 12 66		Init: JMF

1. Field of application

The method presupposes the existence of a relationship between quality of concrete and electrical resistivity. The electrical resistivity is mainly depending on the water/cement ratio, the moisture content, the temperature, the concrete maturity and the composition. Due to this electrical resistivity of hardened concrete can be used as a uniformity parameter. The scope of this test method is to provide a detailed description of how to measure the resistivity of concrete.

It is assumed that the concrete test specimens are free of construction faults such as cavities and visible cracks and no reinforcement are present.

2. References

NT BUILD 201, 2. ed., Concrete: Making and curing of moulded test specimens for strength test.

NT BUILD 202, 2. ed., Concrete, hardened: Sampling and treatment of cores for strength tests.

3. Test specimens

This method requires drilled cores or cast cylinders as test specimens. They must be representative for the concrete and/or structure in question. At least three test specimens should be used in the test.

4. Short description of the test

A water saturated concrete specimen of well-defined thickness is subjected to an alternating current field over a well-defined area. The test result is provided as directly readings of the electrical resistance (in $k\Omega$) of the concrete specimen. Knowing the dimensions of the test specimen, the electrical resistivity (in $k\Omega\text{cm}$) is calculated from the electrical resistance.

5. Chemicals

5.1 A calcium hydroxide solution is prepared by adding $\text{Ca}(\text{OH})_2$ to distilled or demineralized water in the ratio of 2 g per dm^3 . This solution is referred to as the "wetting solution".

6. Apparatus

6.1 Stone saw

6.2 Balance, capacity/accuracy better than 1000 ± 1 g

6.3 Four point resistance meter, e.g. the commercial product: "Norma", Erdungsmesser D3950, which is able to supply a stable alternating current of approx. 40 mA at the frequency of 108 Hz, quartz-stabilized. This apparatus is provided with a 4 digit digital

display for readings of ohmic resistance. The electrical resistance is given in Ω or in $k\Omega$ (maximum reading is 199.9 $k\Omega$).

Alternatively a programmed datalogger can be used if many measurements shall be performed at the same time.

- 6.4 Two stainless steel plates with the minimum dimensions corresponding to the exposed surface of the concrete specimen. The stainless steel plates shall be connected through insulated wires to the resistance meter.
- 6.5 Two sponges to be placed between the stainless steel plates and the test specimen.
- 6.6 Pressure spray can containing the wetting solution for prewetting of sponges before the measurements.
- 6.7 Weight with a mass of 1.5 kg.

7. Specimen preparation

Three test specimens are made from three drilled cores or cast cylinders ($\varnothing 100 \pm 1$ mm). Preparing specimens from drilled cores: After cutting of the outer 10 mm from the original end face test specimens with a thickness of 50 ± 1 mm shall be cut. Preparing specimens from cast cylinders: The specimens can be three 50 mm slices cut around the middle of the core.

The test specimens are kept under water in order to saturate the specimens and to prevent any drying. In order to avoid leaching as little water as possible should be used. The specimens are kept under water until the change in mass per day is less than 0.1% and the time for performing the measurements is due.

8. Test procedure

The electrical resistivity measurements shall be performed according to the following procedure:

- 8.1 The test setup shall follow the principles shown in Figure 1.
- 8.2 The sponges are wetted using the pressure spray can containing the "wetting solution", cf. Section 5.1 and wringed a little to remove excess water on the sponges. The sponges are placed in the test setup and the total resistance of both sponges, R_{sp} is recorded when stability is achieved (normally after 5 to 10 seconds). The electrical resistance of the sponges shall not exceed 100 Ω .

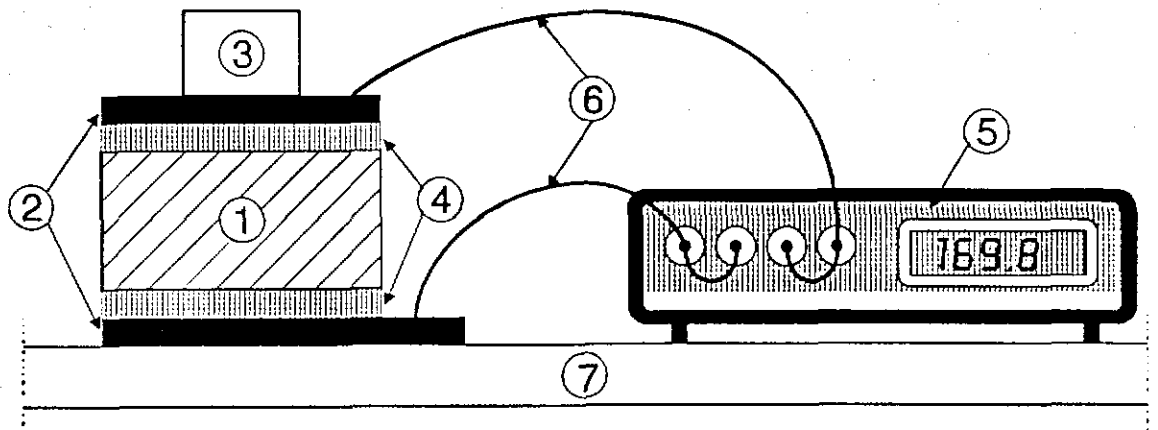


Figure 1. Sketch of the test set-up for measuring the resistivity of concrete. The numbers refer to: 1. Test specimen; 2. Stainless steel plate; 3. 1.5 kg weight; 4. Sponge; 5. Four point resistance meter; 6. Connecting wires; 7. Non-metallic table.

- 8.3 Each test specimen shall carefully be wiped dry with a tissue especially on the curved surface on which the sponges are not attached. The temperature of the test specimens shall be maintained close to the room temperature, $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Each test specimen is then placed between the sponges in the test setup. The total resistance of both sponges and the test specimen, R_{s+sp} is recorded when stability is achieved.

The measurement on each test specimen is repeated after 2 to 3 minutes. If the difference between the obtained resistance values in two measurements on the same test specimen is less than 5% the test is concluded. If the difference between two measurements is bigger than 5%, the procedure is repeated until the obtained results are within the acceptable scatterband.

9. Calculation of results

The electrical resistance of each of the specimens is appearing from (1):

$$R_s = R_{s+sp} - R_{sp} \quad (1)$$

where

R_s is the electrical resistance of each test specimen

R_{s+sp} is the measured mean electrical resistance of each test specimen and the sponges

R_{sp} is the measured electrical resistance of the sponges

The electrical resistance of the test specimens will normally be given in k Ω . The electrical resistivity, ρ , is calculated from (2):

$$\rho = A \times R_s / \delta \quad (2)$$

where

ρ is the electrical resistivity of each test specimen	[k Ω cm]
A is the cross sectional area of each test specimen	[cm ²]
δ is the thickness of each test specimen	[cm]

10. Presentation of the test result

The test result is given as the resistivity value for each test specimen and their mean value. The latter is taken as the resistivity of the particular concrete. The resistivity values are all given with three significant digits in k Ω cm.

11. Test report

A test report must at least contain the following information:

- 11.1 Name and address of the test laboratory, and the place at which the tests were performed if different from the laboratory address.
- 11.2 Date and clear identification of the report.
- 11.3 Name and address of the client.
- 11.4 Description and marking of the sample.
- 11.5 Date of receipt of the sample and performance of the test.
- 11.6 Specification of the test method.
- 11.7 Description of the sampling, if relevant.
- 11.8 All deviations from or additions to the test method, and any omissions, together with other information of importance for judging the result.
- 11.9 Test result.
- 11.10 Signature and title or other identification of person(s) responsible for the technical content of the report.
- 11.11 Date of release of the report.

STATENS VEGVESEN

AVROP 14 - BESTEMMELSE AF PORØSITET OG RESISTIVITET

PRØVNINGSRAPPORT

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Målemetoder	2
1.1	Porøsitet	2
1.2	Resistivitet	2
2	Prøveemner og -modtagelse	3
3	Resultater	4
3.1	Porøsitet	4
3.2	Resistivitet	7
4	Sammenfatning	11
4.1	Porøsitet og densitet	11
4.2	Resistivitet	11

BILAG

Bilag A	Beregningsskema for Densitet og porøsitet
Bilag B	Beregningsskemaer for resistivitet
Bilag C	APM 219: Hardened concrete

PROJEKTNR. A039417
DOKUMENTNR. A039417-04-04.1
VERSION 1
UDGIVELSESDATO 31.10.2013
UDARBEJDET MHSJ
KONTROLLERET RSO
GODKENDT RSO

1 Målemetoder

1.1 Porøsitet

Den anvendte målemetode er beskrevet i Håndbok 14, prosess 14.637 fra Statens Vegvesen, med følgende afvigelser angivet i udbudsmaterialet for Avrop 14.

- › Skivernes vægt måles i luft og navngives g_0 .
- › Tørring udføres som sidste del i steder for den første.
- › Trykvandmætning foretages over 2 dage i stedet for 1 dag.

1.2 Resistivitet

Den anvendte målemetode er beskrevet i APM 219: Hardened concrete, se Bilag C.

Resistiviteten bestemmes ved hjælp af følgende udtryk fra APM 219.

$$\rho = \frac{A \cdot R_s}{\delta}$$

Hvor

- › A er emnets tværsnits areal
- › R_s er emnets modstand
- › δ er emnets tykkelse

Resistivitet er mål ved følgende 3 trin i bestemmelsen af porøsitet.

- › Før vandmætning
- › Efter vandmætning
- › Efter trykvandmætning

2 Prøveemner og -modtagelse

Ved modtagelse blev kernerne opdelt, efter anvisningen i Avrop 14. Skiver til porøsitet blev neddelte efter emnerne til accelereret kloridindtrængning var blevet udtaget af kernerne.

Det ses af Tabel 1, hvor mange skiver der blev ud af hver enkelt serie og kerne. De enkelte skiver blev navngivet med kernenavn, samt et løbe nr. P#.

Tabel 1 – Viser fordelingen af emnerne

Prøveserie	Kerne	Emne
E	E2	E2-P1
	E3	E3-P1* E3-P2* E3-P3
F	F2	F2-P1 F2-P2
	F3	F3-P1 F3-P2
G	G1	G1-P1 G1-P2* G1-P3*
	G2	G2-P1 G2-P2
I	I1	I1-P1 I1-P2
	I2	I2-P1 I2-P2 I2-P3 I2-P4
	I3	I3-P1* I3-P2*
L	L1	L1-P1
	L2	L2-P1 L2-P2
	L4	L4-P1 L4-P2
		L4-P3 L4-P4

*Der er ikke målt resistivitet for følgende emne, grundet emnet er udtaget i niveau med armering, som blev fjernet ved prøvepræparering.

3 Resultater

3.1 Porøsitet og densitet

Vægten af emnerne ved de forskellige tilstande er angivet i Tabel 2

Tabel 2 – Viser vægten af de enkelte emner ved de 5 forskellige tilstande. Hvor g_0 er vægten efter tildannelse af skive, g_1 vægten af skiven efter ovntørring, g_2 vægten af skiven vandmættet i luft, g_3 vægten af skiven vandmættet under vand, g_4 vægten af skiven efter trykvandmætning.

Emne	g_0	g_1	g_2	g_3	g_4
	g	g	g	g	g
E2-P1	234,20	222,90	237,00	149,70	239,02
E3-P1	199,70	189,00	202,10	116,20	203,56
E3-P2	257,90	244,80	260,20	150,20	262,35
E3-P3	211,00	200,50	212,80	123,70	214,18
F2-P1	250,10	235,50	253,30	144,90	256,39
F2-P2*	256,20	243,30	253,50	149,60	261,56
F3-P1	216,90	205,20	219,50	125,30	221,73
F3-P2	226,90	214,80	228,90	131,70	230,70
G1-P1	254,90	242,30	257,20	149,00	258,77
G1-P2	190,30	180,10	192,50	111,20	193,86
G1-P3	207,10	196,40	209,10	121,10	210,79
G2-P1	232,20	220,00	234,40	135,60	236,27
G2-P2	242,40	229,00	244,40	141,30	245,88
I1-P1	239,10	227,00	241,50	139,20	244,23
I1-P2	234,90	223,90	237,00	136,90	239,35
I2-P1	229,40	218,70	231,50	134,00	233,90
I2-P2	244,60	233,80	246,60	144,00	248,89
I2-P3	252,50	241,70	254,40	148,20	256,92
I2-P4	248,30	238,00	250,10	146,70	253,06
I3-P1	217,40	206,30	219,20	126,60	221,62
I3-P2	205,80	195,20	207,50	119,60	209,11
L1-P1	253,6	242,00	256,10	150,90	257,54
L2-P1	221,2	216,60	229,30	134,40	230,85
L2-P2	262,8	249,80	265,00	155,30	266,99
L4-P1	242,4	232,00	244,02	144,80	245,71
L4-P2	241,7	250,20	261,50	156,30	262,63
L4-P3	270,9	260,80	272,50	162,80	273,96
L4-P4	241,6	231,70	243,30	144,70	244,63

*Det vurderes, at der er foretaget en aflæsningsfejl i forbindelse med målingen af g_2 for emnet F2-P2.

De beregnede densiteter og porøsiteter fremgår af Tabel 3 til Tabel 7.

Tabel 3 – Serie E – Beregnede densiteter og porøsiteter, samt vand/cement forhold

Prøveemne	V	ρ_1	ρ_{fs}	p_s	p_m	p_l	v/c
-	cm ³	kg/m ³	kg/m ³	-	-	-	-
E2-P1	99,3	2245	2680	0,14	0,02	0,16	0,54
E3-P1	85,9	2200	2649	0,15	0,02	0,17	0,60
E3-P2	110,0	2225	2648	0,14	0,02	0,16	0,53
E3-P3	89,1	2250	2658	0,14	0,02	0,15	0,52
middel	-	2230	2659	0,14	0,02	0,16	0,55

Tabel 4 – Serie F – Beregnede densiteter og porøsiteter, samt vand/cement forhold

Prøveemne	V	ρ_1	ρ_{fs}	p_s	p_m	p_l	v/c
-	cm ³	kg/m ³	kg/m ³	-	-	-	-
F2-P1	108,4	2173	2691	0,16	0,03	0,19	0,68
F2-P2*	103,9	2342	2841	0,10	0,08	0,18	0,35
F3-P1	94,2	2178	2642	0,15	0,02	0,18	0,60
F3-P2	97,2	2210	2642	0,15	0,02	0,16	0,56
middel	-	2187	2658	0,15	0,02	0,18	0,61

*Grundet aflæsningsfejl, er F2-P2 ikke taget med i middelværdien.

Tabel 5 – Serie G – Beregnede densiteter og porøsiteter, samt vand/cement forhold

Prøveemne	V	ρ_1	ρ_{fs}	p_s	p_m	p_l	v/c
-	cm ³	kg/m ³	kg/m ³	-	-	-	-
G1-P1	108,2	2239	2641	0,14	0,01	0,15	0,52
G1-P2	81,3	2215	2667	0,15	0,02	0,17	0,60
G1-P3	88,0	2232	2668	0,14	0,02	0,16	0,55
G2-P1	98,8	2227	2666	0,15	0,02	0,16	0,56
G2-P2	103,1	2221	2656	0,15	0,01	0,16	0,58
middel	-	2227	2660	0,15	0,02	0,16	0,56

Tabel 6 – Serie I – Beregnede densiteter og porøsiteter, samt vand/cement forhold

Prøveemne	V	ρ_1	ρ_{fs}	P_s	P_m	P_l	v/c
-	cm ³	kg/m ³	kg/m ³	-	-	-	-
I1-P1	102,3	2219	2668	0,14	0,03	0,17	0,54
I1-P2	100,1	2237	2645	0,13	0,02	0,15	0,48
I2-P1	97,5	2243	2657	0,13	0,02	0,16	0,49
I2-P2	102,6	2279	2672	0,12	0,02	0,15	0,46
I2-P3	106,2	2276	2657	0,12	0,02	0,14	0,43
I2-P4	103,4	2302	2694	0,12	0,03	0,15	0,42
I3-P1	92,6	2228	2670	0,14	0,03	0,17	0,53
I3-P2	87,9	2221	2638	0,14	0,02	0,16	0,53
middel	-	2251	2663	0,13	0,02	0,15	0,48

Tabel 7 – Serie L – Beregnede densiteter og porøsiteter, samt vand/cement forhold

Prøveemne	V	ρ_1	ρ_{fs}	P_s	P_m	P_l	v/c
	cm ³	kg/m ³	kg/m ³	-	-	-	-
L1-P1	105,2	2300	2699	0,13	0,01	0,15	0,50
L2-P1	94,9	2282	2686	0,13	0,02	0,15	0,50
L2-P2	109,7	2277	2700	0,14	0,02	0,16	0,52
L4-P1	99,2	2338	2713	0,12	0,02	0,14	0,44
L4-P2	105,2	2378	2697	0,11	0,01	0,12	0,39
L4-P3	109,7	2377	2701	0,11	0,01	0,12	0,38
L4-P4	98,6	2350	2705	0,12	0,01	0,13	0,43
middel	-	2329	2700	0,12	0,01	0,14	0,45

3.2 Resistivitet

Før skiverne skulle vandmættes i forbindelse med bestemmelse af porøsitet, blev resistiviteten målt for alle de skiver, der havde et ensartet tværsnit. Måledata er angivet i Tabel 8.

Tabel 8 – Viser de enkelte måledata i forbindelse med måling af resistivitet før vandmætning.

Prøveemne	Diameter	Længde	Modstand
	mm	mm	Ohm
E2-P1	84,0	19,0	1006
E3-P3	84,0	16,5	676
F2-P1	84,0	19,7	998
F2-P2	84,0	20,0	817
F3-P1	84,0	18,0	666
F3-P2	84,0	19,0	1037
G1-P1	84,4	20,0	1147
G2-P1	84,0	19,0	763
G2-P2	84,0	19,0	909
I1-P1	83,8	19,6	974
I1-P2	83,8	19,0	986
I2-P1	84,0	19,8	729
I2-P2	84,0	19,8	737
I2-P3	84,0	19,6	1124
I2-P4	84,0	20,0	1097
L1-P1	83,8	19,0	721
L2-P1	84,0	18,0	826
L2-P2	84,0	20,0	950
L4-P1	84,0	19,0	865
L4-P2	84,0	19,4	808
L4-P3	84,0	20,0	1181
L4-P4	84,0	20,0	908

Efter vandmætningen blev resistiviteten bestemt, og de enkelte måledata er anført i Tabel 9.

Tabel 9 – Viser de enkelte måledata efter vandmætning.

Prøveemne	Diameter	Længde	Modstand
	mm	mm	Ohm
E2-P1	84,0	19,0	2328
E3-P3*	84,0	16,5	2937
F2-P1	84,0	19,7	2131
F2-P2	84,0	20,0	2832
F3-P1	84,0	18,0	2060
F3-P2	84,0	19,0	2677
G1-P1	84,4	20,0	2592
G2-P1	84,0	19,0	2391
G2-P2	84,0	19,0	2686
I1-P1*	83,8	19,6	2327
I1-P2*	83,8	19,0	2558
I2-P1	84,0	19,8	2504
I2-P2*	84,0	19,8	2232
I2-P3*	84,0	19,6	2652
I2-P4	84,0	20,0	2469
L1-P1	83,8	19,0	2094
L2-P1	84,0	18,0	2488
L2-P2*	84,0	20,0	2430
L4-P1	84,0	19,0	2279
L4-P2	84,0	19,4	3163
L4-P3*	84,0	20,0	3297
L4-P4	84,0	20,0	2902

*Værdien for modstand er behæftet med en mindre præcision end hvad foreskrevet i standarden.

Efter trykvandmætningen blev resistiviteten bestemt og de enkelte måledata er anført i Tabel 10.

Tabel 10 – Viser de enkelte måledata efter trykvandmætning.

Prøveemne	Diameter	Længde	Modstand
	mm	mm	Ohm
E2-P1*	84,0	19,0	2210
E3-P3	84,0	16,5	2791
F2-P1	84,0	19,7	2135
F2-P2*	84,0	20,0	2508
F3-P1	84,0	18,0	3035
F3-P2	84,0	19,0	3058
G1-P1	84,4	20,0	2471
G2-P1*	84,0	19,0	2869
G2-P2	84,0	19,0	2630
I1-P1*	83,8	19,6	2683
I1-P2	83,8	19,0	3925
I2-P1*	84,0	19,8	3348
I2-P2	84,0	19,8	2372
I2-P3	84,0	19,6	2846
I2-P4	84,0	20,0	2823
L1-P1*	83,8	19,0	2628
L2-P1	84,0	18,0	4130
L2-P2	84,0	20,0	2918
L4-P1	84,0	19,0	2841
L4-P2	84,0	19,4	4025
L4-P3	84,0	20,0	3475
L4-P4*	84,0	20,0	3758

Værdien for modstand er behæftet med en mindre præcision end hvad foreskrevet i standarden.

Ud fra måleværdierne angivet i Tabel 8 til Tabel 10 er resistiviteten beregnet og angivet for de enkelte serier i Tabel 11 til Tabel 15.

Tabel 11 – Viser resistiviteten for de enkelte skiver i serie E ved hver af de 3 tilstande.

Prøveemne	Før vandmætning	Efter vandmætning	Efter trykvandmætning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
E2-P1	293	679	645
E3-P3	227	986	937
<i>middel</i>	260	833	791

Tabel 12 – Viser resistiviteten for de enkelte skiver i serie F ved hver af de 3 tilstande.

Prøveemne	Før vandmætning	Efter vandmætning	Efter trykvandmætning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
F2-P1	281	600	600
F2-P2	226	785	695
F3-P1	205	634	934
F3-P2	302	781	892
<i>middel</i>	254	700	780

Tabel 13 – Viser resistiviteten for de enkelte skiver i serie G ved hver af de 3 tilstande.

Prøveemne	Før vandmætning	Efter vandmætning	Efter trykvandmætning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
G1-P1	321	725	691
G2-P1	223	697	837
G2-P2	265	783	767
<i>middel</i>	270	735	765

Tabel 14 – Viser resistiviteten for de enkelte skiver i serie I ved hver af de 3 tilstande.

Prøveemne	Før vandmætning	Efter vandmætning	Efter trykvandmætning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
I1-P1	274	655	755
I1-P2	286	743	1139
I2-P1	204	701	937
I2-P2	206	625	664
I2-P3	318	750	805
I2-P4	304	684	782
<i>middel</i>	265	693	847

Tabel 15 – Viser resistiviteten for de enkelte skiver i serie L ved hver af de 3 tilstande.

Prøveemne	Før vandmætning	Efter vandmætning	Efter trykvandmætning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
L1-P1	209	608	763
L2-P1	254	766	1272
L2-P2	263	673	808
L4-P1	252	665	829
L4-P2	231	903	1150
L4-P3	327	914	963
L4-P4	252	804	1041
<i>middel</i>	255	762	975

4 Sammenfatning

4.1 Porøsitet og densitet

I Tabel 16 er angivet middelværdierne for de enkelte måleserier.

Tabel 16

Prøveemne	ρ_1	ρ_{fs}	ρ_s	ρ_m	ρ_l	v/c
	kg/m ³	kg/m ³	-	-	-	-
E	2230	2659	0,14	0,02	0,16	0,55
F	2187	2658	0,15	0,02	0,18	0,61
G	2227	2660	0,15	0,02	0,16	0,56
I	2251	2663	0,13	0,02	0,15	0,48
L	2329	2700	0,12	0,01	0,14	0,45

4.2 Resistivitet

I Tabel 17 er angivet middelværdierne for de enkelte måleserier, både før og efter vandmætning, samt efter trykvandmætning.

Tabel 17 – Sammenfatning af middelværdierne for de enkelte serier.

Serie	Før vandmætning	Efter vandmætning	Efter trykvandmætning
	Ohm x m	Ohm x m	Ohm x m
E	260	833	791
F	254	700	780
G	270	735	765
I	265	693	847
L	255	762	975

Bilag A Beregningskema for Densitet og porøsitet

Bilag B Beregningskemaer for resistivitet

Bilag C APM 219: Hardened concrete

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af porøsitet efter Håndbok 014, proces 14.637

Sagsnr.: A039417-014
 Lab. Nr. P04
 Dato: 08-10-2013

Sagsnavn: Avrop 14

Rekvirent: Norsk betong- og tilslagslaboratorium AS

Udført: B.Ø.
 Kontrol: MHS
 Godkendt: RSO

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	ρ_0 g	ρ_1 g	ρ_2 g	ρ_3 g	ρ_4 g	V cm ³	ρ_1 kg/m ³	ρ_{fs} kg/m ³	ρ_s	ρ_m	ρ_i	v/c
Serie E												
E2-P1	234,20	222,90	237,00	137,70	239,02	99,3	2245	2680	0,14	0,02	0,16	0,54
E3-P1	199,70	189,00	202,10	116,20	203,56	85,9	2200	2649	0,15	0,02	0,17	0,60
E3-P2	257,90	244,80	260,20	150,20	262,35	110,0	2225	2648	0,14	0,02	0,16	0,53
E3-P3	211,00	200,50	212,80	123,70	214,18	89,1	2250	2658	0,14	0,02	0,15	0,52
Serie F												
F2-P1	250,10	235,50	253,30	144,90	256,39	108,4	2173	2691	0,16	0,03	0,19	0,68
F2-P2*	256,20	243,30	253,50	149,60	261,56	103,9	2342	2841	0,10	0,08	0,18	0,35
F3-P1	216,90	205,20	219,50	125,30	221,73	94,2	2178	2642	0,15	0,02	0,18	0,60
F3-P2	226,90	214,80	228,90	131,70	230,70	97,2	2210	2642	0,15	0,02	0,16	0,56
Serie G												
G1-P1	254,90	242,30	257,20	149,00	258,77	108,2	2239	2641	0,14	0,01	0,15	0,52
G1-P2	190,30	180,10	192,50	111,20	193,86	81,3	2215	2667	0,15	0,02	0,17	0,60
G1-P3	207,10	196,40	209,10	121,10	210,79	88,0	2232	2668	0,14	0,02	0,16	0,55
G2-P1	232,20	220,00	234,40	135,60	236,27	98,8	2227	2666	0,15	0,02	0,16	0,56
G2-P2	242,40	229,00	244,40	141,30	245,88	103,1	2221	2656	0,15	0,01	0,16	0,58

*Målefejl for ρ_2 ρ_0 : vægt ved modtagelse i luft ρ_1 : vægt efter oventørring ρ_2 : vægt vandmættet i luft ρ_3 : vægt vandmættet u. vand ρ_4 : vægt trykvandmættet i luft

V: volumen af emne

 ρ_i : tørdensitet ρ_{fs} : faststørdensitet ρ_m : sug porøsitet ρ_m : makro porøsitet ρ_i : total porøsitet

v/c: Vand/cementforholdet

Avrop 14

Densitet og porøsitet

COWI Materialelaboratorium

Bestemmelse af porøsitet efter Håndbok 014, proces 14.637

Sagsnr.: A039417-014
 Lab. Nr. P04
 Dato: 08-10-2013

Sagsnavn: Avrop 14

Rekvirent: Norsk betong- og tilslagslaboratorium AS

Udført: Bela
 Kontrol: MHS
 Godkendt: RSO

Resultatskema:

Prøve- betegnelse	ρ_0 ρ	ρ_1 ρ	ρ_2 ρ	ρ_3 ρ	ρ_4 ρ	V cm ³	ρ_1 kg/m ³	ρ_{fs} kg/m ³	ρ_s -	ρ_m -	ρ_l -	v/c -
Serie I												
I1-P1	239,10	227,00	241,50	139,20	244,23	102,3	2219	2668	0,14	0,03	0,17	0,54
I1-P2	234,90	223,90	237,00	136,90	239,35	100,1	2237	2645	0,13	0,02	0,15	0,48
I2-P1	229,40	218,70	231,50	134,00	233,90	97,5	2243	2657	0,13	0,02	0,16	0,49
I2-P2	244,60	233,80	246,60	144,00	248,89	102,6	2279	2672	0,12	0,02	0,15	0,46
I2-P3	252,50	241,70	254,40	148,20	256,92	106,2	2276	2657	0,12	0,02	0,14	0,43
I2-P4	248,30	238,00	250,10	146,70	253,06	103,4	2302	2694	0,12	0,03	0,15	0,42
I3-P1	217,40	206,30	219,20	126,60	221,62	92,6	2228	2670	0,14	0,03	0,17	0,53
I3-P2	205,80	195,20	207,50	119,60	209,11	87,9	2221	2638	0,14	0,02	0,16	0,53
Serie L												
L1-P1	253,6	242,00	256,10	150,90	257,54	105,2	2300	2699	0,13	0,01	0,15	0,50
L2-P1	221,2	216,60	229,30	134,40	230,85	94,9	2282	2686	0,13	0,02	0,15	0,50
L2-P2	262,8	249,80	265,00	155,30	266,99	109,7	2277	2700	0,14	0,02	0,16	0,52
L4-P1	242,4	232,00	244,02	144,80	245,71	99,2	2338	2713	0,12	0,02	0,14	0,44
L4-P2	241,7	250,20	261,50	156,30	262,63	105,2	2378	2697	0,11	0,01	0,12	0,39
L4-P3	270,9	260,80	272,50	162,80	273,96	109,7	2377	2701	0,11	0,01	0,12	0,38
L4-P4	241,6	231,70	243,30	144,70	244,63	98,6	2350	2705	0,12	0,01	0,13	0,43

ρ_0 : vægt ved modtagelse i luft

ρ_1 : vægt efter ovntørring

ρ_2 : vægt vandmættet i luft

ρ_3 : vægt vandmættet u. vand

ρ_4 : vægt trykvandmættet i luft

V: volumen af emne

ρ_l : tørdensitet

ρ_{fs} : faststofdensitet

ρ_m : sug porøsitet

ρ_m : makro porøsitet

ρ_l : total porøsitet

v/c: Vand/cementforholdet

Bilag B Beregningskemaer for resistivitet

Densitet og porøsitet, samt resistivitet

Kernestykker før vandmætning							
Navn	Diameter	Længde	R_Svamp	R_Svamp+P_1	R_Svamp+P_2	R_s	Resistivitet
	mm	mm	Ohm	Ohm	Ohm	Ohm	Ohm x m
E2-P1	84,0	19,0	353	1367	1350	1006	293
E3-P3	84,0	16,5	353	1028	1031	676	227
F2-P1	84,0	19,7	353	1354	1348	998	281
F2-P2	84,0	20,0	353	1180	1160	817	226
F3-P1	84,0	18,0	353	1011	1027	666	205
F3-P2	84,0	19,0	353	1352	1428	1037	302
G1-P1	84,4	20,0	353	1482	1518	1147	321
G2-P1	84,0	19,0	353	1112	1121	763	223
G2-P2	84,0	19,0	353	1273	1250	909	265
I1-P1	83,8	19,6	353	1304	1350	974	274
I1-P2	83,8	19,0	353	1347	1331	986	286
I2-P1	84,0	19,8	353	1064	1099	729	204
I2-P2	84,0	19,8	353	1092	1088	737	206
I2-P3	84,0	19,6	353	1436	1519	1124	318
I2-P4	84,0	20,0	353	1453	1448	1097	304
L1-P1	83,8	19,0	353	1083	1065	721	209
L2-P1	84,0	18,0	353	1215	1143	826	254
L2-P2	84,0	20,0	353	1293	1314	950	263
L4-P1	84,0	19,0	353	1185	1250	865	252
L4-P2	84,0	19,4	353	1171	1150	808	231
L4-P3	84,0	20,0	353	1531	1537	1181	327
L4-P4	84,0	20,0	353	1297	1225	908	252

Kerne i skiver målt resistivitet efter vandmætning							
Navn	Diameter	Længde	R_Svamp	R_Svamp+P_1	R_Svamp+P_2	R_s	Resistivitet
	mm	mm	Ohm	Ohm	Ohm	Ohm	Ohm x m
E2-P1	84,0	19,0	262	2583	2596	2328	679
E3-P3	84,0	16,5	262	3059	3338	2937	986
F2-P1	84,0	19,7	262	2406	2380	2131	600
F2-P2	84,0	20,0	262	3061	3127	2832	785
F3-P1	84,0	18,0	262	2261	2383	2060	634
F3-P2	84,0	19,0	262	2950	2927	2677	781
G1-P1	84,4	20,0	262	2893	2815	2592	725
G2-P1	84,0	19,0	262	2658	2647	2391	697
G2-P2	84,0	19,0	262	2943	2953	2686	783
I1-P1	83,8	19,6	262	2509	2668	2327	655
I1-P2	83,8	19,0	262	2727	2913	2558	743
I2-P1	84,0	19,8	262	2786	2745	2504	701
I2-P2	84,0	19,8	262	2391	2596	2232	625
I2-P3	84,0	19,6	262	3005	2823	2652	750
I2-P4	84,0	20,0	262	2696	2765	2469	684
L1-P1	83,8	19,0	262	2298	2413	2094	608
L2-P1	84,0	18,0	262	2761	2738	2488	766
L2-P2	84,0	20,0	262	2798	2585	2430	673
L4-P1	84,0	19,0	262	2501	2580	2279	665
L4-P2	84,0	19,4	262	3412	3437	3163	903
L4-P3	84,0	20,0	262	3336	3782	3297	914
L4-P4	84,0	20,0	262	3253	3074	2902	804

Kerne i skiver målt resistivitet efter trykvandsmætning							
Navn	Diameter	Længde	R_Svamp	R_Svamp+P_1	R_Svamp+P_2	R_s	Resistivitet
	mm	mm	Ohm	Ohm	Ohm	Ohm	Ohm x m
E2-P1	84,0	19,0	624	2720	2949	2210	645
E3-P3	84,0	16,5	624	3337	3493	2791	937
F2-P1	84,0	19,7	624	2780	2738	2135	600
F2-P2	84,0	20,0	624	2976	3289	2508	695
F3-P1	84,0	18,0	624	3630	3688	3035	934
F3-P2	84,0	19,0	624	3694	3671	3058	892
G1-P1	84,4	20,0	624	3036	3154	2471	691
G2-P1	84,0	19,0	624	3316	3670	2869	837
G2-P2	84,0	19,0	624	3153	3355	2630	767
I1-P1	83,8	19,6	624	2983	3631	2683	755
I1-P2	83,8	19,0	624	4481	4617	3925	1139
I2-P1	84,0	19,8	624	3696	4248	3348	937
I2-P2	84,0	19,8	624	2976	3016	2372	664
I2-P3	84,0	19,6	624	3447	3493	2846	805
I2-P4	84,0	20,0	624	3353	3542	2823	782
L1-P1	83,8	19,0	624	3152	3353	2628	763
L2-P1	84,0	18,0	624	4753	4756	4130	1272
L2-P2	84,0	20,0	624	3497	3587	2918	808
L4-P1	84,0	19,0	624	3457	3474	2841	829
L4-P2	84,0	19,4	624	4635	4663	4025	1150
L4-P3	84,0	20,0	624	4155	4044	3475	963
L4-P4	84,0	20,0	624	4210	4554	3758	1041

Bilag C APM 219: Hardened concrete

AEClaboratory	Concrete testing	APM 219
Staktoften 20	Hardened concrete	1. edition
DK-2950 Vedbæk	Electrical resistivity	May 1996
tlf +45 45 66 12 66		Init: JMF

1. Field of application

The method presupposes the existence of a relationship between quality of concrete and electrical resistivity. The electrical resistivity is mainly depending on the water/cement ratio, the moisture content, the temperature, the concrete maturity and the composition. Due to this electrical resistivity of hardened concrete can be used as a uniformity parameter. The scope of this test method is to provide a detailed description of how to measure the resistivity of concrete.

It is assumed that the concrete test specimens are free of construction faults such as cavities and visible cracks and no reinforcement are present.

2. References

NT BUILD 201, 2. ed., Concrete: Making and curing of moulded test specimens for strength test.

NT BUILD 202, 2. ed., Concrete, hardened: Sampling and treatment of cores for strength tests.

3. Test specimens

This method requires drilled cores or cast cylinders as test specimens. They must be representative for the concrete and/or structure in question. At least three test specimens should be used in the test.

4. Short description of the test

A water saturated concrete specimen of well-defined thickness is subjected to an alternating current field over a well-defined area. The test result is provided as directly readings of the electrical resistance (in $k\Omega$) of the concrete specimen. Knowing the dimensions of the test specimen, the electrical resistivity (in $k\Omega\text{cm}$) is calculated from the electrical resistance.

5. Chemicals

5.1 A calcium hydroxide solution is prepared by adding $\text{Ca}(\text{OH})_2$ to distilled or demineralized water in the ratio of 2 g per dm^3 . This solution is referred to as the "wetting solution".

6. Apparatus

6.1 Stone saw

6.2 Balance, capacity/accuracy better than 1000 ± 1 g

6.3 Four point resistance meter, e.g. the commercial product: "Norma", Erdungsmesser D3950, which is able to supply a stable alternating current of approx. 40 mA at the frequency of 108 Hz, quartz-stabilized. This apparatus is provided with a 4 digit digital

display for readings of ohmic resistance. The electrical resistance is given in Ω or in $k\Omega$ (maximum reading is 199.9 $k\Omega$).

Alternatively a programmed datalogger can be used if many measurements shall be performed at the same time.

- 6.4 Two stainless steel plates with the minimum dimensions corresponding to the exposed surface of the concrete specimen. The stainless steel plates shall be connected through insulated wires to the resistance meter.
- 6.5 Two sponges to be placed between the stainless steel plates and the test specimen.
- 6.6 Pressure spray can containing the wetting solution for prewetting of sponges before the measurements.
- 6.7 Weight with a mass of 1.5 kg.

7. Specimen preparation

Three test specimens are made from three drilled cores or cast cylinders ($\varnothing 100 \pm 1$ mm). Preparing specimens from drilled cores: After cutting of the outer 10 mm from the original end face test specimens with a thickness of 50 ± 1 mm shall be cut. Preparing specimens from cast cylinders: The specimens can be three 50 mm slices cut around the middle of the core.

The test specimens are kept under water in order to saturate the specimens and to prevent any drying. In order to avoid leaching as little water as possible should be used. The specimens are kept under water until the change in mass per day is less than 0.1% and the time for performing the measurements is due.

8. Test procedure

The electrical resistivity measurements shall be performed according to the following procedure:

- 8.1 The test setup shall follow the principles shown in Figure 1.
- 8.2 The sponges are wetted using the pressure spray can containing the "wetting solution", cf. Section 5.1 and wringed a little to remove excess water on the sponges. The sponges are placed in the test setup and the total resistance of both sponges, R_{sp} is recorded when stability is achieved (normally after 5 to 10 seconds). The electrical resistance of the sponges shall not exceed 100 Ω .

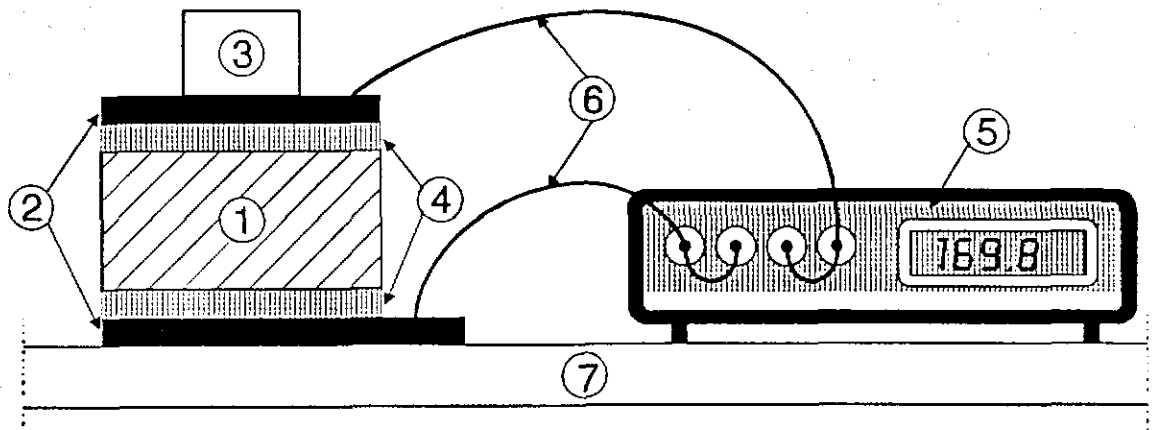


Figure 1. Sketch of the test set-up for measuring the resistivity of concrete. The numbers refer to: 1. Test specimen; 2. Stainless steel plate; 3. 1.5 kg weight; 4. Sponge; 5. Four point resistance meter; 6. Connecting wires; 7. Non-metallic table.

- 8.3 Each test specimen shall carefully be wiped dry with a tissue especially on the curved surface on which the sponges are not attached. The temperature of the test specimens shall be maintained close to the room temperature, $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Each test specimen is then placed between the sponges in the test setup. The total resistance of both sponges and the test specimen, R_{s+sp} is recorded when stability is achieved.

The measurement on each test specimen is repeated after 2 to 3 minutes. If the difference between the obtained resistance values in two measurements on the same test specimen is less than 5% the test is concluded. If the difference between two measurements is bigger than 5%, the procedure is repeated until the obtained results are within the acceptable scatterband.

9. Calculation of results

The electrical resistance of each of the specimens is appearing from (1):

$$R_s = R_{s+sp} - R_{sp} \quad (1)$$

where

R_s is the electrical resistance of each test specimen

R_{s+sp} is the measured mean electrical resistance of each test specimen and the sponges

R_{sp} is the measured electrical resistance of the sponges

The electrical resistance of the test specimens will normally be given in k Ω . The electrical resistivity, ρ , is calculated from (2):

$$\rho = A \times R_s / \delta \quad (2)$$

where

ρ is the electrical resistivity of each test specimen	[k Ω cm]
A is the cross sectional area of each test specimen	[cm ²]
δ is the thickness of each test specimen	[cm]

10. Presentation of the test result

The test result is given as the resistivity value for each test specimen and their mean value. The latter is taken as the resistivity of the particular concrete. The resistivity values are all given with three significant digits in k Ω cm.

11. Test report

A test report must at least contain the following information:

- 11.1 Name and address of the test laboratory, and the place at which the tests were performed if different from the laboratory address.
- 11.2 Date and clear identification of the report.
- 11.3 Name and address of the client.
- 11.4 Description and marking of the sample.
- 11.5 Date of receipt of the sample and performance of the test.
- 11.6 Specification of the test method.
- 11.7 Description of the sampling, if relevant.
- 11.8 All deviations from or additions to the test method, and any omissions, together with other information of importance for judging the result.
- 11.9 Test result.
- 11.10 Signature and title or other identification of person(s) responsible for the technical content of the report.
- 11.11 Date of release of the report.

Vedlegg 2 – Rapport fra SINTEF Byggforsk

SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Besøksadresse:
Richard Birkelands veg 3
Trondheim

Sentralbord: 73593000

byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Prøvingsrapport

Prøving av utboret betong

Rammeavtale 2010174185 – avrop nr 18

Betong- og natursteinslaboratoriet

Dato:

2014-01-30

Prosjektleder/forfatter(e):

Ola Skjølvold

Oppdragsgiver(e):

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Prosjektnummer:

102003039-26

Oppdragsgivers referanse:

Stig H Helgestad

Antall sider og vedlegg:

30

Sammendrag:

SINTEF mottok 2013-11-07 20 borkjerner med diameter 75 mm og lengde ca 80-300 mm. SINTEF har utført bestemmelse av in-situ fuktinnhold (DS-profil), klorid- og kalsiumprofiler, resistivitet, akselerert kloridinntrenging ved neddykking samt kapillær sugesevne og porøsitet.

Alle borkjerner unntatt kjerner til DS-profil (in-situ fuktinnhold) ble fotografert ved ankomst. Alle skiver for bestemmelse av in-situ fuktinnhold ble fotografert etter veiing.

Prosjektleder/forfatter:

Ola Skjølvold

*Signatur***Kontrollert av:**

Tone Østnor

*Signatur***Rapportnr:**

3039-26

Gradering:

Fortrolig

1 Prøvemateriale

SINTEF mottok 2013-11-07 20 stk borkjerner med diameter 74 mm. Oversikt over merking og antall er gitt i Tabell 1. Alle borkjerner var pakket i flere lag plastfolie, og hver serie lå i egen lukket plastpose. Prøvene ble plassert i rom med temperatur 5 grader ved ankomst, og tatt ut 2013-11-11 for aklimatisering, fotografering og påmerking av prøvestykker (prøver til DS-profil ble ikke pakket ut). Etter påmerking ble alle prøver pakket inn igjen i plastfolie. Foto av alle prøver unntatt prøver til DS-profil er gjengitt i Vedlegg 1.

Tabell 1 Mottatte borkjerner

Serie	Borkjerner mrk	Ca lengde, mm	Anvendt til prøving av
A	A1	280	4xDS-profil, 1xBulk diffusjon, resistivitet
	A2	300	Kloridprofil, 4x Kap.abs, 2xBulk diffusjon, resistivitet
	A3	220	Reserve
	A4	80	Kloridprofil
B	B1	300	4xDS-profil
	B2	300	Kloridprofil, 3xBulk diffusjon, resistivitet
C	C1	300	4xDS-profil, 1xBulk diffusjon, resistivitet
	C2	300	Kloridprofil, 2xKap.abs, 2xBulk diffusjon, resistivitet
	C3	250	Reserve
	C4	120	Kloridprofil, 2xKap.abs
D	D1	300	4xDS-profil, 2xBulk diffusjon, resistivitet
	D2	300	Kloridprofil, 1xBulk diffusjon, resistivitet
E	E1	80	3xDS-profil
	E2	80	Kloridprofil
F	F1	80	3xDS-profil
	F2	80	Kloridprofil
G	G1	300	4xDS-profil
	G2	300	Kloridprofil, 2xKap.abs, 2xBulk diffusjon, resistivitet
	G3	220	Reserve
	G4	300	Kloridprofil, 2xKap.abs, 1xBulk diffusjon, resistivitet

Kommentarer

Borkjerne mrk B1: Langsgående riss, omtrent midt i, og gjennom hele prøven

Borkjerne mrk D2: Spor etter langsgående armeringsjern i sideflata i 2/3 av prøvens indre del

2 Initielt fuktinnhold

Før utpakking ble det, 2013-11-12, ved tørrsaging laget et ca 5 mm dypt spor rundt prøven som rissanviser for splitting. Splitting i ca 25 mm tykke skiver og veiing av disse ble utført umiddelbart etter tørrsaging. Fotografering av skivene ble utført etter at all veiing (g_0) var utført (se foto i Vedlegg 2). Prøvestykkene ble deretter

- Lagt vann for neddykking i 3 uker før veiing i luft (g_2) og vann (g_3)
- Lagt i trykketank ved 50 atm i 2 døgn før veiing (g_4)
- Lagt 7 døgn i varmeskap ved 105 grader før veiing (g_1)

På grunnlag av de registrerte vektene er det for hver skive foretatt beregning av

- Initiell vannmetningsgrad	$DS = (g_0 - g_1) / (g_2 - g_1) \text{ [%]}$	
- Initielt fuktinnhold	$w_0 = (g_0 - g_1) / g_1 \text{ [%]}$	
- Prøvestykkets volum	$V = (g_2 - g_3) / \rho_w \text{ [m}^3\text{]}$	($\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$)
- Midlere skivetykkelse	$t = V/A \text{ [m]}$	($A = \text{prøvestykkets areal}$)
- Tørr densitet	$\rho_t = g_1/V \text{ [kg/m}^3\text{]}$	
- Fast-stoff densitet	$\rho_{fs} = g_1 / (V - (g_4 - g_1) / \rho_w) \text{ [kg/m}^3\text{]}$	
- Sugporøsitet	$p_s = (g_2 - g_1) / (V \cdot \rho_w)$	($\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$)
- Makro porøsitet (luft)	$p_m = (g_4 - g_2) / (V \cdot \rho_w)$	($\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$)
- Total porøsitet	$p_t = p_s + p_m$	

Resultatene er gjengitt i Tabell 2 og 3. Foto av alle skiver er vist i Vedlegg 2.

Tabell 2 Initielt fuktinnhold og porøsitet for serie A, B og C

Borkjerne mrk	A1				B1				C1				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Skive nr													
Initiell vannmetningsgrad, DS, %	79.8	84.7	85.8	86.3	89.9	90.4	92.3	91.3	85.3	81.8	86.1	83.9	
Initielt fuktinnhold, w_0 , %	4.7	4.6	5.8	5.3	5.8	5.8	5.9	6.9	5.3	5.4	4.9	4.9	
Volum, 10^{-6} m^3	87.88	113.98	75.38	126.20	101.11	91.35	115.88	70.67	107.98	78.84	118.48	95.70	
Midlere tykkelse, 10^{-2} m	1.99	2.58	1.71	2.86	2.29	2.07	2.62	1.60	2.44	1.78	2.68	2.17	
Tørr densitet, kg/m^3	2320	2328	2239	2316	2258	2276	2286	2213	2236	2225	2223	2262	
Fast-stoff densitet, kg/m^3	2769	2710	2701	2765	2707	2713	2712	2708	2655	2682	2598	2678	
Sug porøsitet, vol-%	13.7	12.6	15.1	14.4	14.6	14.5	14.6	16.8	14.0	14.6	12.7	13.3	
Makro porøsitet, vol-%	2.5	1.5	2.0	1.9	2.0	1.6	1.1	1.5	1.8	2.4	1.7	2.2	
Total porøsitet, vol-%	16.2	14.1	17.1	16.3	16.6	16.1	15.7	18.3	15.8	17.0	14.4	15.5	

Tabell 3 Initielt fuktinnhold og porøsitet for serie D, E, F og G

Borkjerne mrk	D1				E1			F1			G1			
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
Skive nr														
Initiell vannmetningsgrad, DS, %	84.5	85.1	86.8	84.5	78.2	81.3	85.5	75.1	83.2	85.2	78.5	82.4	82.9	84.2
Initielt fuktinnhold, w_0 , %	5.3	4.8	5.1	5.1	4.4	4.8	5.1	4.5	4.3	5.2	4.8	4.9	5.2	4.9
Volum, 10^{-6} m^3	88.25	110.93	106.14	94.91	107.38	101.98	136.84	79.65	116.54	126.83	96.99	108.86	94.41	100.90
Midlere tykkelse, 10^{-2} m	2.00	2.51	2.40	2.15	2.43	2.31	3.10	1.80	2.64	2.87	2.20	2.46	2.14	2.28
Tørr densitet, kg/m^3	2269	2339	2304	2314	2321	2303	2264	2325	2350	2285	2269	2273	2252	2290
Fast-stoff densitet, kg/m^3	2715	2755	2716	2756	2748	2740	2677	2775	2724	2713	2767	2713	2700	2711
Sug porøsitet, vol-%	14.2	13.3	13.5	14.0	13.0	13.6	13.4	14.0	12.2	13.9	13.9	13.6	14.1	13.4
Makro porøsitet, vol-%	2.2	1.8	1.7	2.1	2.5	2.4	2.0	2.2	1.5	1.8	4.1	2.6	2.5	2.2
Total porøsitet, vol-%	16.4	15.1	15.2	16.0	15.5	15.9	15.4	16.2	13.7	15.8	18.0	16.2	16.6	15.5

3 Kloridprofiler

Fra overflatesjiktet for 2 borkjerne i serie A, C og D samt 1 borkjerne fra serie B, D, E og F ble det 2012-11-18--29 frest ut 13 sjikt der de 8 ytterste var 2 mm, de 3 neste 4 mm og de to innerste 6 mm for bestemmelse av kloridinnhold (Cl⁻) og kalsiuminnhold (Ca). Prøvingen ble utført etter SINTEFs interne prosedyre KS 14-05-04 571 Klorid- og kalsiumanalyse ved potensiometrisk titrering Methrom automatisk titrator (sølv-elektrode for Cl⁻ og optrode for Ca²⁺). Begge analyser ble på utført på samme oppslutning. Analysene ble utført i perioden fra 2013-12-05 til 2104-01-16.

Resultatene er gjengitt i Tabell 4 og 5. Kloridprofilene er framstilt grafisk i Vedlegg 3.

Tabell 4 Kloridinnhold for freste sjikt

Borkjerne mrk	A2	A4	B2	C2	C4	D2	E2	F2	G2	G4	
Kloridinnhold i % Cl ⁻ av tørr betongvekt for sjikt i avstand fra overflata	0-2 mm	0,70	0,66	0,14	0,69	0,73	0,56	0,54	0,56	0,37	0,50
	2-4 mm	0,52	0,63	0,14	0,69	0,64	0,46	0,65	0,59	0,28	0,41
	4-6 mm	0,39	0,45	0,07	0,46	0,43	0,33	0,56	0,46	0,20	0,27
	6-8 mm	0,30	0,34	0,01	0,30	0,25	0,22	0,46	0,36	0,16	0,20
	8-10 mm	0,21	0,23	0,01	0,18	0,18	0,14	0,36	0,31	0,10	0,15
	10-12 mm	0,17	0,16	0,01	0,17	0,13	0,12	0,28	0,29	0,05	0,12
	12-14 mm	0,11	0,11	0,01	0,03	0,07	0,07	0,22	0,27	0,05	0,08
	14-16 mm	0,08	0,05	0,01	0,01	0,04	0,05	0,19	0,25	0,02	0,05
	16-20 mm	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,13	0,17	0,01	0,02
	20-24 mm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,12	0,01	0,01
	24-28 mm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01
	28-34 mm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	34-40 mm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabell 5 Kalsiuminnhold (Ca²⁺) for freste sjikt med kloridinnhold ≥ 0,07 % Cl⁻ av tørr betongvekt

Borkjerne mrk	A2	A4	B2	C2	C4	D2	E2	F2	G2	G4	
Kalsiuminnhold i % Ca ²⁺ av tørr betongvekt for sjikt i avstand fra overflata	0-2 mm	12,71	12,05	13,01	11,81	10,42	11,41	12,49	11,09	13,15	12,16
	2-4 mm	9,00	10,34	8,99	11,02	9,39	8,62	9,02	7,31	9,29	8,49
	4-6 mm	8,16	8,54	7,82	8,27	8,30	7,54	8,21	6,10	8,48	6,95
	6-8 mm	7,44	8,14		7,07	7,46	6,63	7,87	5,58	8,48	6,51
	8-10 mm	6,61	7,13		6,32	7,57	6,13	7,14	5,42	7,29	6,58
	10-12 mm	6,61	7,54		5,63	7,36	7,13	6,66	5,69		7,66
	12-14 mm	6,98	7,88			7,13	7,15	6,28	6,42		7,56
	14-16 mm	7,30						6,55	7,23		
	16-20 mm							7,31	7,68		
	20-24 mm							7,95	7,33		
	24-28 mm										
	28-34 mm										
	34-40 mm										

4 Akselerert kloridinntrenging og resistivitet

Det ble tildannet 3 prøvestykker fra hver av seriene A, B, C, D og G for bestemmelse av resistivitet (SINTEF s interne prosedyre KS 14-05-04 128) og akselerert kloridinntrenging ved neddykking (Håndbok 014, prosess 14.651).

Bestemmelse av resistivitet ble utført på overflatetørre prøvestykker direkte etter saging. Det ble benyttet stålplater og elektrisk ledende gel samt Agilent LCR-meter (ved 1 kHz). Resistiviteten, R, er beregnet som (se Tabell 6 og 7):

$$R = \text{avlest motstand} \cdot A / L \ (\Omega\text{m}) \quad (A=\text{prøvestykkets areal, } L=\text{avstand mellom endeflatene})$$

Etter målingen av resistivitet ble prøvestykkene lagret i mettet Ca(OH)_2 -løsning til konstant vekt, tatt opp og overflatetørket og malt med epoksy på alle flater unntatt ei endeflate. Prøvestykkene ble deretter lagret på nytt i mettet Ca(OH)_2 -løsning i 10 døgn før nedlegging i NaCl-løsning.

Prøvestykkene ble tatt opp etter 35 døgn i NaCl-løsning, og samme dag ble det frest tynne sjikt for bestemmelse av kloridinnhold. Sjikttykkelser og resultater framgår av tabeller i Vedlegg 4. Temperaturen i saltløsningen ble målt i eksponeringsperioden, se Vedlegg 6.

På grunnlag av målte kloridprofiler er det ved bruk av ikke-lineær regresjonsanalyse og Ficks andre lov for diffusjon foretatt beregning av teoretisk overflatekonsentrasjon (C_0) og diffusjonskoeffisient (D). Målte og beregnede kloridprofiler finnes i Vedlegg 4, mens en oversikt over beregnede verdier er gjengitt i Tabell 6 og 7.

Tabell 6 Resultater, resistivitet og bulk diffusjon for serie A, B og C

Borkjerne mrk	A1		A2		B2			C1	C2	
Prøvestk mrk	A1-1	A2-1	A2-2	B2-1	B2-2	B2-3	C1-1	C2-1	C2-2	
Høyde, mm	50	50	50	50	51	52	51	50	50	
Resistivitet, Ωm	270,1	295,4	279,7	292,0	277,7	277,4	420,2	423,5	403,8	
	281,7 ± 12,8			282,3 ± 8,3			415,8 ± 10,6			
Overflatekonsentrasjon, C_0 , % Cl^- av tørr bet.vekt	1,272	0,908	1,188	1,014	0,915	0,927	1,079	0,943	0,842	
	1,123 ± 0,191			0,952 ± 0,054			0,955 ± 0,119			
Diffusjonskoeffisient, D, $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	2,48	2,79	2,52	2,75	2,92	3,25	1,86	2,91	2,89	
	2,60 ± 0,17			2,97 ± 0,26			2,55 ± 0,60			

Tabell 7 Resultater, resistivitet og bulk diffusjon for serie D og G

Borkjerne mrk	D1		D2	G2		G4
Prøvestk mrk	D1-1	D1-2	D2-1	G2-1	G2-2	G4-1
Høyde, mm	50	50	46	50	51	50
Resistivitet, Ωm	304,0	271,3	334,9	312,8	281,5	313,3
	303,4 ± 31,8			302,5 ± 18,2		
Overflatekonsentrasjon, C_0 , % Cl^- av tørr bet.vekt	0,927	1,050	0,912	1,087	0,992	1,066
	0,963 ± 0,076			1,048 ± 0,050		
Diffusjonskoeffisient, D, $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	2,41	3,05	3,14	1,99	2,97	2,85
	2,87 ± 0,40			2,60 ± 0,53		

5 Kapillær sugeevne og resistivitet

Det ble tildannet 2 prøvestykker med høyde 45 mm fra hver av seriene A, C og G for bestemmelse av resistivitet (SINTEF s interne prosedyre KS 14-05-04 128) og kapillær sugeevne (Håndbok 014, prosess 14.637).

Bestemmelse av resistivitet ble utført på overflatetørre prøvestykker (tykkelse 45 mm) direkte etter saging. Prøvestykkene ble deretter delt i to like store skiver, og resistiviteten ble bestemt også for disse skivene. Det ble benyttet stålplater og elektrisk ledende gel samt Agilent LCR-meter (ved 1 kHz). Resistiviteten, R, er beregnet som (se Tabell 8):

$$R = \text{avlest motstand} \cdot A / L \ (\Omega\text{m}) \quad (A=\text{prøvestykkets areal, } L=\text{avstand mellom endeflatene})$$

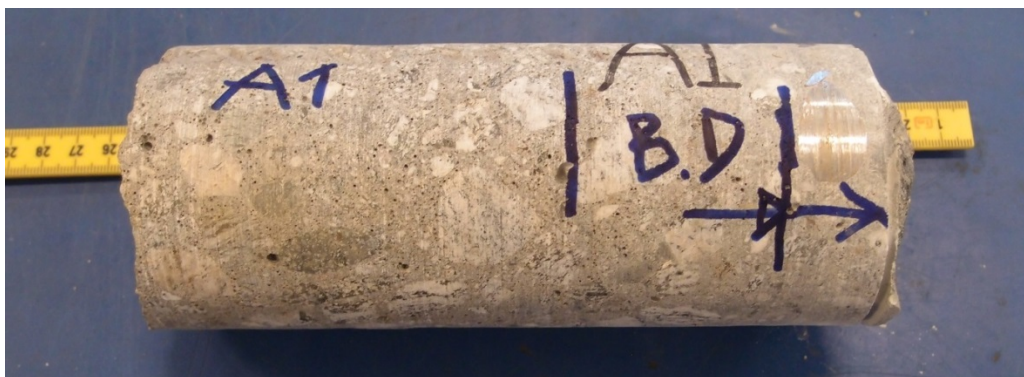
Skivene ble deretter malt med epoksy på sideflata før bestemmelse av kapillær sugeevne (full prosedyre). Resultatene er gjengitt i Tabell 9. Detaljresultater er gjengitt i Vedlegg 5.

Tabell 8 Resultater, resistivitet for prøvestykker til kapillær sugeevne

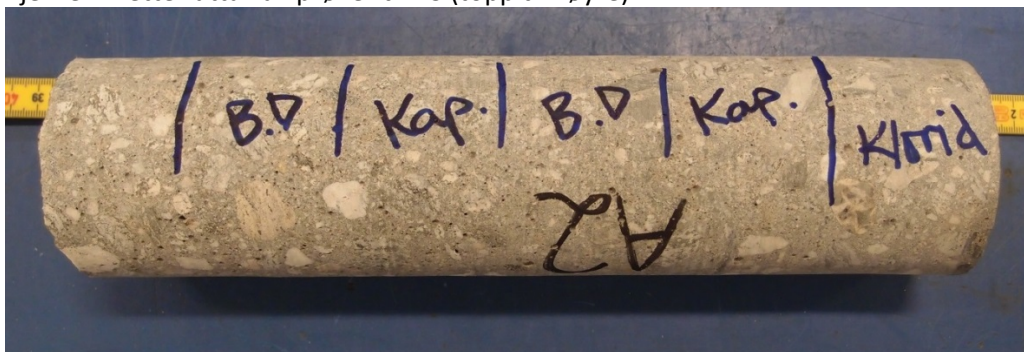
Borkjerne mrk	A2				C2		C4		G2		G4	
Prøvestk mrk	A2-1		A2-2		C2-1		C4-1		G2-1		G4-1	
Høyde, mm	46		45		45		45		45		45	
Resistivitet, Ωm	270,0		269,8		397,9		384,5		297,4		258,8	
	269,9 \pm 0,1				391,2 \pm 9,5				278,1 \pm 27,3			
Prøvestk mrk	A2-1A	A2-1B	A2-2Aa	A2-2B	C2-A	C2-B	C4-A	C4-B	G2-A	G2-B	G4-A	G4-B
Høyde, mm	21,7	22,0	20,6	22,0	21,4	21,8	21,3	21,8	21,4	21,9	21,9	21,5
Resistivitet, Ωm	245,0	273,0	250,8	252,9	361,1	314,4	346,6	350,0	278,1	268,0	247,2	237,2
	255,4 \pm 12,2				343,0 \pm 20,1				257,6 \pm 18,7			

Tabell 9 Resultater, kapillær sugeevne og porøsitet

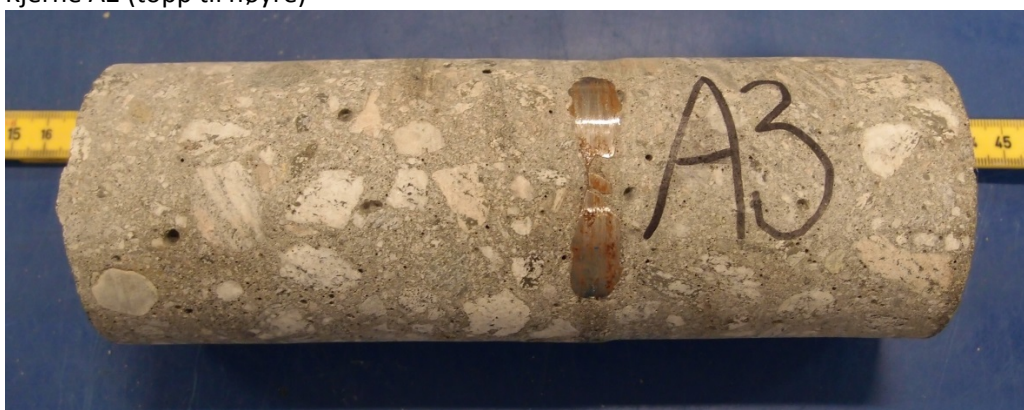
Borkjerne mrk	A2				C2		C4		G2		G4	
Prøvestk mrk	A2-1A	A2-1B	A2-2A	A2-2B	C2-A	C2-B	C4-A	C4-B	G2-A	G2-B	G4-A	G4-B
Kapillaritetstall, 10^{-2} $\text{kg/m}^2\text{Vs}$	1,29	1,19	1,19	1,24	1,08	1,09	1,19	1,04	1,13	1,17	1,15	1,15
	1,23 \pm 0,05				1,10 \pm 0,06				1,15 \pm 0,02			
Motstandstall, 10^7 s/m^2	10,1	10,6	10,1	8,5	9,17	8,89	9,22	10,7	11,3	9,99	10,9	11,7
	9,8 \pm 0,91				9,5 \pm 0,8				11,0 \pm 0,73			
Tørr densitet, kg/m^3	2202	2247	2293	2319	2276	2278	2255	2265	2257	2276	2231	2194
	2265 \pm 52				2269 \pm 11				2240 \pm 36			
Fast-stoff densitet, kg/m^3	2692	2715	2749	2757	2725	2705	2733	2725	2711	2718	2696	2682
	2728 \pm 30				2722 \pm 12				2702 \pm 16			
Sug porøsitet, vol%	13,7	12,9	12,5	12,1	11,2	11,1	12,2	11,7	12,7	12,2	12,8	13,2
	12,8 \pm 0,7				11,6 \pm 0,5				12,7 \pm 0,4			
Makro porøsitet, vol%	4,5	4,3	4,0	3,8	5,2	4,7	5,3	5,2	4,0	4,1	4,5	5,0
	4,2 \pm 0,3				5,1 \pm 0,3				4,4 \pm 0,5			
Total porøsitet, vol%	18,2	17,2	16,5	15,9	16,4	15,8	17,5	16,9	16,7	16,3	17,3	18,2
	17,0 \pm 1,0				16,7 \pm 0,7				17,1 \pm 0,8			



Kjerne A1 etter uttak av prøver til DS (topp til høyre)



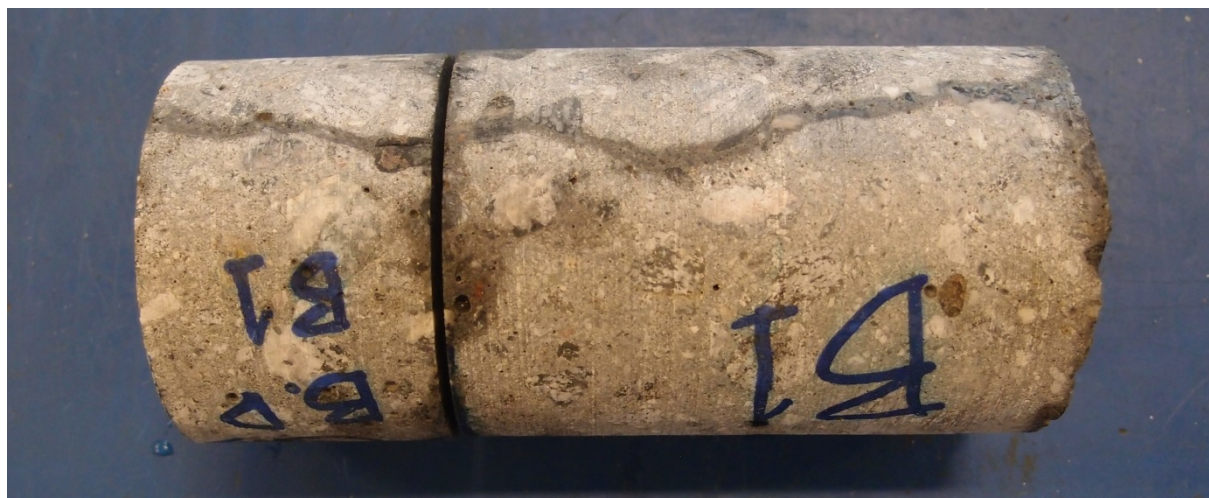
Kjerne A2 (topp til høyre)



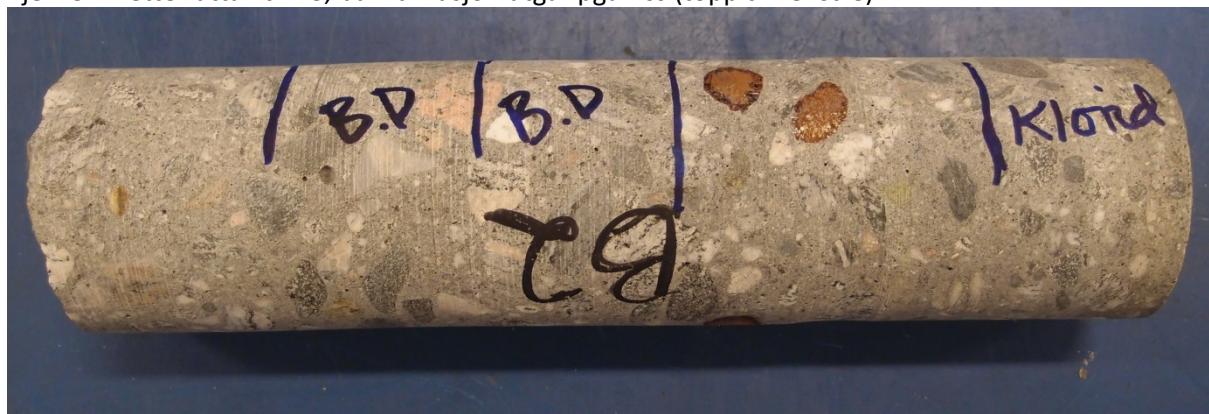
Kjerne A3 Reserve (topp til høyre)



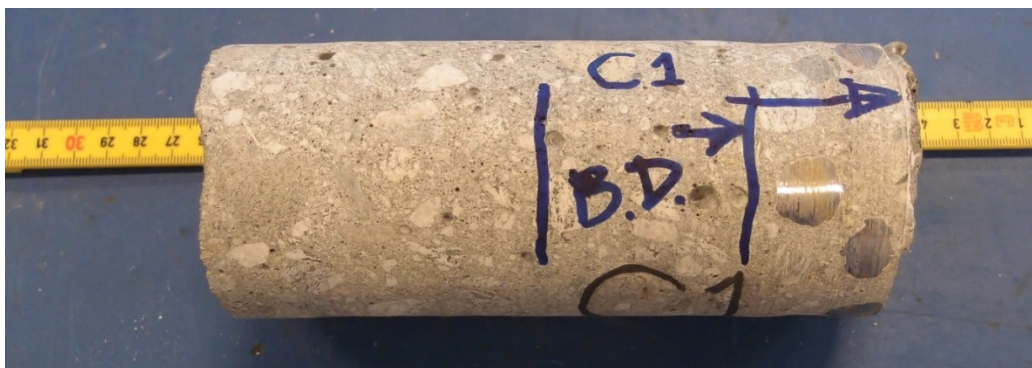
Kjerne A4 (topp til høyre)



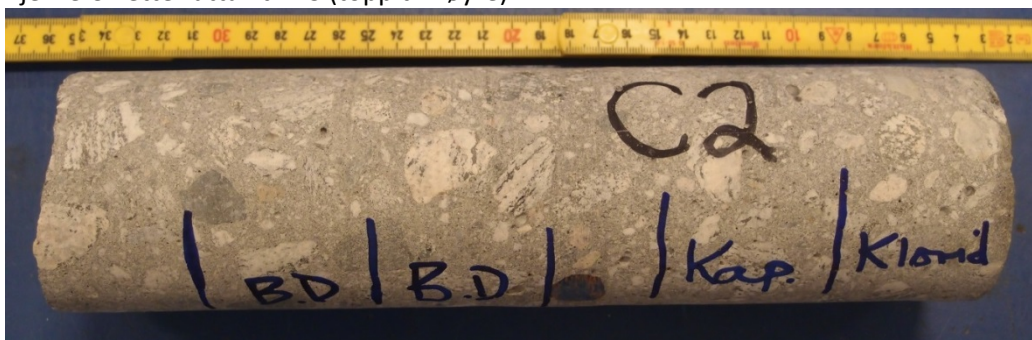
Kjerne B1 etter uttak til DS, bulk diffusjon utgår pga riss (topp til venstre)



Kjerne B2 (topp til høyre)



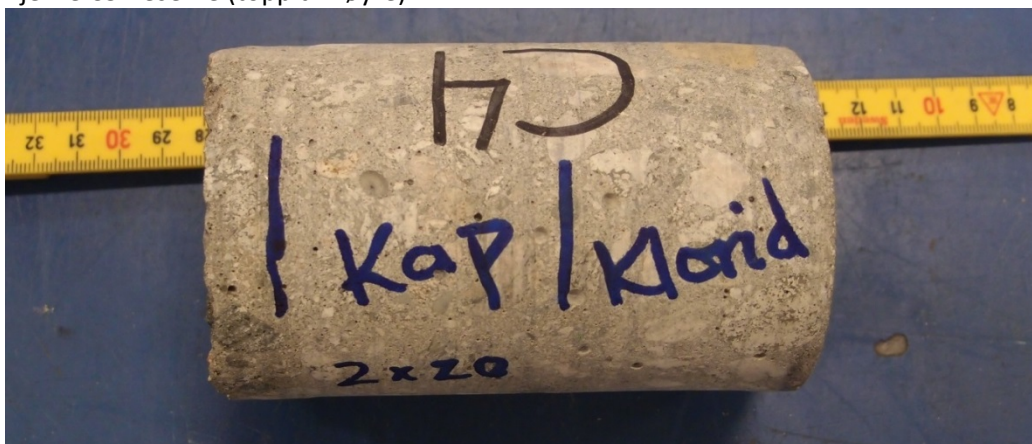
Kjerne C1 etter uttak til DS (topp til høyre)



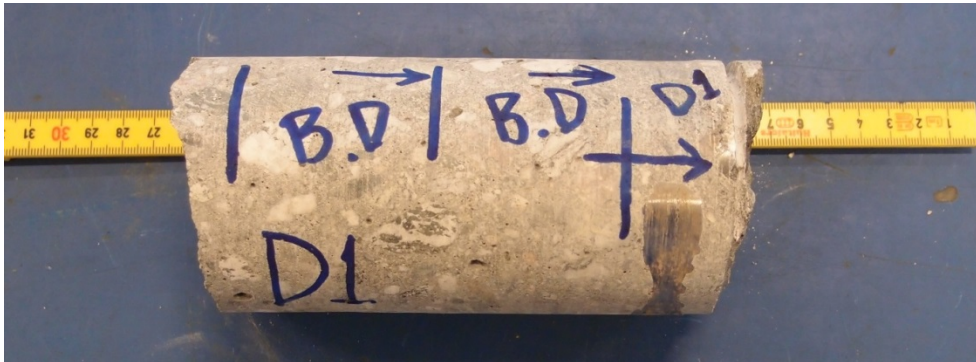
Kjerne C2 (topp til høyre)



Kjerne C3 Reserve (topp til høyre)



Kjerne C4 (topp til høyre)



Kjerne D1 etter uttak til DS (topp til høyre)



Kjerne D2 (topp til venstre)
Kjerne E1 i sin helhet anvendt til DS

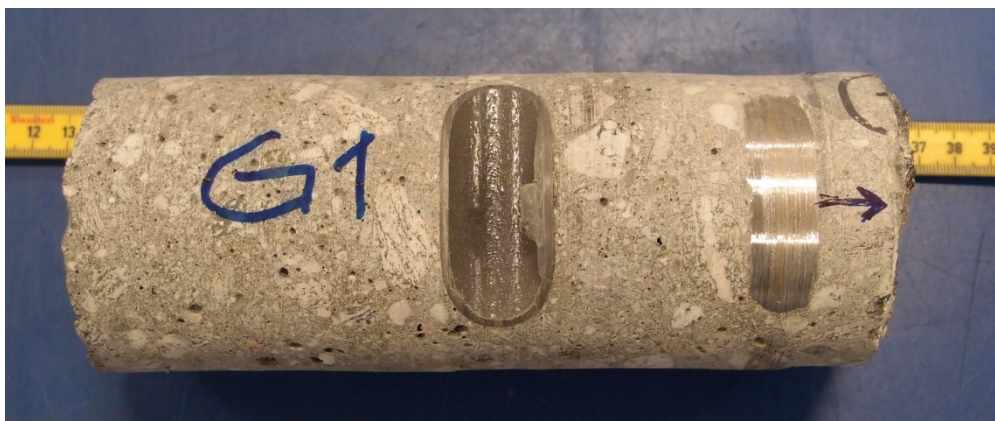


Kjerne E2 (topp til høyre)

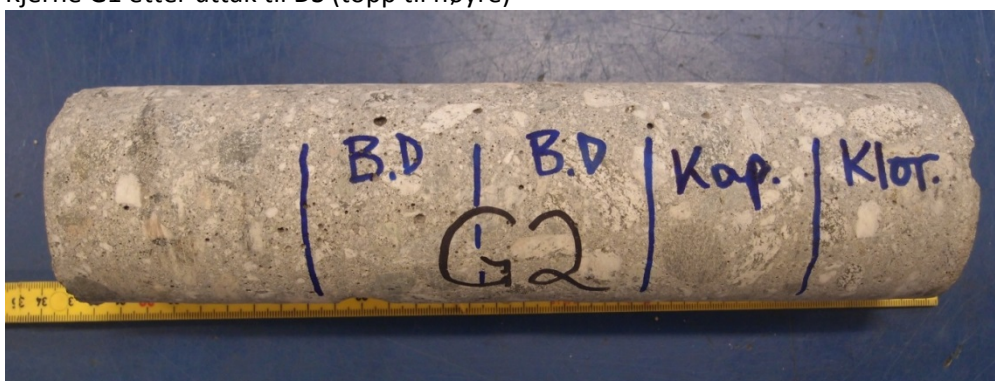
Kjerne F1 i sin helhet anvendt til DS



Kjerne F2 (topp til høyre)



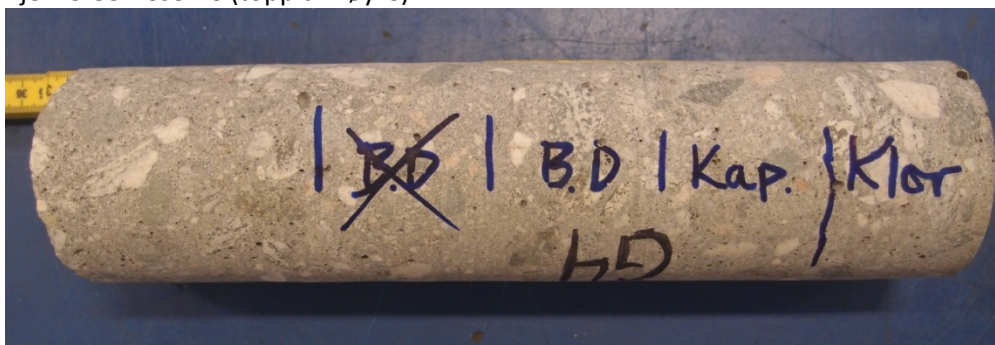
Kjerne G1 etter uttak til DS (topp til høyre)



Kjerne G2 (topp til høyre)



Kjerne G3 Reserve (topp til høyre)



Kjerne G4 (topp til høyre)



A1



A2



A3



A4



B1



B2



B3



B4



C1



C2



C3



C4



D1



D2



D3



D4

Skiver til bestemmelse av DS-profil (in-situ fuktinnhold)



E1



E2



E3



F1



F2



F3



G1



G2

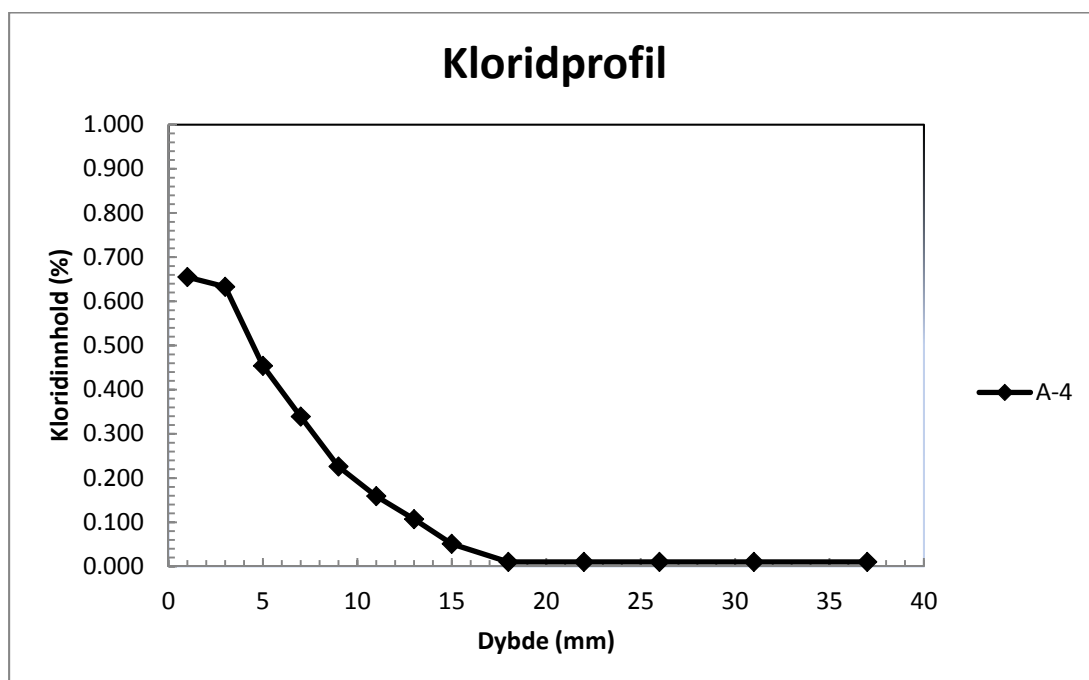
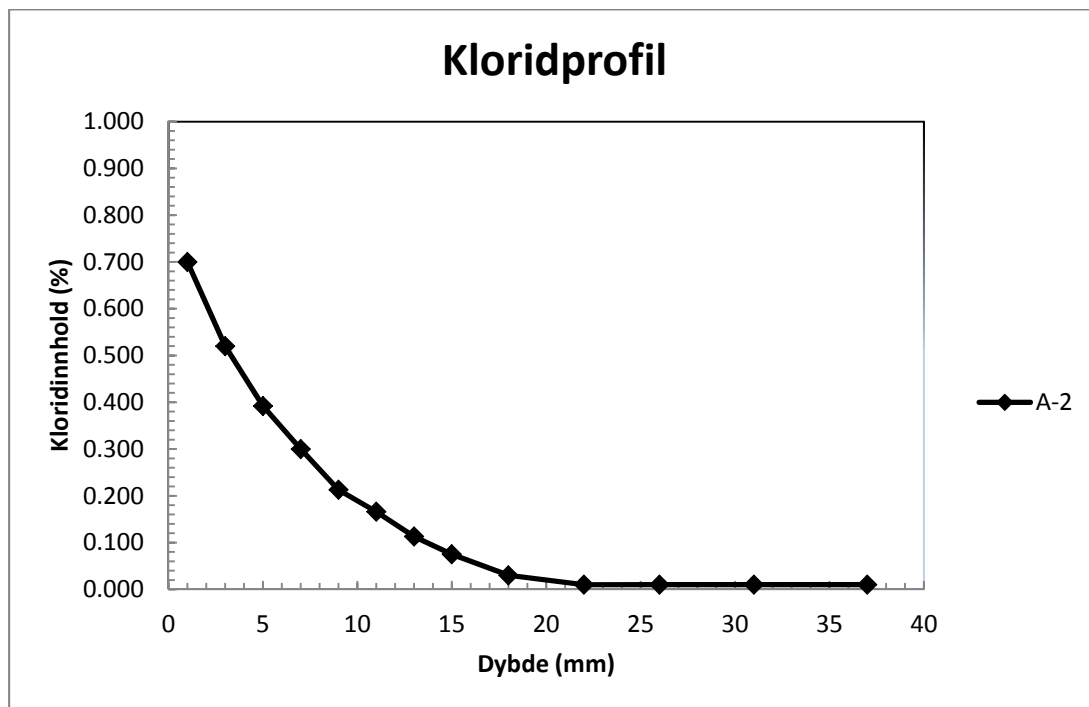


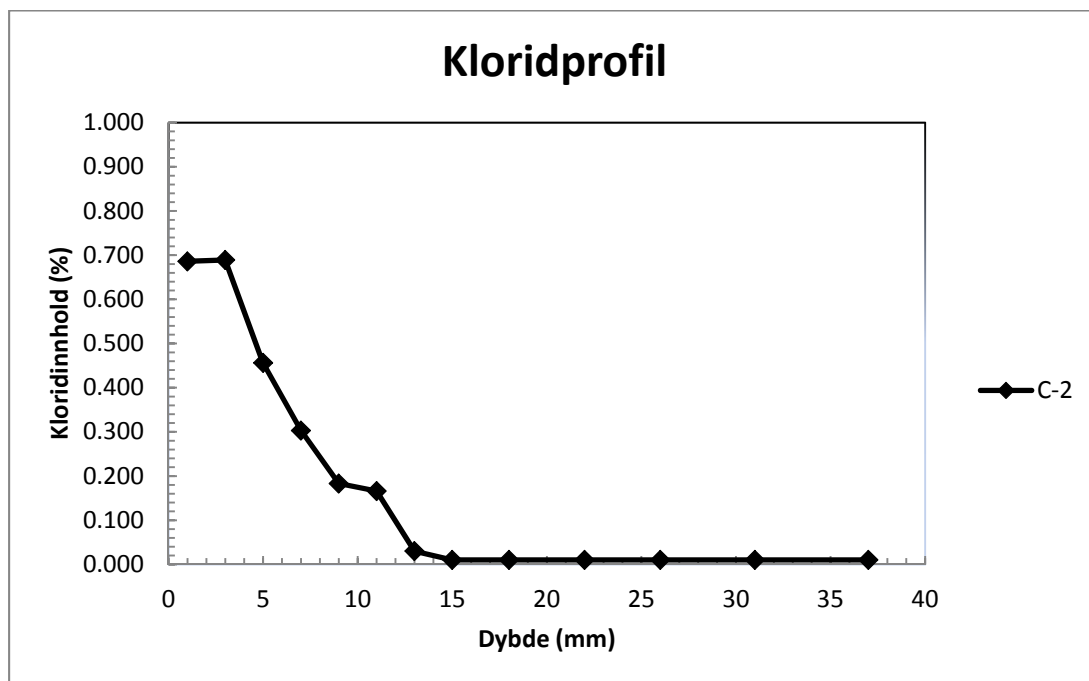
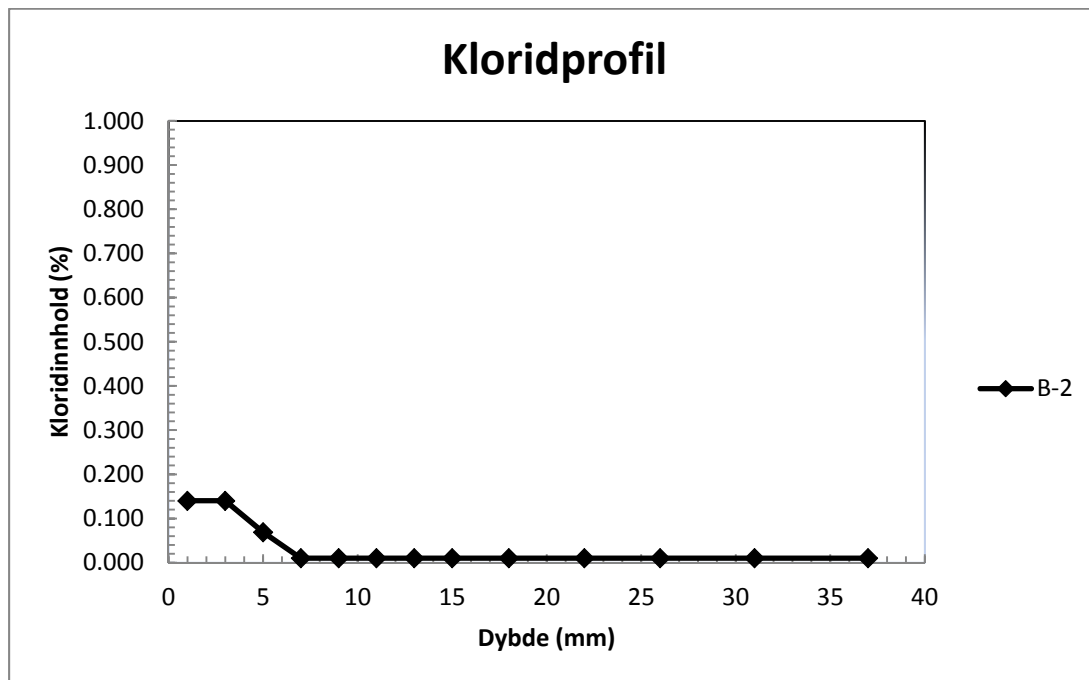
G3

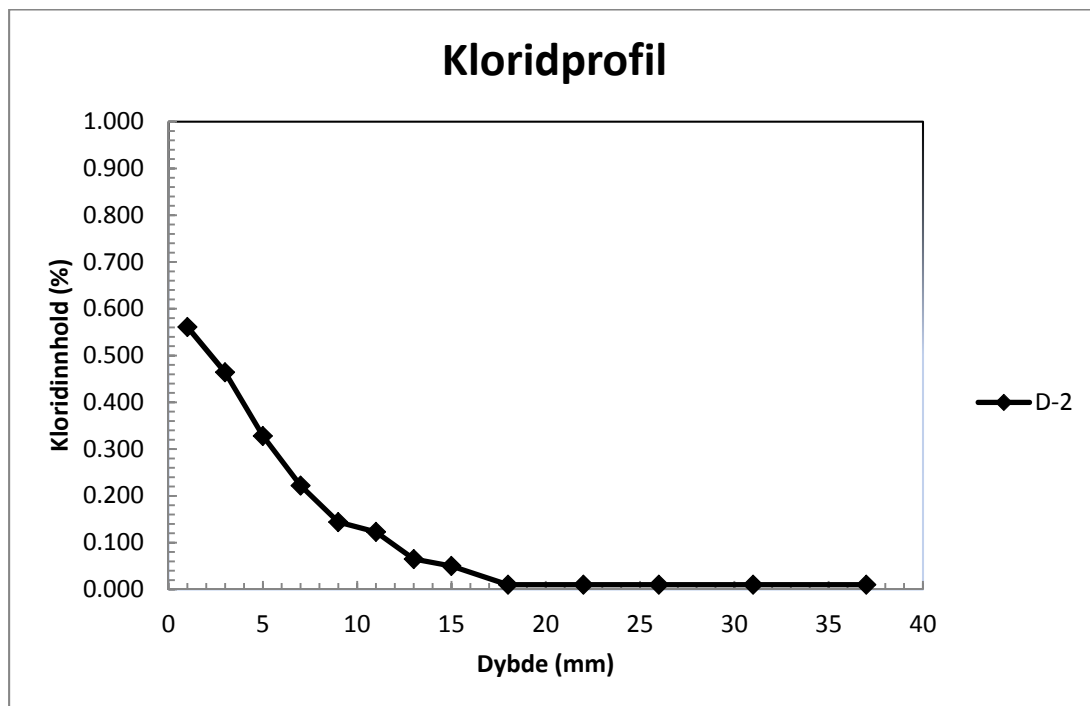
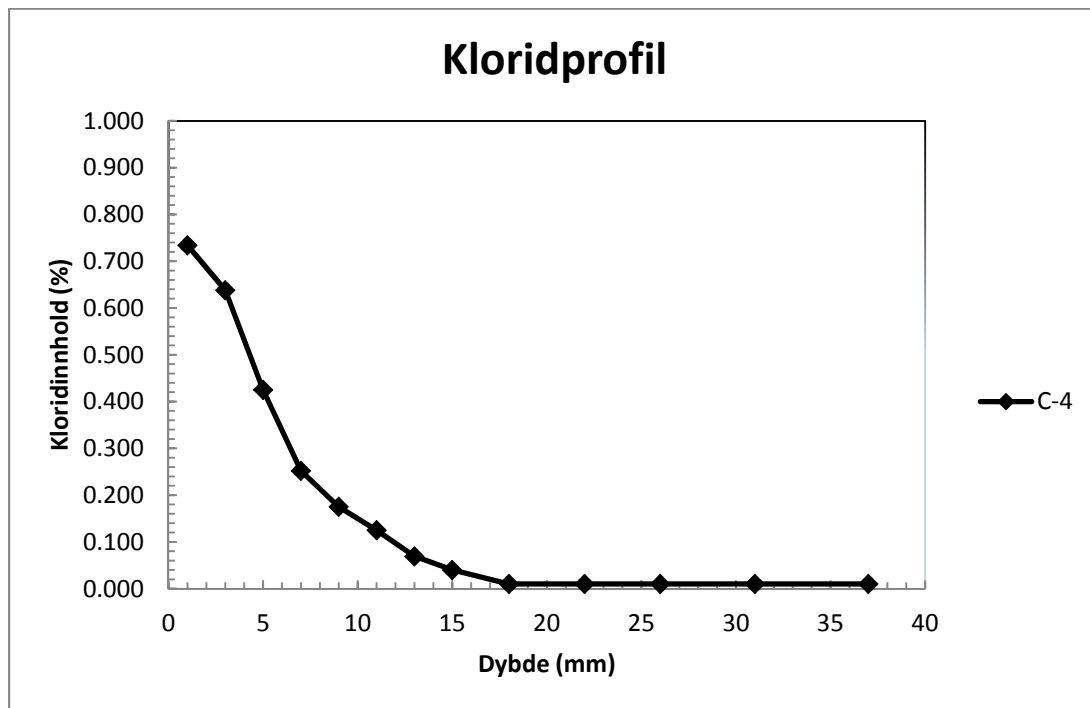


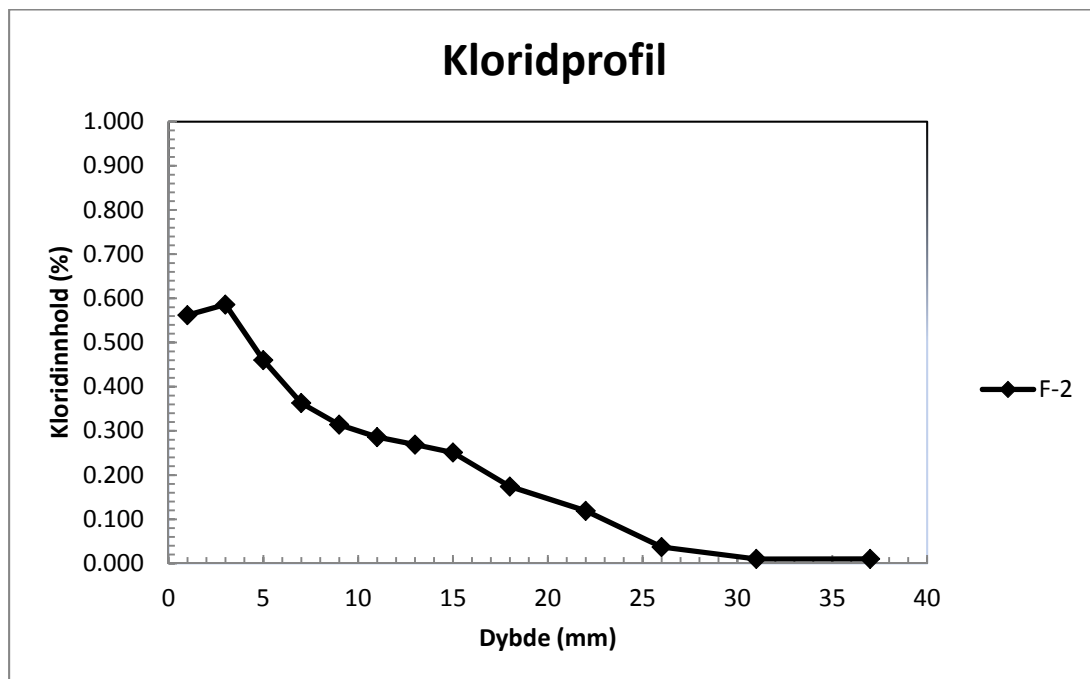
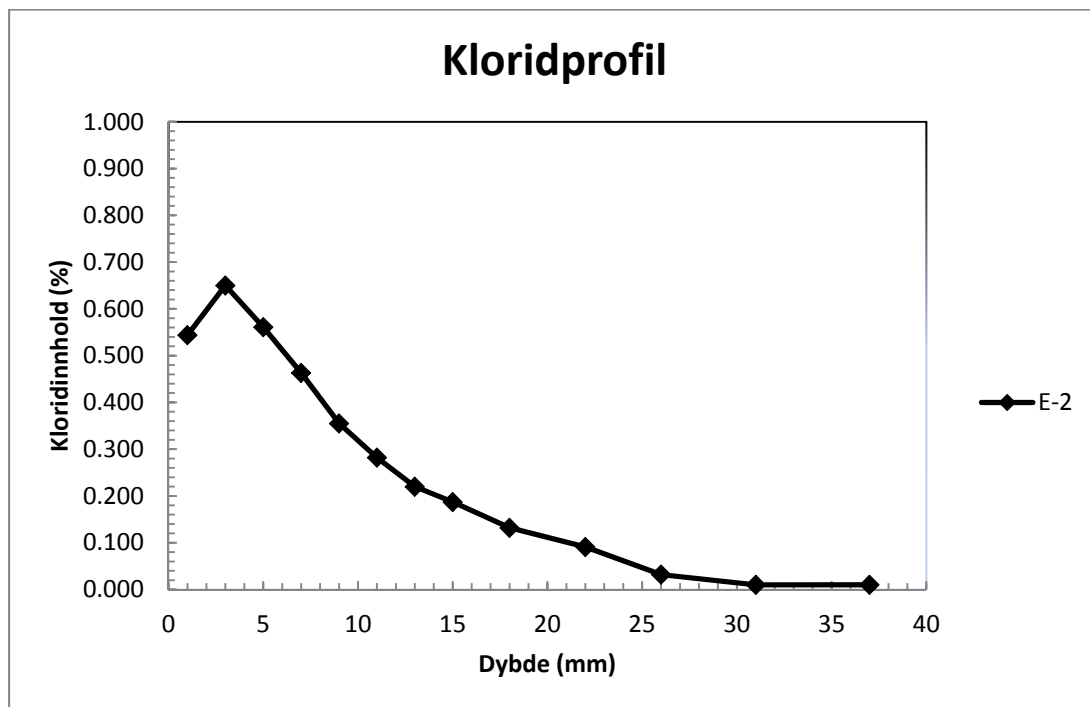
G4

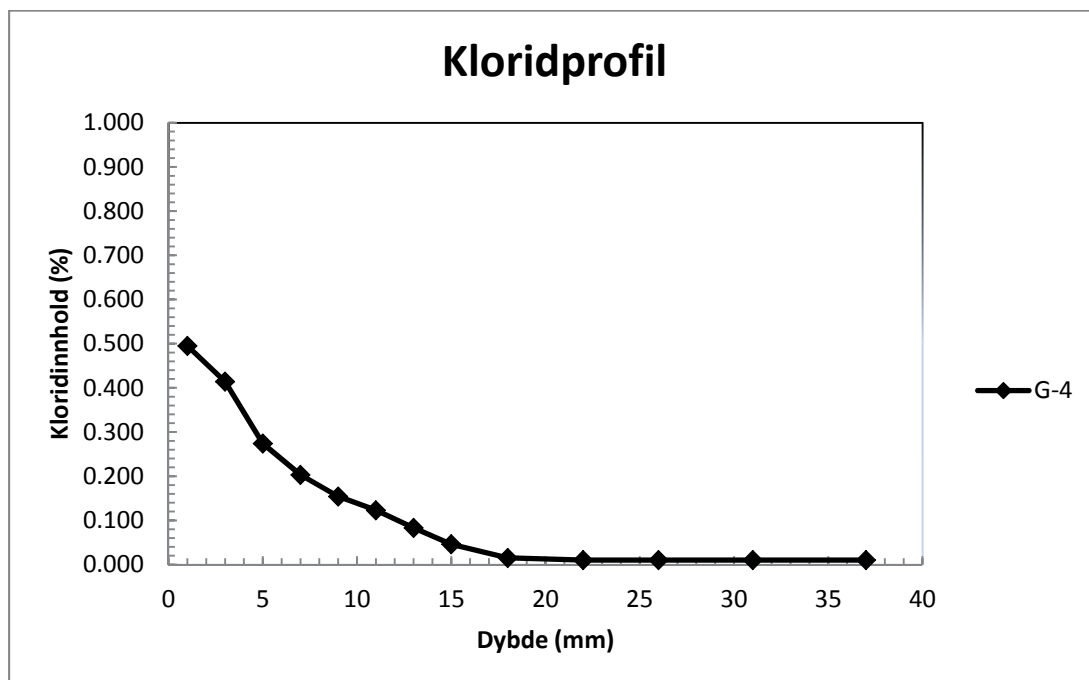
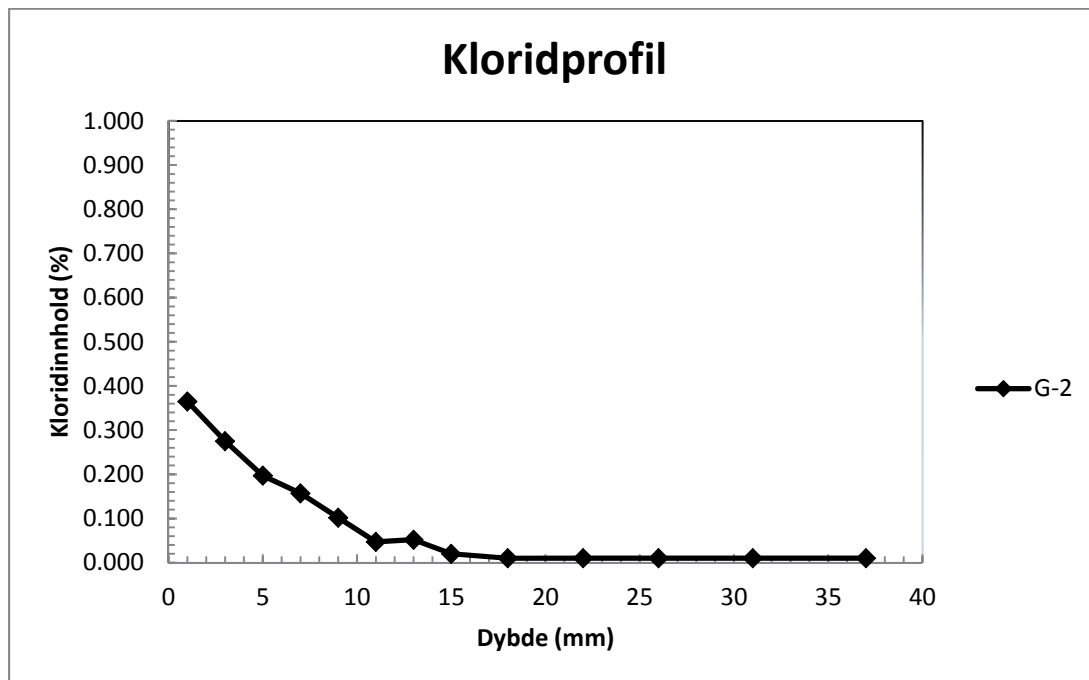
Skiver til bestemmelse av DS-profil (in-situ fuktprofil)







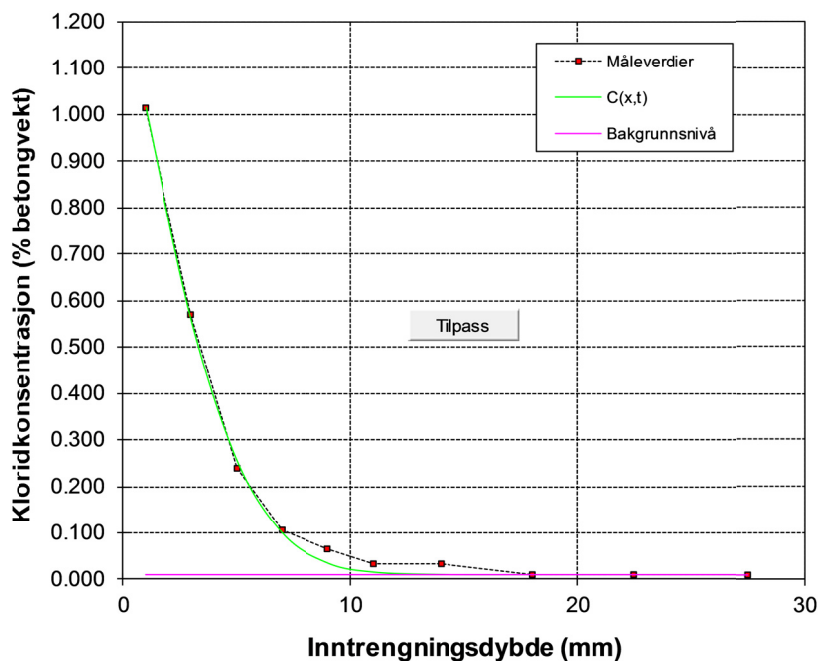




Beregning av C_0 og D Prosjekt: 3039-26 Profil A-1 © 2012-01-09 ss

Ekspontid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.272	% betong
D	2.48	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9993	
Inntrengning	121.8	g/m^2
k (0.1 %)	22.6	mm

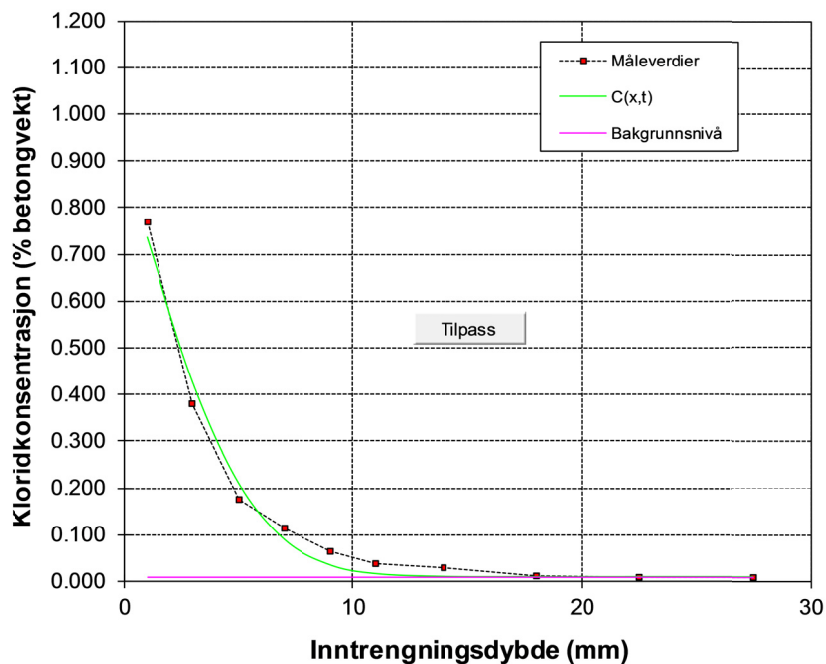
x	målt	status
1	1.015	ok
3	0.569	ok
5	0.239	ok
7	0.107	ok
9	0.066	ok
11	0.034	
14	0.034	
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil A2-1 © 2012-01-09 ss

Ekspontid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.909	% betong
D	2.79	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9940	
Inntrengning	92.4	g/m^2
k (0.1 %)	21.8	mm

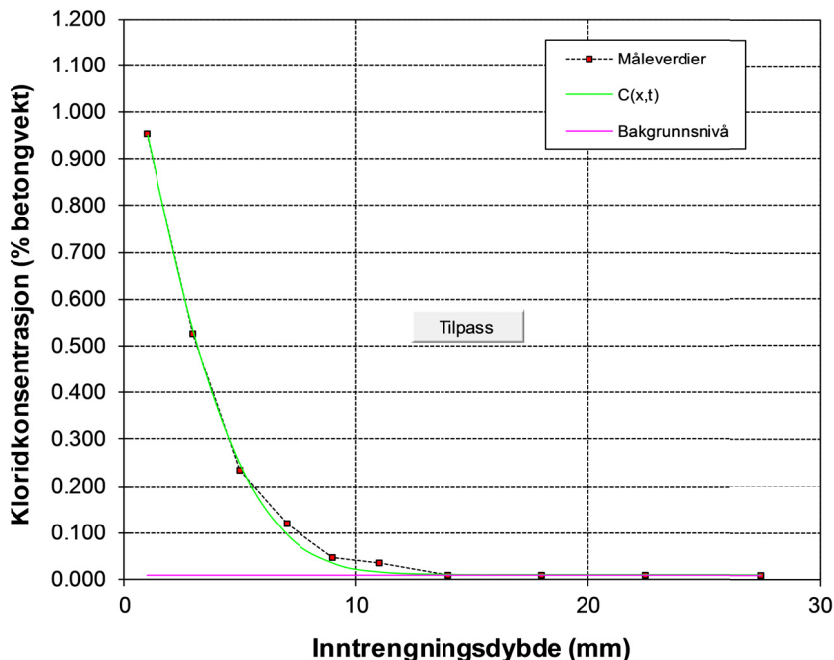
x	målt	status
1	0.769	ok
3	0.381	ok
5	0.176	ok
7	0.113	ok
9	0.063	ok
11	0.037	
14	0.030	
18	0.013	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil A2-2 © 2012-01-09 ss

Ekspontid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.188	% betong
D	2.52	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9996	
Inntrengning	112.5	g/m^2
k (0.1 %)	22.3	mm

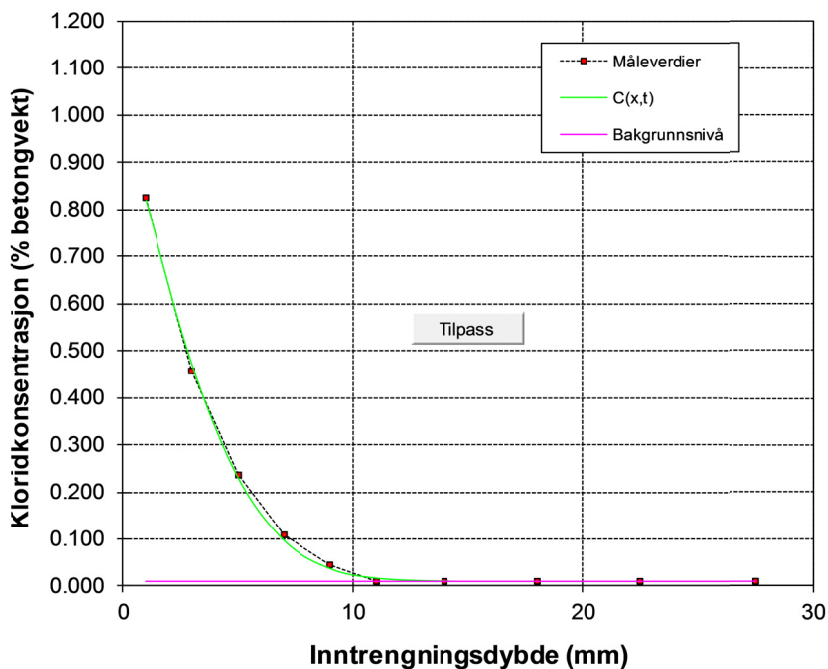
x	målt	status
1	0.954	ok
3	0.525	ok
5	0.235	ok
7	0.120	ok
9	0.046	
11	0.035	
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: 3039-26 Profil B2-1 © 2012-01-09 ss

Ekspontid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.014	% betong
D	2.75	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9996	
Inntrengning	97.7	g/m^2
k (0.1 %)	22.3	mm

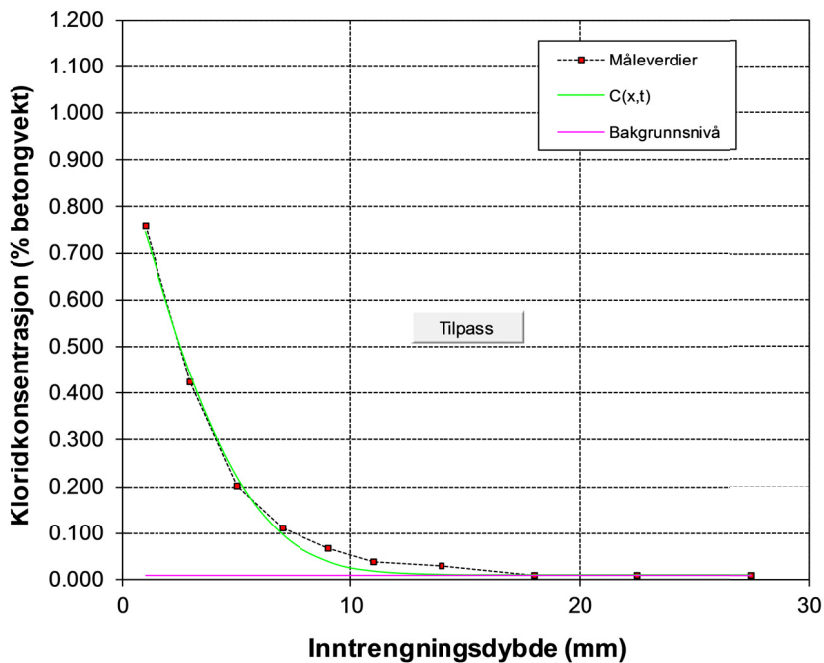
x	målt	status
1	0.826	ok
3	0.457	ok
5	0.236	ok
7	0.108	ok
9	0.045	ok
11	0.010	ok
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil B2-2 ©2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.915	% betong
D	2.92	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9982	
Inntrengning	94.4	g/m^2
k (0.1 %)	22.3	mm

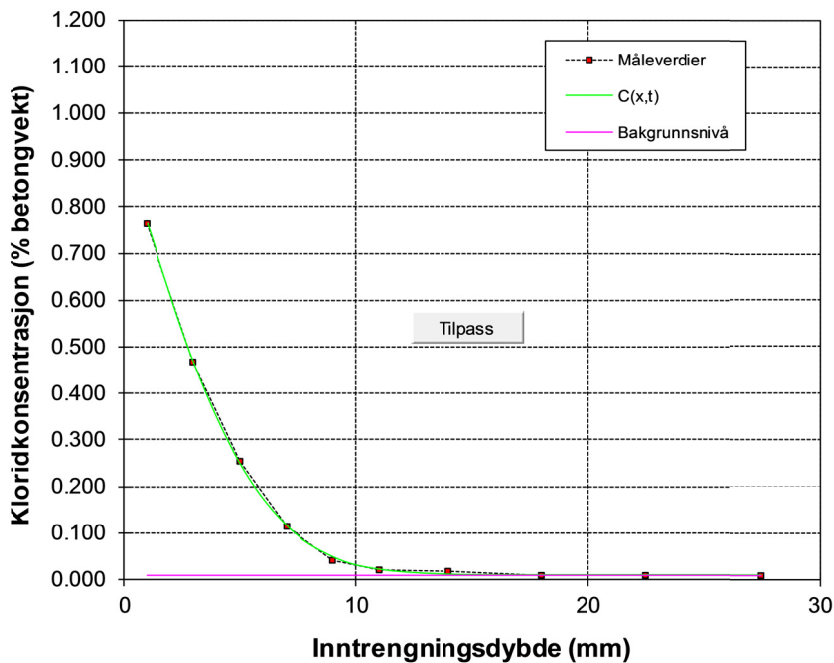
x	målt	status
1	0.757	ok
3	0.424	ok
5	0.202	ok
7	0.110	ok
9	0.066	ok
11	0.038	ok
14	0.028	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil B2-3 ©2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.927	% betong
D	3.25	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9999	
Inntrengning	95.9	g/m^2
k (0.1 %)	23.7	mm

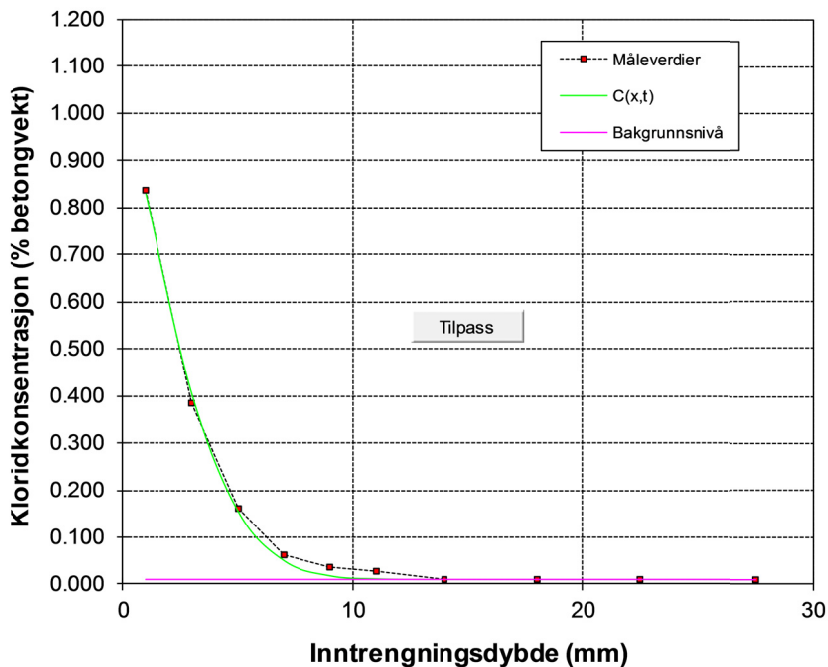
x	målt	status
1	0.763	ok
3	0.467	ok
5	0.254	ok
7	0.114	ok
9	0.040	ok
11	0.020	ok
14	0.018	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: 3039-26 Profil C-1 © 2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.079	% betong
D	1.86	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9990	
Inntrengning	89.9	g/m^2
k (0.1 %)	18.7	mm

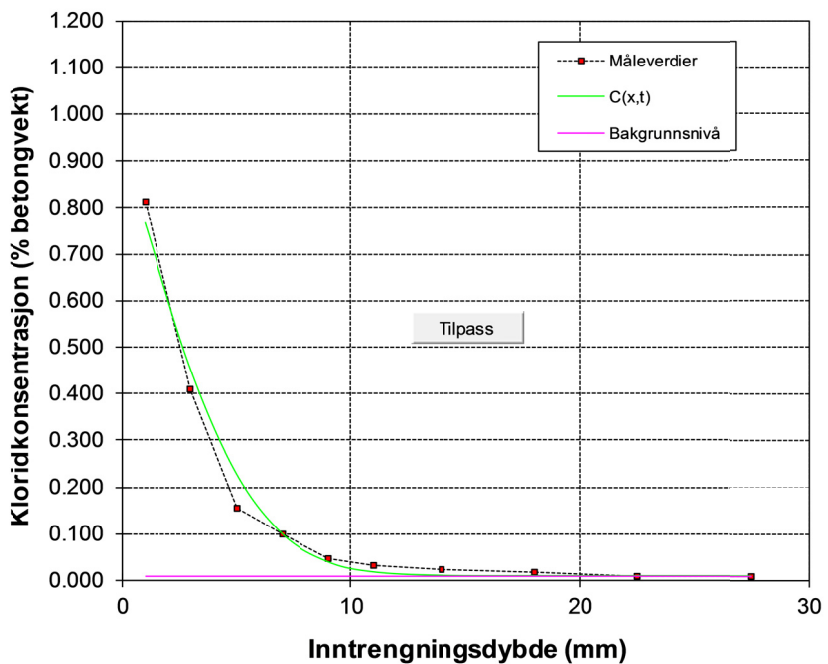
x	målt	status
1	0.838	ok
3	0.383	ok
5	0.161	ok
7	0.063	ok
9	0.035	ok
11	0.027	ok
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil C2-1 © 2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.943	% betong
D	2.91	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9921	
Inntrengning	94.0	g/m^2
k (0.1 %)	22.6	mm

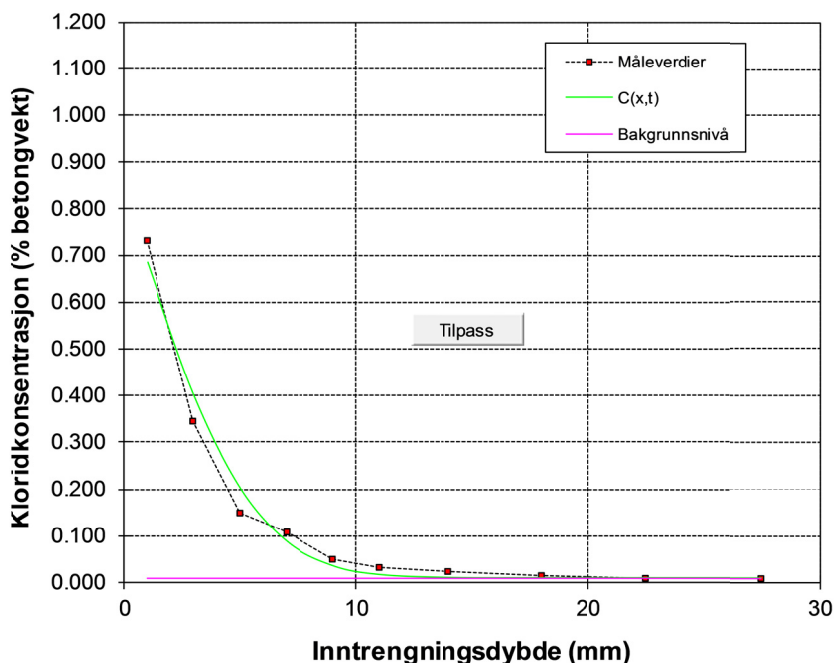
x	målt	status
1	0.812	ok
3	0.409	ok
5	0.156	ok
7	0.099	ok
9	0.048	ok
11	0.033	ok
14	0.023	ok
18	0.018	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil C2-2 © 2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.842	% betong
D	2.89	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9901	
Inntrengning	84.7	g/m^2
k (0.1%)	21.7	mm

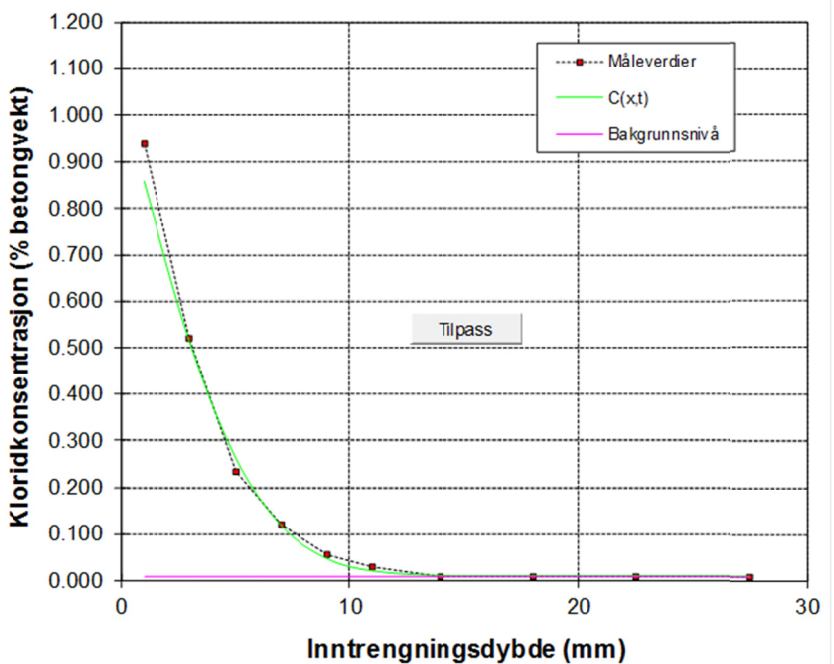
x	målt	status
1	0.730	ok
3	0.344	ok
5	0.150	ok
7	0.108	ok
9	0.051	ok
11	0.033	ok
14	0.022	ok
18	0.014	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil D1-1 © 2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.050	% betong
D	3.05	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9981	
Inntrengning	111.3	g/m^2
k (0.1%)	23.7	mm

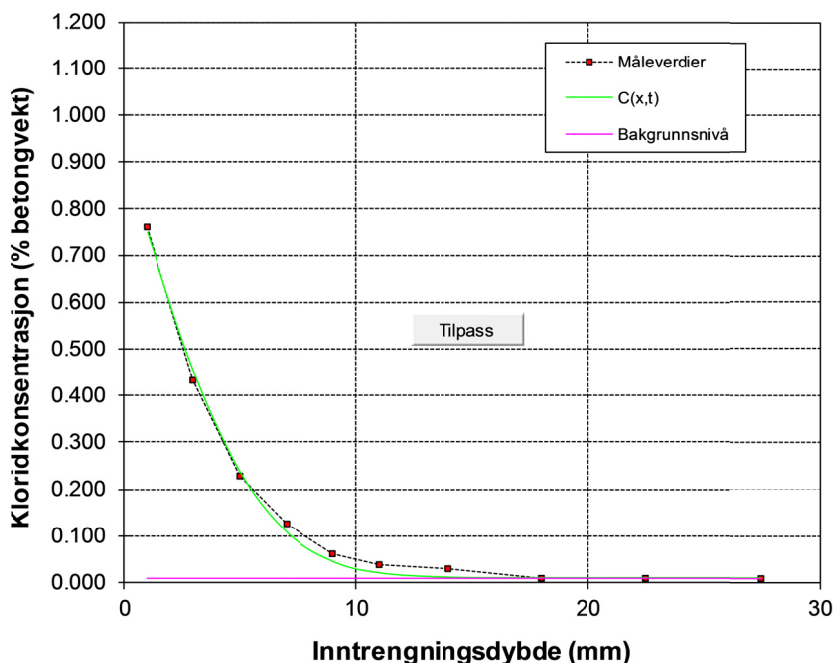
x	målt	status
1	0.939	ok
3	0.521	ok
5	0.235	ok
7	0.121	ok
9	0.056	ok
11	0.028	ok
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil D1-2 © 2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.912	% betong
D	3.14	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9987	
Inntrengning	96.8	g/m^2
k (0.1%)	23.2	mm

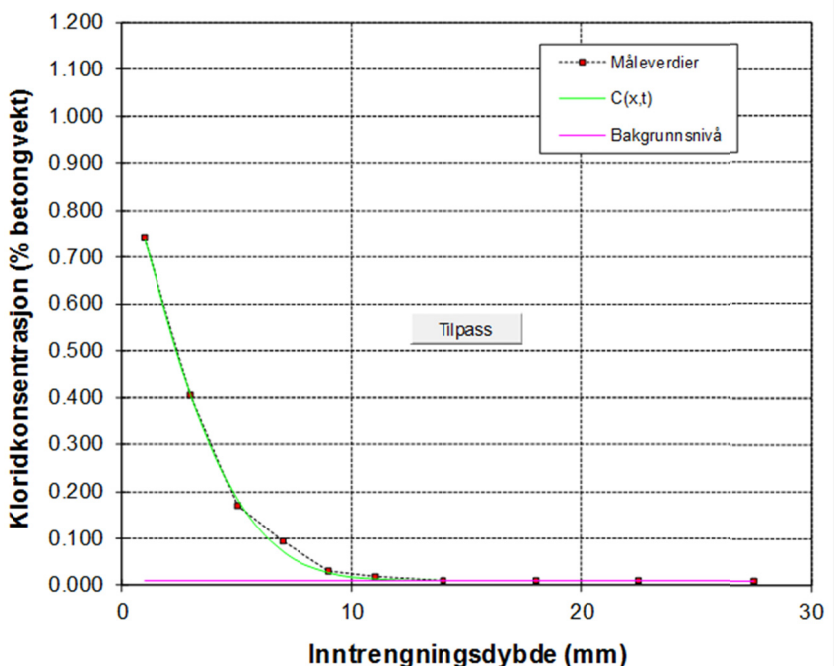
x	målt	status
1	0.760	ok
3	0.432	ok
5	0.228	ok
7	0.125	ok
9	0.061	ok
11	0.039	ok
14	0.028	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: 3039-26 Profil D-2 © 2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.927	% betong
D	2.41	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9993	
Inntrengning	84.9	g/m^2
k (0.1%)	20.4	mm

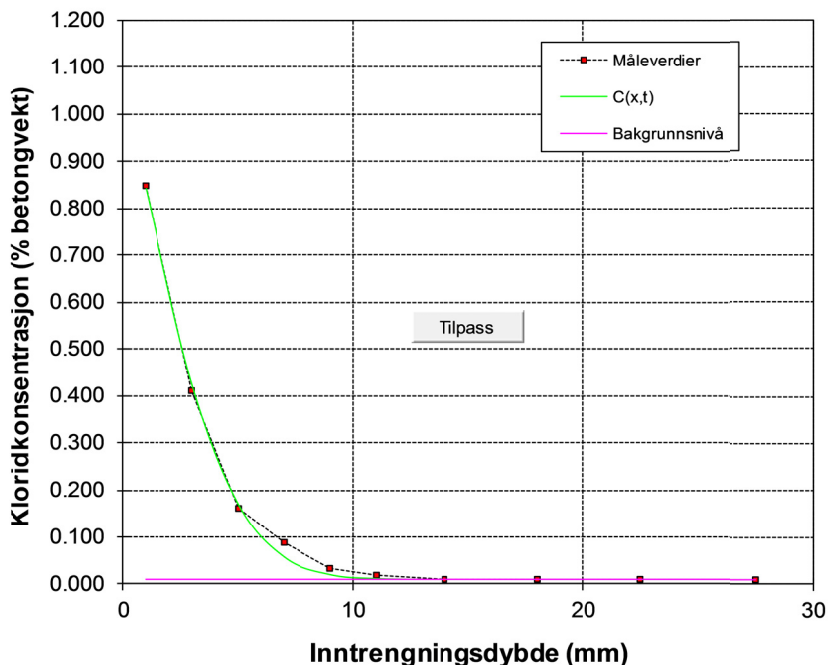
x	målt	status
1	0.740	ok
3	0.404	ok
5	0.171	ok
7	0.094	ok
9	0.029	ok
11	0.019	ok
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: 3039-26 Profil G2-1 ©2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.087	% betong
D	1.99	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9989	
Inntrengning	92.6	g/m^2
k (0.1 %)	19.4	mm

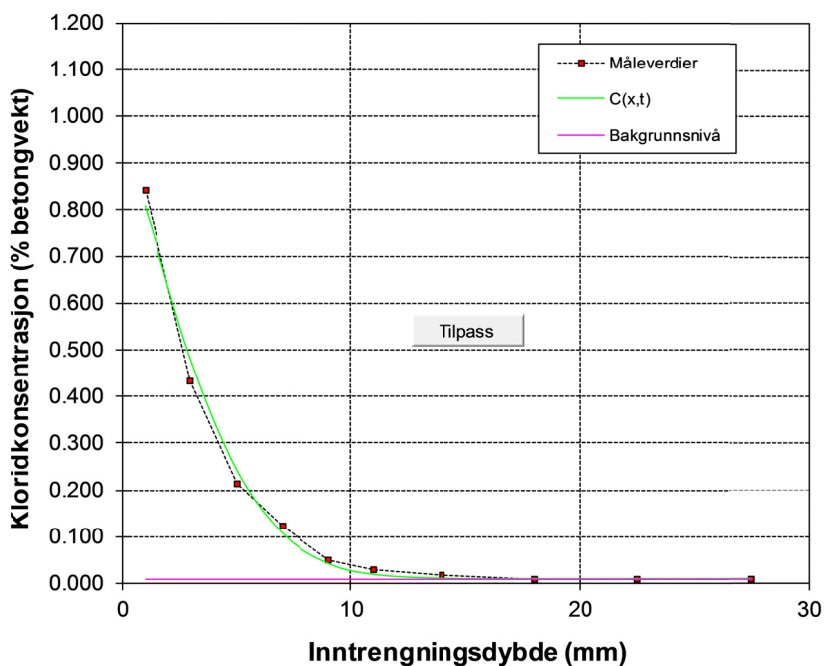
x	målt	status
1	0.850	ok
3	0.411	ok
5	0.162	ok
7	0.089	ok
9	0.032	ok
11	0.018	ok
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil G2-2 ©2012-01-09 ss

Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	0.992	% betong
D	2.97	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9963	
Inntrengning	99.6	g/m^2
k (0.1 %)	23.1	mm

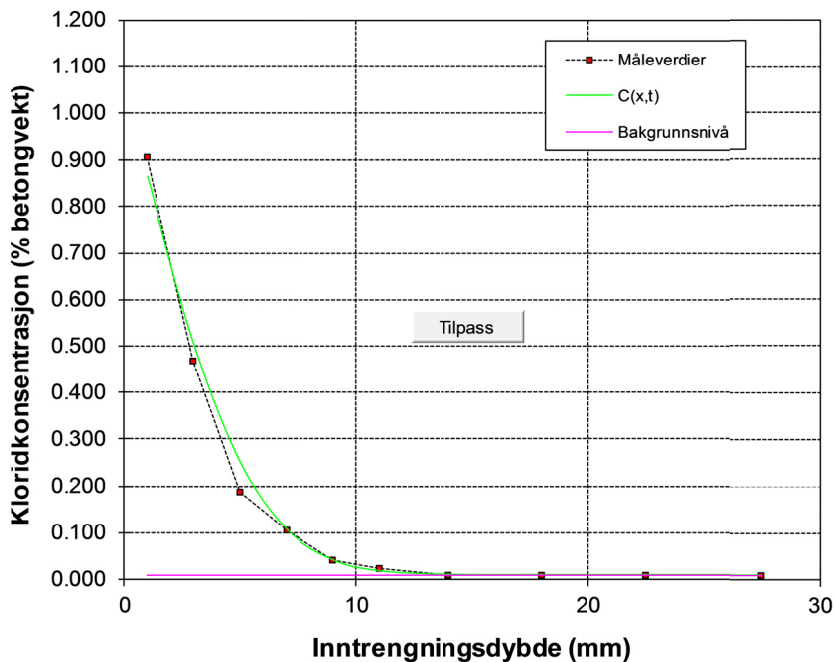
x	målt	status
1	0.843	ok
3	0.432	ok
5	0.212	ok
7	0.123	ok
9	0.049	ok
11	0.029	ok
14	0.018	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok

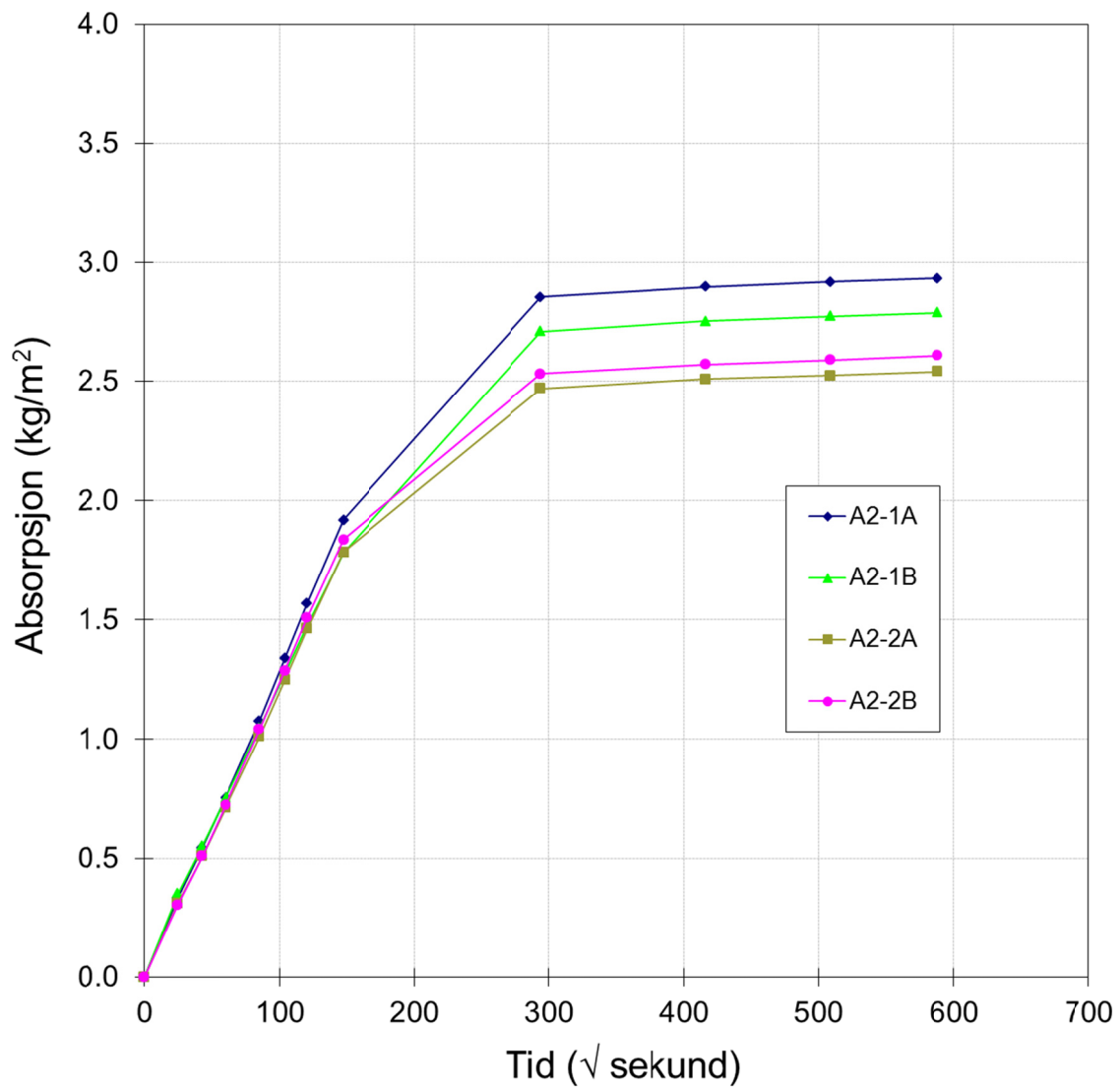


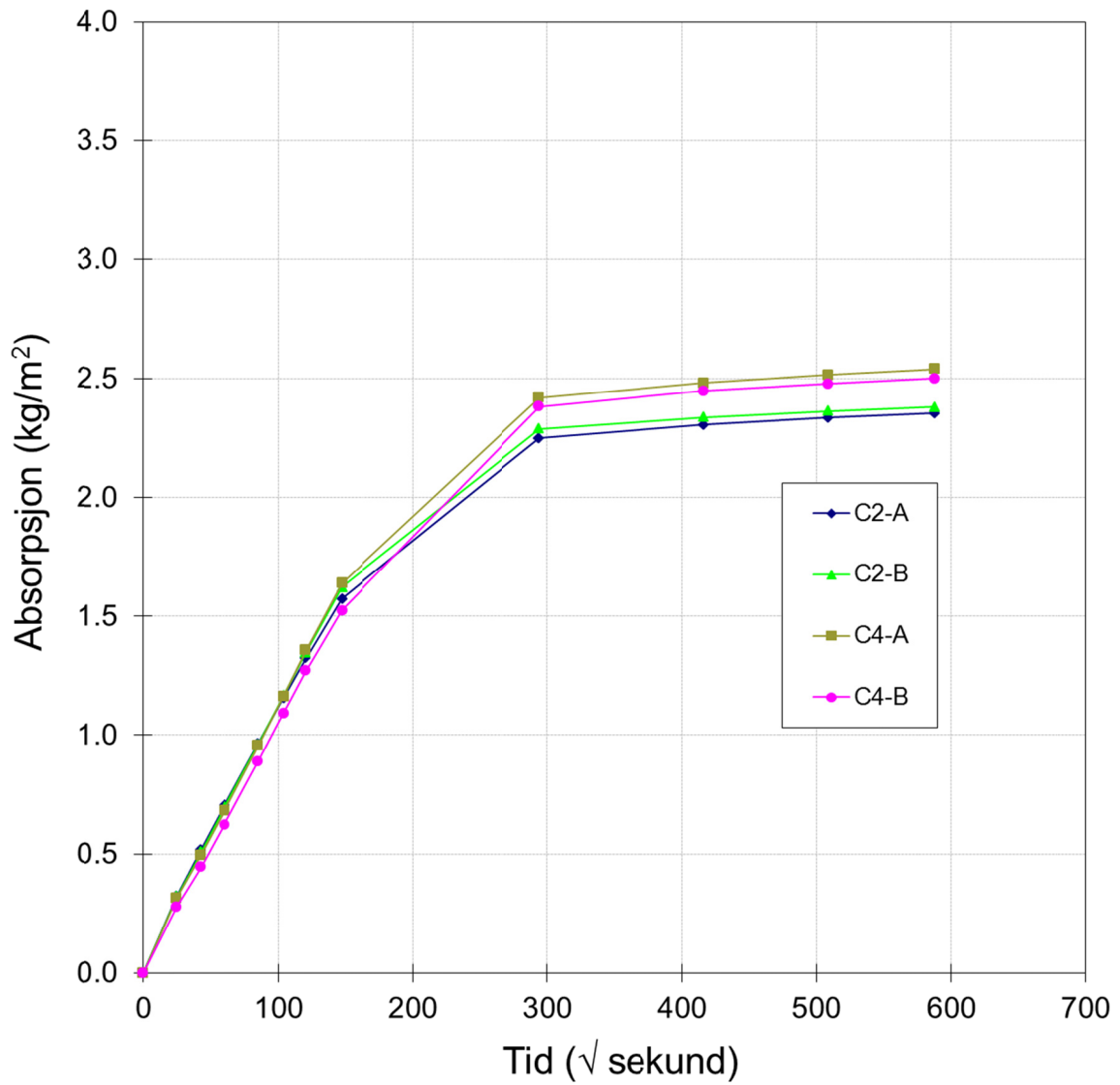
Beregning av C_0 og D Prosjekt: Profil G4 ©2012-01-09 ss

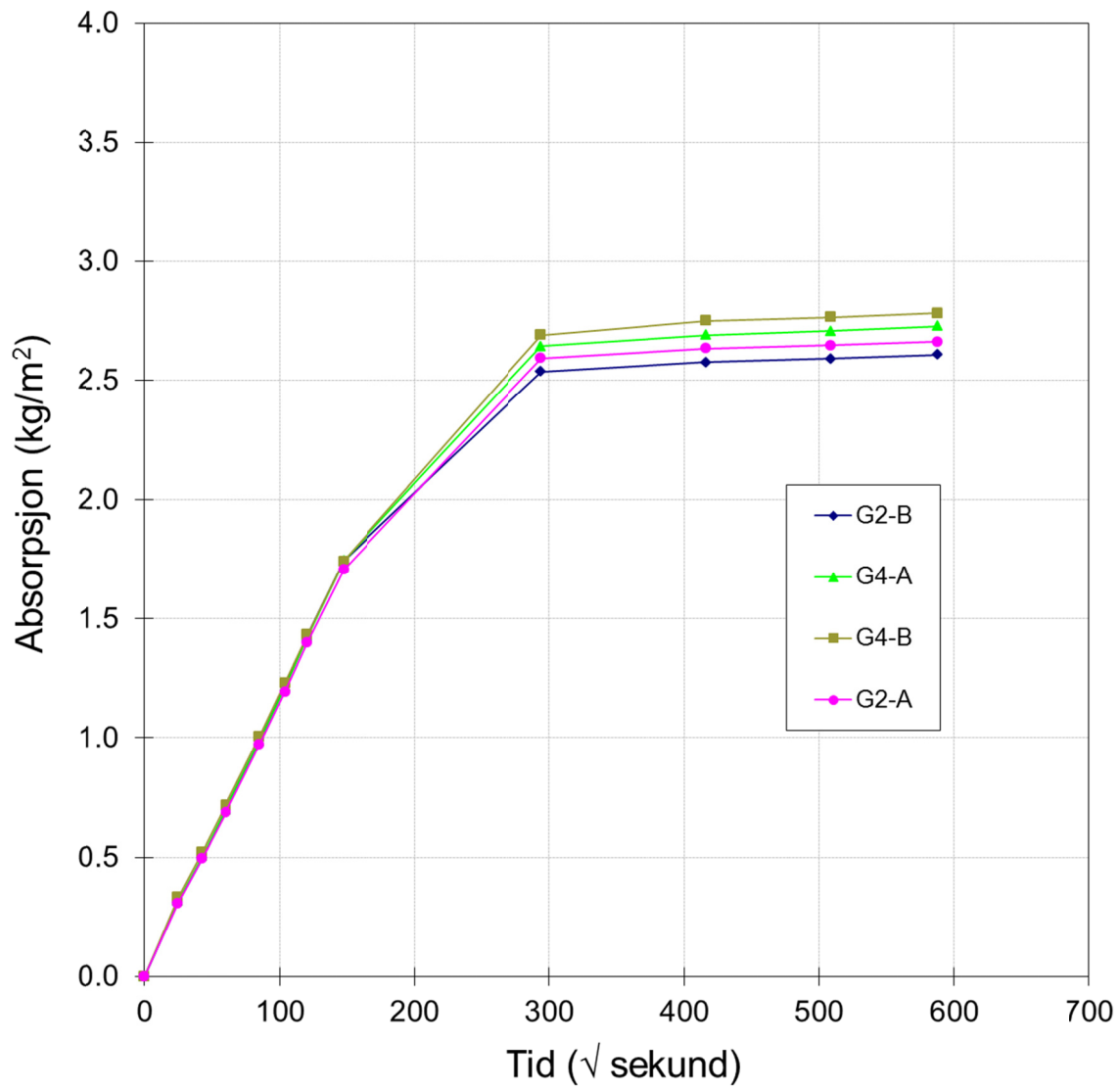
Ekspontertid	840	timer
Bakgrunn	0.010	% betong
C_0	1.066	% betong
D	2.85	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0.9958	
Inntrengning	102.2	g/m^2
k (0.1%)	23.1	mm

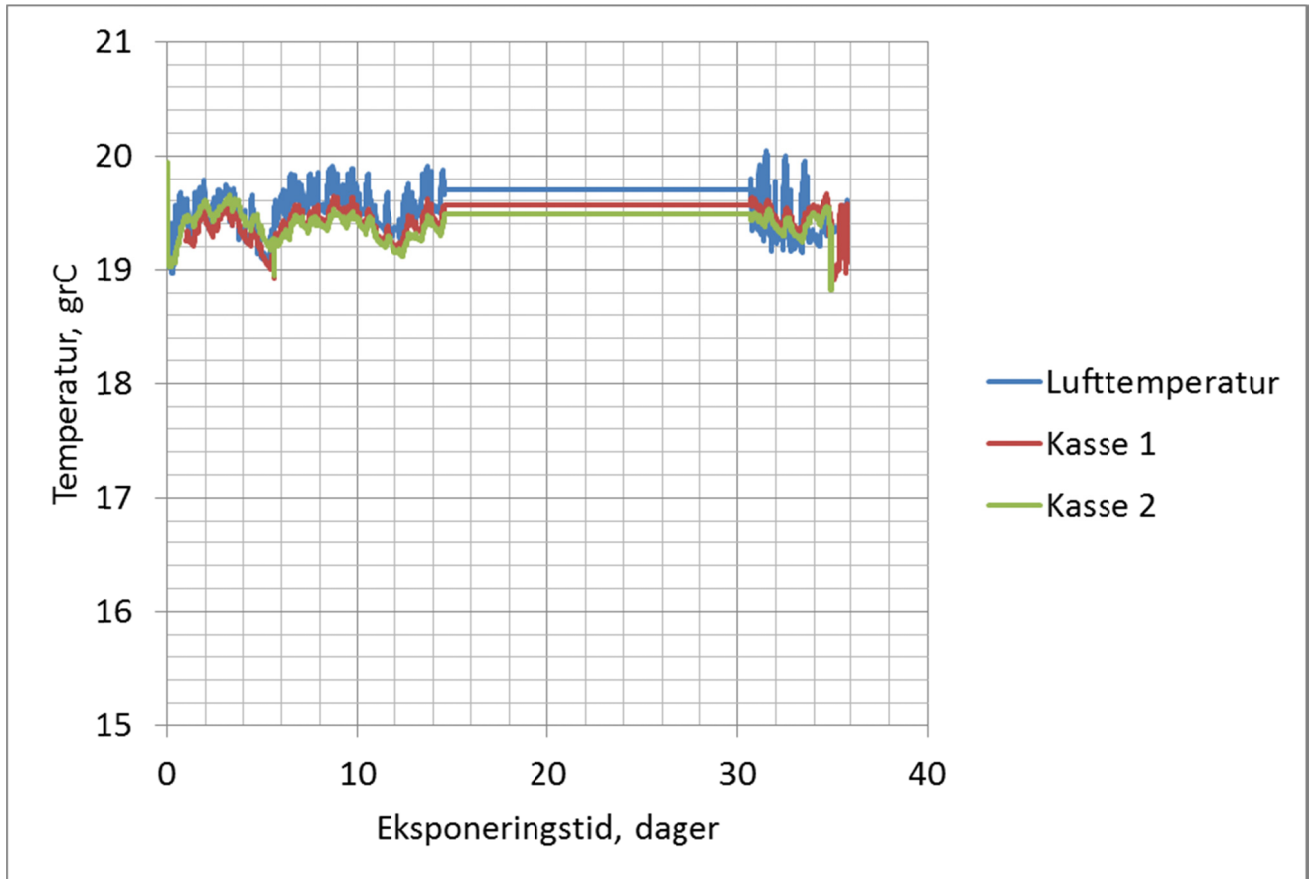
x	målt	status
1	0.905	ok
3	0.469	ok
5	0.188	ok
7	0.105	ok
9	0.042	ok
11	0.022	ok
14	0.010	ok
18	0.010	ok
22.5	0.010	ok
27.5	0.010	ok











Strøbrudd har medført logging av samme temperaturverdier i perioden 17. desember til 3. januar

Vedlegg 3 – Rapport fra Mannvit



MANNVIT



Statens vegvesen

AVROP 21

RAMMEAVTALE PÅ LABORATORIETJENESTER INNEN BETONG,
BETONGKONSTRUKSJONER, TUNNEL OG BRUVEDLIKEHOLD MED
FOU (2010174185)

CL- OG CA-PROFIL, FUKT-PROFIL, NEDDYKKET KLORIDDIFFUSJON, RESISTIVITET OG KAPILLÆR ABSORPSJON

TEST RAPPORTER

PROSJEKTNUMMER: 7.920.216-V05						
DOKUMENT NUMMER: MV 2014-045						
GJELDENE VERSJON: 1.00						
1.00	2014.11.14	GG/GEJ	GG/GEJ	GJE	pH	NA
REV.	DATO REV.	ENDRING	UTFØRT	KONTROLLERT	ANSVARLIG	BYGGHERRE

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon.....	1
2. Testing og resultater.....	1
Bilag A Foto dokumentasjon av kjerner	A-1
Bilag B Armering	B-1
Bilag C Klorid- og kalsiumanalyser	C-1
Bilag D DS profil.....	D-1
Bilag E Kloriddiffusjon.....	E-1
Bilag F Resistivitet.....	F-3
Bilag G Kapillær absorpsjon.....	G-1
Bilag H Test metoder	H-1

1. Introduksjon

Nå er det avsluttet bestemmelse av klorid- og kalsium profil, fukt profil (DS), neddykket kloriddiffusjon, resistivitet og kapillær absorpsjon (bulkdifusjon) ihht. avtale mellom Statens vegvesen Vegdirektoratet og Mannvit hf., datert 3. september 2014, saksnummer 2010174185.

Kjernene kom til Mannvit den 4. september. De ble alle fotografert og målt ved ankomst, se bilag A.

2. Testing og resultater

Tabell 1 viser prøvene som vi har mottatt og testene som ble utført på prøvene. Tester ble utført som beskrevet i tilbudsinnbydelsen unntatt at testprosedyren for kalsumanalyse ble endret i samråd med SVV, se bilag H. Prøvene blir testet med metoden som er beskrevet i tilbudsinnbydelsen og resultatene for begge testprosedyrene blir sammenlignet. SVV blir informert om resultatene.

Tabell 1: Mottatte prøver og utførte tester

Prøveserie	A	B	C	D
Kjerne merket	A1, A2, A3, A4	B1, B2, B3	C1, C2, C3	D1, D2, D3
Kloridanalyser	42	40	30	32
Kalsiumanalyser	4	14	4	6
DS profil	4	3	4	4
Neddykket kloriddifusjon	20	20	30	30
Resistivitet	5	3	5	5
Kapillær absorpsjon	6	4	5	4

Resultater fra testene på prøvene følger i bilager C-G. Foto dokumentering av armering er vist i bilag H.

Med vennlig hilsen

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir
Fagansvarlig for laboratorium

Bilag A Foto dokumentasjon av kjerner

Dato: 02.10.2014	Beskrivelse av kjerner	 MANNVIT
Oppdrag nr.: 7 920 216		
Utførelse: GEJ / SÁ		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet	
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo	
Oppdrags-representant:	Per Hagelia	
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>		
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185	
Prøve:	Kjerne A	
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato: Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt: 4.9.2014
Andre ting av interesse:		



Kjerne	Størrelse (mm)	Armering dybe (mm)	Prøve dybe (mm)				
			Klorid og kalsium-innhold	Kloridinn-trengning og resistivitet	DS	Kapillær absorpsjon og porøsitet	
						målt resistivitet	ikke målt resistivitet
A1	230	138-167	0-50	180-230		55-105 (2 sjikt)	
A2	140		0-50			55-105 (2 sjikt)	
A3	125	115-125			0-115 (4 sjikt)		
A4	200	117-137		150-200		55-105 (2 sjikt)	

Kommentar: Kjerne A1 er brutt ved jern

Dato: 02.10.2014	Beskrivelse av kjerner	
Oppdrag nr.: 7 920 216		
Utførelse: GEJ / SÁ		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet	
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo	
Oppdragsrepresentant:	Per Hagelia	
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>		
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185	
Prøve:	Kjerne B	
Prøvetaking:	ikke deklart	Prøvetaking dato: ikke deklart
Prøvetakingsmetode:	ikke deklart	Prøve mottatt: 4.9.2014
Andre ting av interesse:		



Kjerne	Størrelse (mm)	Armering dybe (mm)	Prøve dybe (mm)				
			Klorid og kalsiuminnhold	Kloridinn-trengning og resistivitet	DS	Kapillær absorpsjon og porøsitet	
						målt resistivitet	ikke målt resistivitet
B1	195	78-125	0-50	145-195		53-103 (2 skiver)	
B2	129	79-129			0-79 (3 skiver)		
B3	205	77-110	0-50	155-205			55-75 (1 skive) 130-150 (1 skive)

Kommentar: Kjerne B1 og B3 er brutt ved jern
 Prøve B1 for kapillær absorpsjon og porøsitet har inntrykk etter jern på siden (sjikt B1-2)

Dato: 02.10.2014	Beskrivelse av kjerner	
Oppdrag nr.: 7 920 216		
Utførelse: GEJ / SÅ		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet	
Adresse:	Brynsengfare 6A, 0667 Oslo	
Oppdrags-representant:	Per Hagelia	
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>		
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185	
Prøve:	Kjerne C	
Prøvetaking:	ikke deklart	Prøvetaking dato: ikke deklart
Prøvetakingsmetode:	ikke deklart	Prøve mottatt: 4.9.2014
Andre ting av interesse:		



Kjerne	Størrelse (mm)	Armering dybe (mm)	Prøve dybe (mm)				
			Klorid og kalsium-innhold	Kloridinn-trengning og resistivitet	DS	Kapillær absorpsjon og porøsitet	
						målt resistivitet	ikke målt resistivitet
C1	218	Liten grop etter jern 102-111	0-50	C1-1: 169-218 C1-2: 111-160		53-103 (2 skiver)	
C2	223	90-133		173-223			70-90 (1 skive)
C3	222	103-124	0-50		124-222 (4 skiver)	53-103 (2 skiver)	

Kommentar: Kjerne C1 er brutt ved 160 mm. Kjerne C2 er brutt ved 58 mm og ved jern. Kjerne C3 er brutt ved jern.

Dato: 02.10.2014	Beskrivelse av kjerner	
Oppdrag nr.: 7 920 216		
Utførelse: GEJ / SÅ		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet	
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo	
Oppdrags-representant:	Per Hagelia	
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>		
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185	
Prøve:	Kjerne D	
Prøvetaking:	ikke deklart	Prøvetaking dato: ikke deklart
Prøvetakingsmetode:	ikke deklart	Prøve mottatt: 4.9.2014
Andre ting av interesse:		



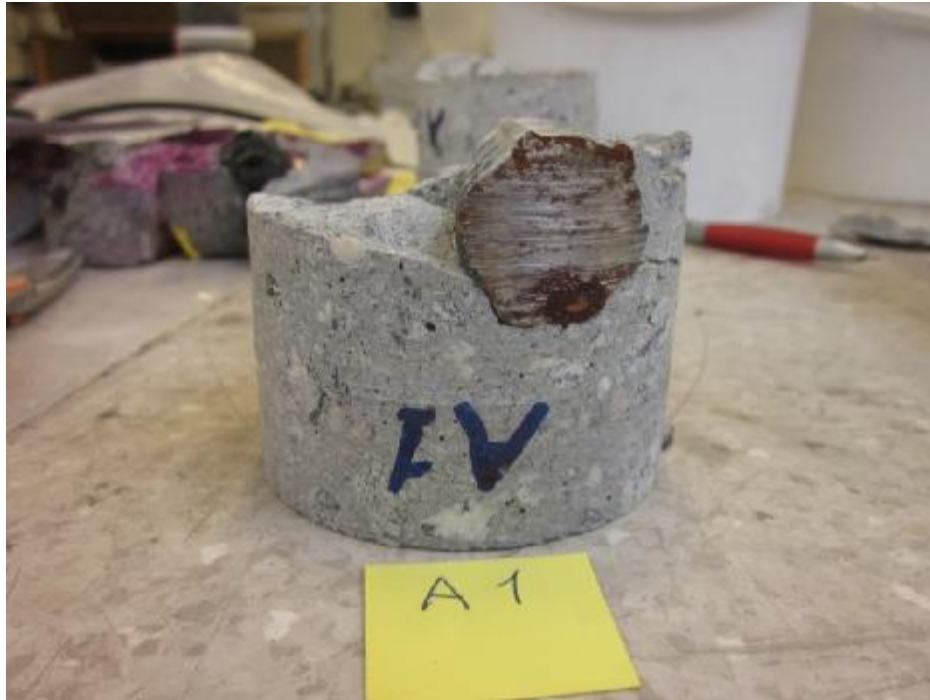
Kjerne	Størrelse (mm)	Armering dybe (mm)	Prøve dybe (mm)				
			Klorid og kalsium-innhold	Kloridinn-trengning og resistivitet	DS	Kapillær absorpsjon og porøsitet	
						målt resistivitet	ikke målt resistivitet
D1	197	102-142		147-197	0-100 (4 skiver)		
D2	196	110-141	0-50	146-196		55-105 (2 skiver)	
D3	186	94-114	0-50	136-186		54-104 (2 skiver)	

Kommentar: Kjerne D1 er brutt ved jern.

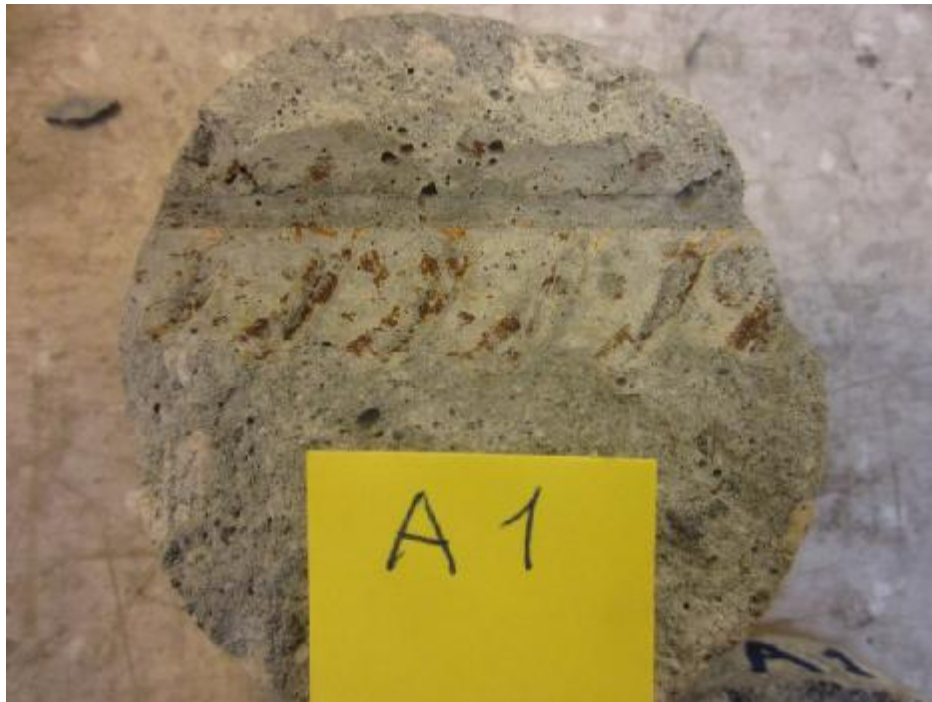
Bilag B Armering

Kjerne A

Del A1







Del A2



Del A3





Del A4



Kjerne B

Del B1







Del B2



Del B3



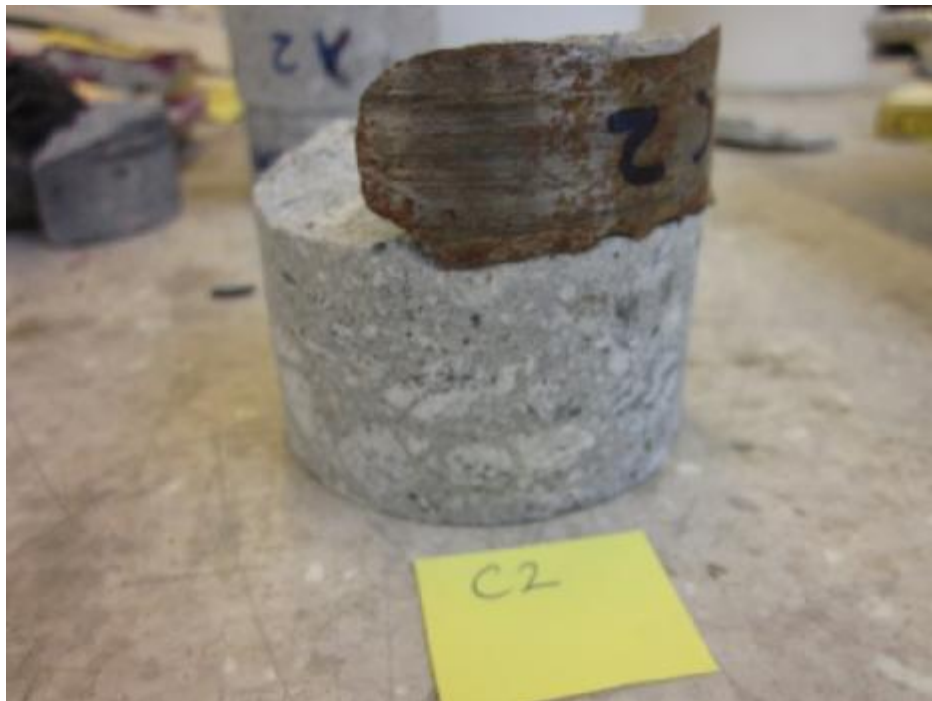


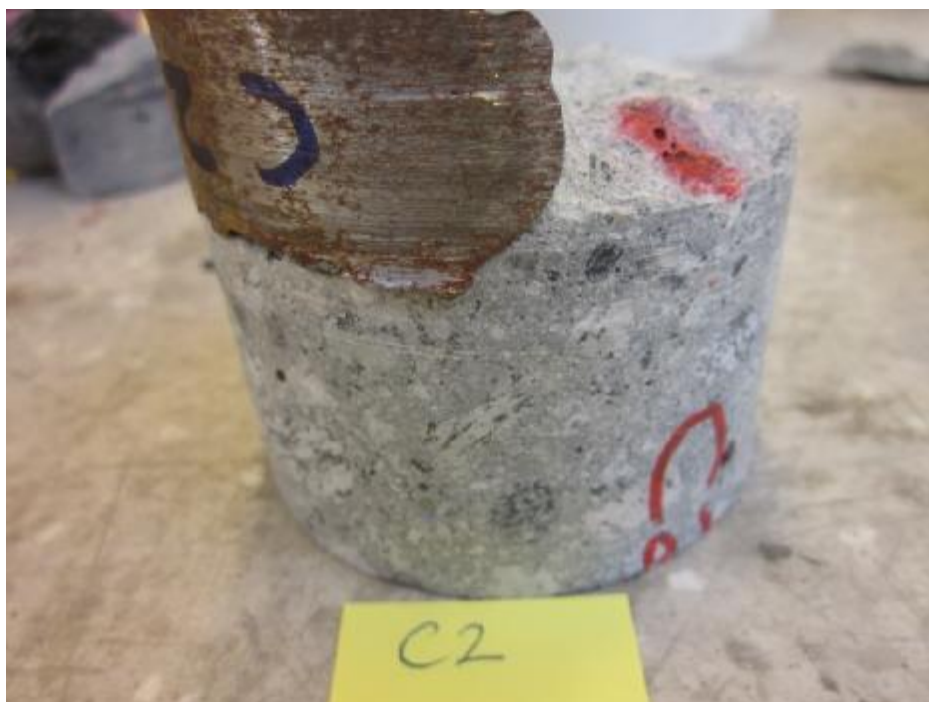
Kjerne C

Del C1



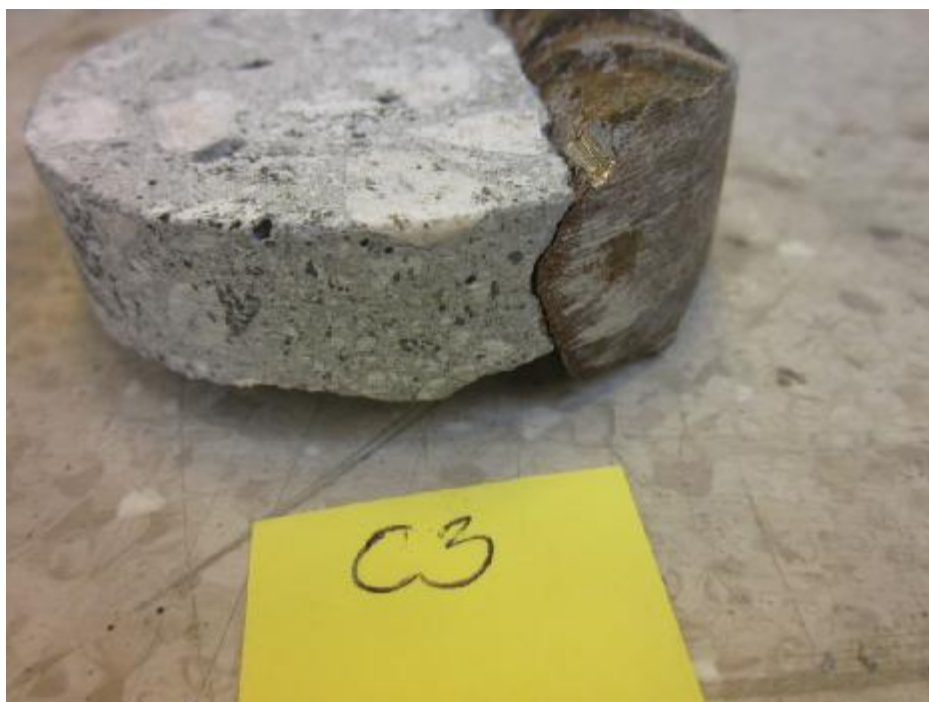
Del C2



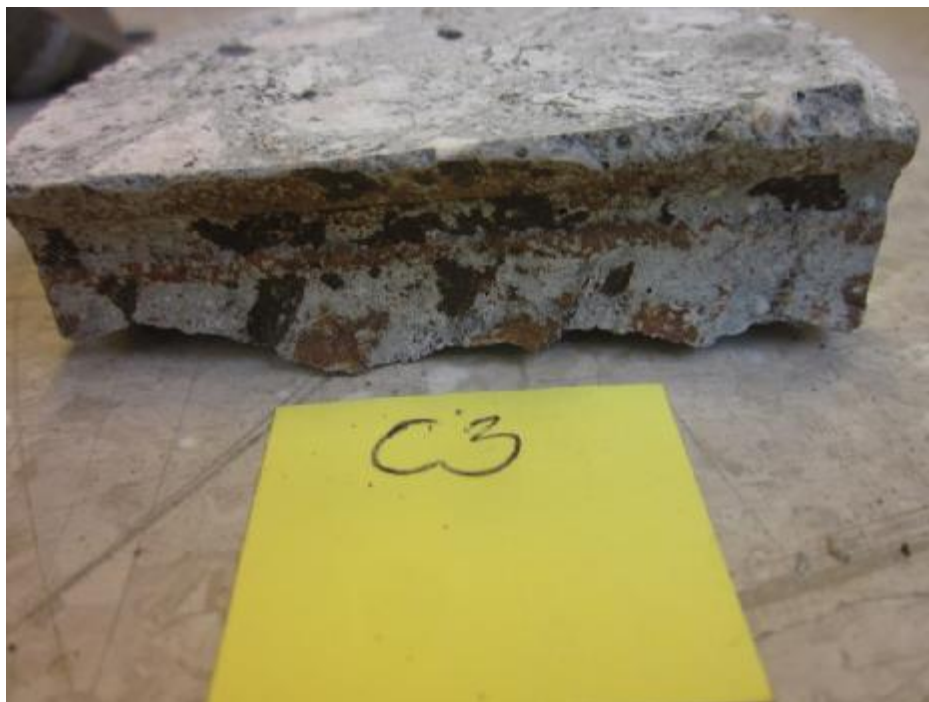




Del C3







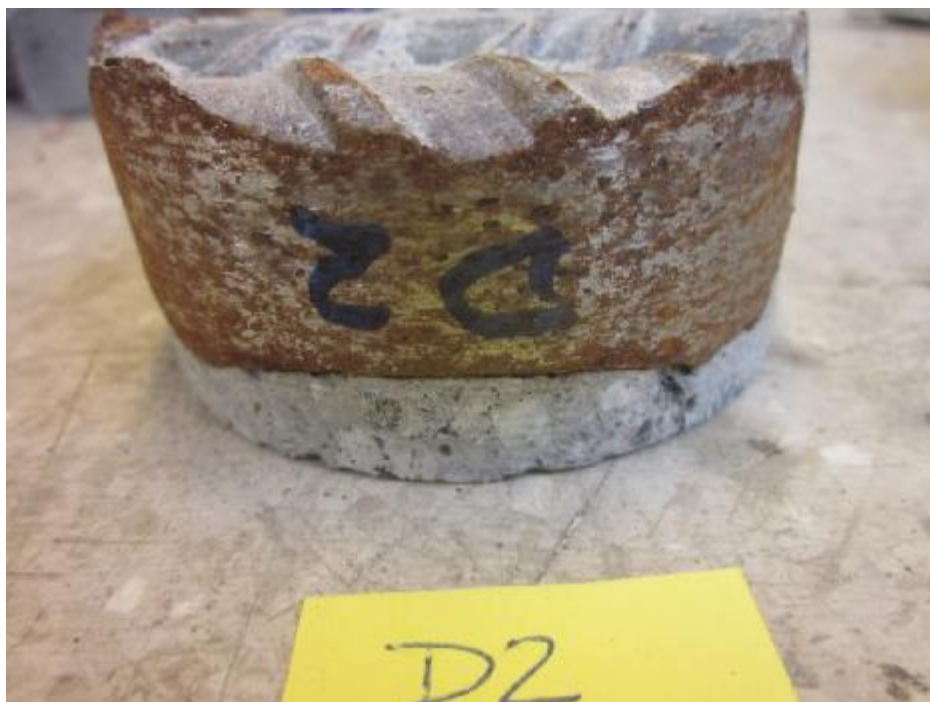
Kjerne D

Del D1



Del D2










Del D3







Bilag C Klorid- og kalsiumanalyser

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfare 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne A		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
 Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **A1**
 Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02								Kalsiuminnhold analysert med flame photometer			
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert 22.10.2014		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,01 M		Dato analysert 25.10.2014		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert 8.11.2014	
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsiuminnhold CaO (% betongvekt)	
0-2	2	0,8326	0,467	0,1989	3,0617			2,9555	1,391	0,198641447	2,9555	18,39	
2-4	2	1,1222	0,299	0,0945	2,5598	7,7881	0,1079	2,7014	0,757	0,107987167	2,7014	10,58	
4-6	2	1,3674	0,211	0,0547	2,6724	5,062	0,0672						
6-8	2	1,0831	0,102	0,0334	2,9436	1,7768	0,0214						
8-10	2	1,2572	nep		3,0709	nep							
10-12	2	1,1743	nep		2,6956	nep							
12-14	2	1,213	nep		2,9059	nep							
14-16	2	1,2541	nep		2,9722	nep							
16-20	4	1,4611	nep		2,8877	nep							
20-24	4	1,6978	nep		3,2016	nep							
24-28	4	3,2356	nep										
28-34	6	3,9334	nep										
34-40	6	4,9073	nep										

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfare 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne A		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i **NORDTEST Project No. 1581-02**.
 Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **A2**
 Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02								Kalsiuminnhold analysert med flame photometer		
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert	Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert	Konsentrasjon av AgNO ₃ : M		Dato analysert	8.11.2014	
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsiuminnhold CaO (% betongvekt)
				24.10.2014			8.11.2014					
0-2 mm	2	2,1003			2,7973	2,472	0,3133				2,7973	20,22
2-4 mm	2	2,4313	1,207	0,1760	3,0453	1,417	0,1650				3,0453	9,02
4-6 mm	2	2,535	0,819	0,1145	3,2932	0,987	0,1063				3,2932	7,34
6-8 mm	2	2,348	0,599	0,0904	2,9502	0,554	0,0666				2,9502	8,69
8-10 mm	2	2,5601	0,195	0,0270								
10-12 mm	2	2,7926	nep									
12-14 mm	2	3,1392	nep									
14-16 mm	2	2,8417	nep									
16-20 mm	4	3,6546	nep									
20-24 mm	4	3,644	nep									
24-28 mm	4	3,9857	nep									
28-34 mm	6	3,9657	nep									
34-40 mm	6	3,8442	nep									

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 08.11.2014
Oppdrag nr.: 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Klorid og kalsiumanalyser



Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**

Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo

Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:

Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185

Prøve: Kjerne A

Prøvetaking: Ikke publisert

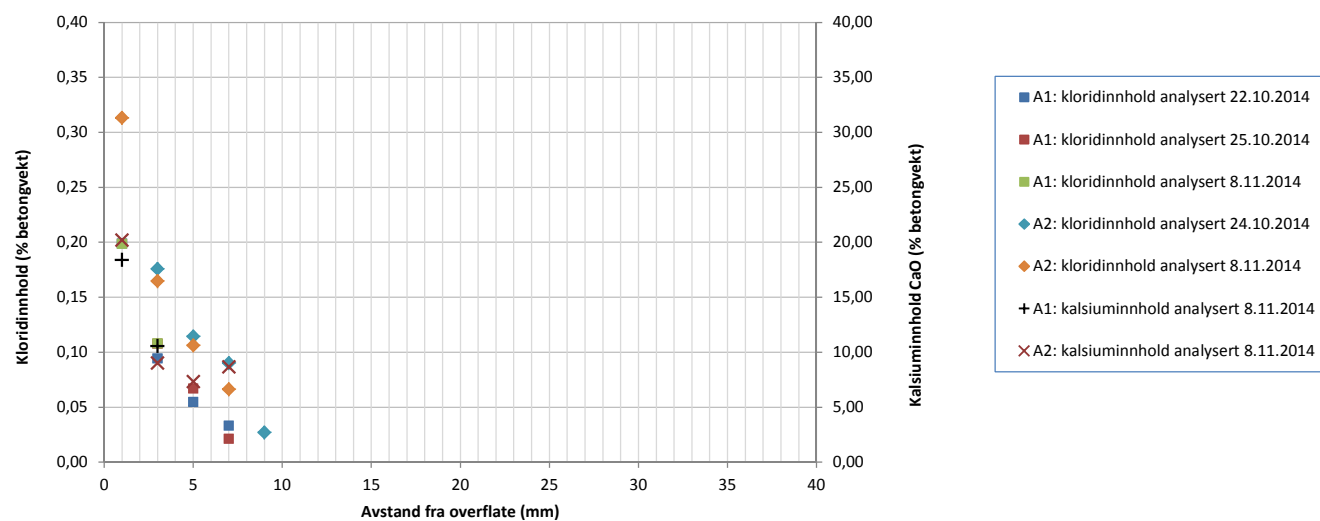
Prøvetaking dato: Ikke publisert

Prøvetakingsmetode: Ikke publisert

Prøve mottatt: 4.9.2014

Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.



Kommentar

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne B		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **B1**
Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02									Kalsiuminnhold analysert med flame photometer	
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,01 M		Dato analysert 28.10.2014	Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert 8.11.2014	Konsentrasjon av AgNO ₃ : M		Dato analysert	8.11.2014	
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betong-vekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betong-vekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betong-vekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsium innhold CaO (% betong-vekt)
0-2	2	2,749	27,7449	0,3578	2,6981	2,423	0,3461				2,6981	18,28
2-4	2	2,8563	20,7858	0,2580	2,9536	1,907	0,2488				2,9536	10,42
4-6	2	3,1626	15,6302	0,1752	2,7925	1,268	0,1750				2,7925	7,43
6-8	2	3,4201			3,0455	1,144	0,1448				3,0455	6,45
8-10	2	2,8947	10,4371	0,1278	2,8373	0,919	0,1248				2,8373	6,92
10-12	2	3,714	11,1474	0,1064	2,8857	0,801	0,1070				2,8857	7,45
12-14	2	3,3802	7,8637	0,0825	2,8229	0,621	0,0848				2,8229	7,61
14-16	2	3,2049	5,3693	0,0594								
16-20	4	3,6615	3,2334	0,0313								
20-24	4	3,5178	1,1653	0,0117								
24-28	4	4,8939	nep									
28-34	6	4,5121	nep									
34-40	6	4,3704	nep									

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne B		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **B3**
Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02									Kalsiuminnhold analysert med flame photometer	
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,01 M			Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M			Konsentrasjon av AgNO ₃ : M			Dato analysert	8.11.2014
		Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert	Dato analysert
		27.10.2014	27.10.2014	27.10.2014	8.11.2014	8.11.2014	8.11.2014	8.11.2014	8.11.2014	8.11.2014	8.11.2014	8.11.2014
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsiuminnhold CaO (% betongvekt)
0-2 mm	2	3,2432	33,4268	0,3654	3,0954	2,837	0,3249				3,0954	17,50
2-4 mm	2	3,1502	18,19	0,2047	2,7894	1,5	0,1906				3,7894	7,33
4-6 mm	2	2,6945	10,541	0,1387	3,1533	1,129	0,1269				3,1533	8,30
6-8 mm	2	2,7137	9,4722	0,1237	2,8900	0,928	0,1138				2,8900	8,05
8-10 mm	2	3,014	9,3086	0,1095	3,1580	0,947	0,1063				3,1580	7,88
10-12 mm	2	3,3774	9,8547	0,1034	3,1951	0,854	0,0948				3,1951	7,99
12-14 mm	2	3,2507	7,7966	0,0850	3,2796	0,756	0,0817				3,2796	8,47
14-16 mm	2	2,7594	4,7772	0,0614								
16-20 mm	4	3,9871	3,4958	0,0311								
20-24 mm	4	3,1478	1,048	0,0118								
24-28 mm	4	4,6348	0,3901	0,0030								
28-34 mm	6	4,5323	nep									
34-40 mm	6	4,6865	nep									

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 08.11.2014
 Oppdrag nr.: 7 920 216-05
 Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Klorid og kalsiumanalyser

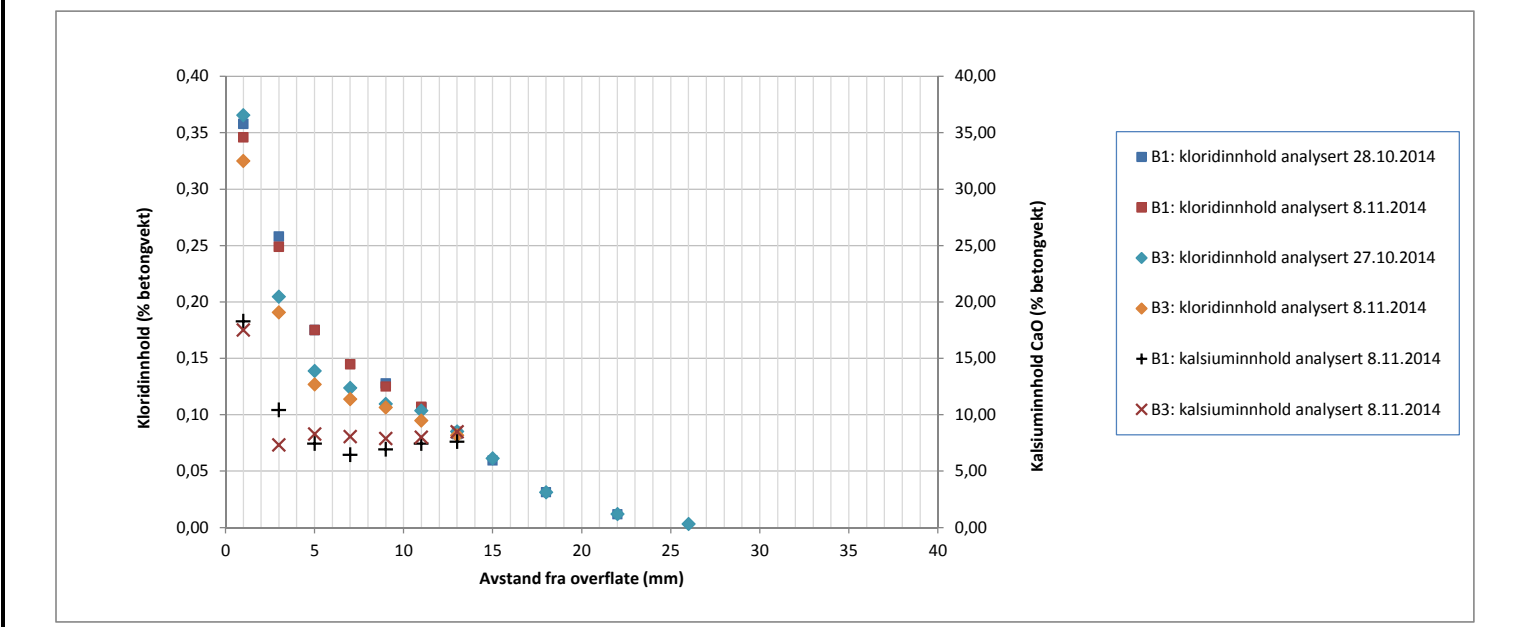


Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
 Adresse: Brynsengfare 6A, 0667 Oslo
 Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
 Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185
 Prøve: Kjerne B
 Prøvetaking: Ikke publisert
 Prøvetakingsmetode: Ikke publisert
 Andre ting av interesse:

Prøvetaking dato: Ikke publisert
 Prøve mottatt: 4.9.2014

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
 Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.



Kommentar _____

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		


Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne C		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **C1**
Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02									Kalsiuminnhold analysert med flame photometer	
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,01 M		Dato analysert 25.10.2014	Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert 9.11.2014	Konsentrasjon av AgNO ₃ : M		Dato analysert	8.11.2014	
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betong-vekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betong-vekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betong-vekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsium innhold CaO (% betong-vekt)
0-2	2	2,9651	18,5	0,2212	3,2282	1,628	0,1943				3,2282	17,77
2-4	2	2,6891	10,5	0,1384	3,0427	1,043	0,1321				3,0427	11,79
4-6	2	2,8098	3,8	0,0479								
6-8	2	2,9687	3,4819	0,0416								
8-10	2	2,6714	2,6253	0,0348								
10-12	2	2,8254	2,0567	0,0258								
12-14	2	2,7159	1,6462	0,0215								
14-16	2		nep									
16-20	4	3,2974	nep									
20-24	4	3,1296	nep									
24-28	4	3,5472	nep									
28-34	6	3,6748	nep									
34-40	6	3,6682	nep									

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne C		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **C3**
Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

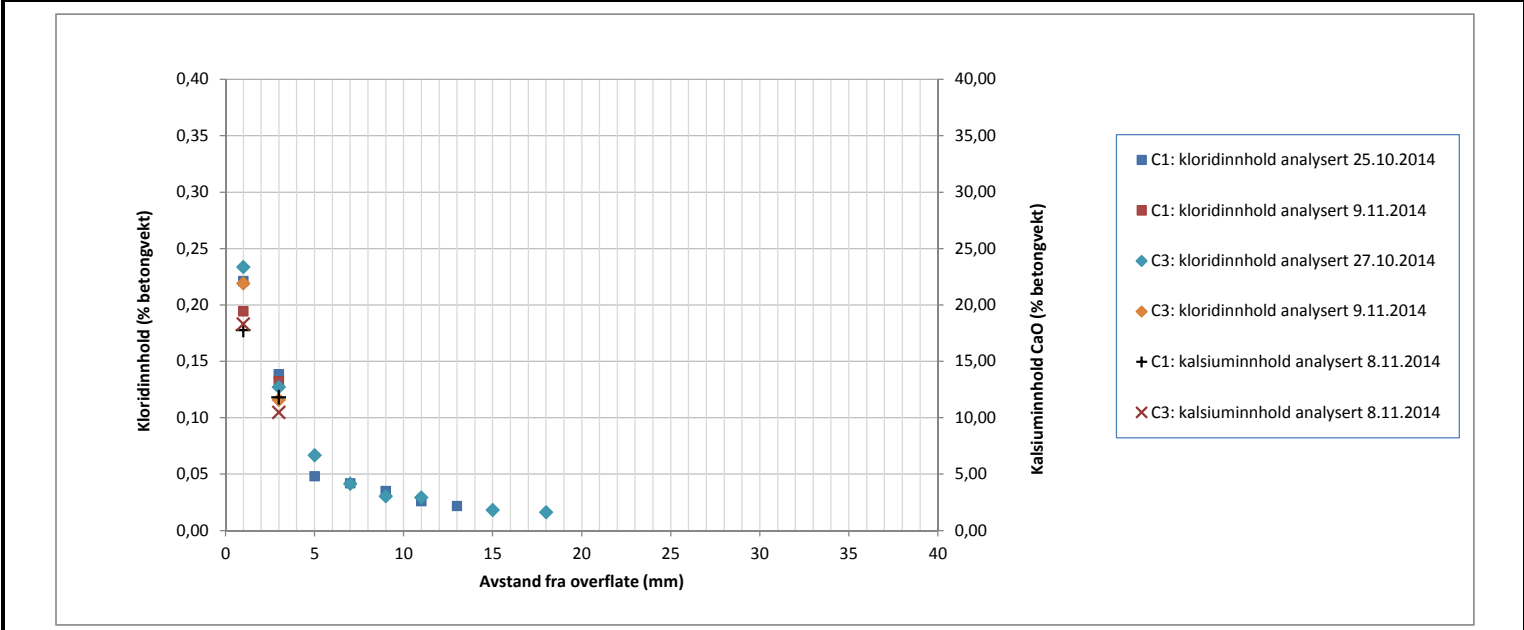
Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02									Kalsiuminnhold analysert med flame photometer	
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,01 M		Dato analysert 27.10.2014	Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert 9.11.2014	Konsentrasjon av AgNO ₃ : M		Dato analysert	8.11.2014	
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsiuminnhold CaO (% betongvekt)
0-2 mm	2	2,862	18,8483	0,2335	3,3080	2,043	0,2190				3,3080	18,31
2-4 mm	2	2,7699	9,9427	0,1273	3,1691	1,036	0,1159				3,1691	10,47
4-6 mm	2	2,9377	5,5272	0,0667								
6-8 mm	2	3,0106	3,5256	0,0415								
8-10 mm	2	2,8633	2,4605	0,0305								
10-12 mm	2	3,1436	2,5816	0,0291								
12-14 mm	2	3,0824	nep									
14-16 mm	2	2,9791	1,5153	0,0180								
16-20 mm	4	3,1155	1,41027	0,0160								
20-24 mm	4	3,4029	nep									
24-28 mm	4	4,6153	nep									
28-34 mm	6	4,5389	nep									
34-40 mm	6	5,30448	nep									

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne C		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
 Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.



Kommentar _____

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne D		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **D2**
Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02								Kalsiuminnhold analysert med flame photometer			
		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,01 M		Dato analysert 28.10.2014		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0,1 M		Dato analysert 9.11.2014		Konsentrasjon av AgNO ₃ : 0 M		Dato analysert 0.1.1900	
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Kloridinnhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsiuminnhold CaO (% betongvekt)	
0-2	2	2,2884	8,1023	0,1255	2,9858	0,984	0,1270				2,9858	22,08	
2-4	2	2,7777	8,4747	0,1082	3,1239	0,9	0,1110				3,1239	11,41	
4-6	2	2,8527	5,2807	0,0656									
6-8	2	2,8144	4,0292	0,0508									
8-10	2	2,7954	3,2566	0,0413									
10-12	2	3,105	3,0229	0,0345									
12-14	2	2,7792	2,5918	0,0331									
14-16	2	3,0191	2,3887	0,0281									
16-20	4	2,9564	2,1348	0,0256									
20-24	4	3,0901	2,4748	0,0284									
24-28	4	5,1272	nep										
28-34	6	5,2645	nep										
34-40	6	5,1044	nep										

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato:	08.11.2014	Prøvningsrapport Klorid og kalsiumanalyser	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GG		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerne D		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analysering av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.

Kjerne merket: **D3**
Volum af tilsatt HNO₃: 3 ml

Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Kloridinnhold ifølge NORDTEST Project No. 1581-02									Kalsiuminnhold analysert med flame photometer		
		Konsentrasjon av AgNO ₃ :		Dato analysert	Konsentrasjon av AgNO ₃ :		Dato analysert	Konsentrasjon av AgNO ₃ :		Dato analysert			
		0,01 M		27.10.2014	0,1 M		9.11.2014	M					8.11.2014
		Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (% betongvekt)	Vekt av analysert prøve (g)	Kalsiuminnhold CaO (% betongvekt)	
0-2 mm	2	2,6277	15,382	0,2075	3,0567	1,65	0,1914					3,0567	18,21
2-4 mm	2	2,7024	10,6864	0,1402	3,1004	1,069	0,1222					3,1004	9,45
4-6 mm	2	3,2971	8,793	0,0945	3,1694	0,793	0,0887					3,1694	8,01
6-8 mm	2	3,1782	6,7629	0,0754	3,2753	0,642	0,0695					3,2753	8,12
8-10 mm	2	2,9578	4,699	0,0563									
10-12 mm	2	3,1764	3,775	0,0421									
12-14 mm	2	3,0379	2,7036	0,0316									
14-16 mm	2	2,9602	2,3085	0,0276									
16-20 mm	4	3,0616	1,6091	0,0186									
20-24 mm	4	3,3242	nep										
24-28 mm	4	5,1023	nep										
28-34 mm	6	5,0021	nep										
34-40 mm	6	5,0529	nep										

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 08.11.2014
 Oppdrag nr.: 7 920 216-05
 Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Klorid og kalsiumanalyser

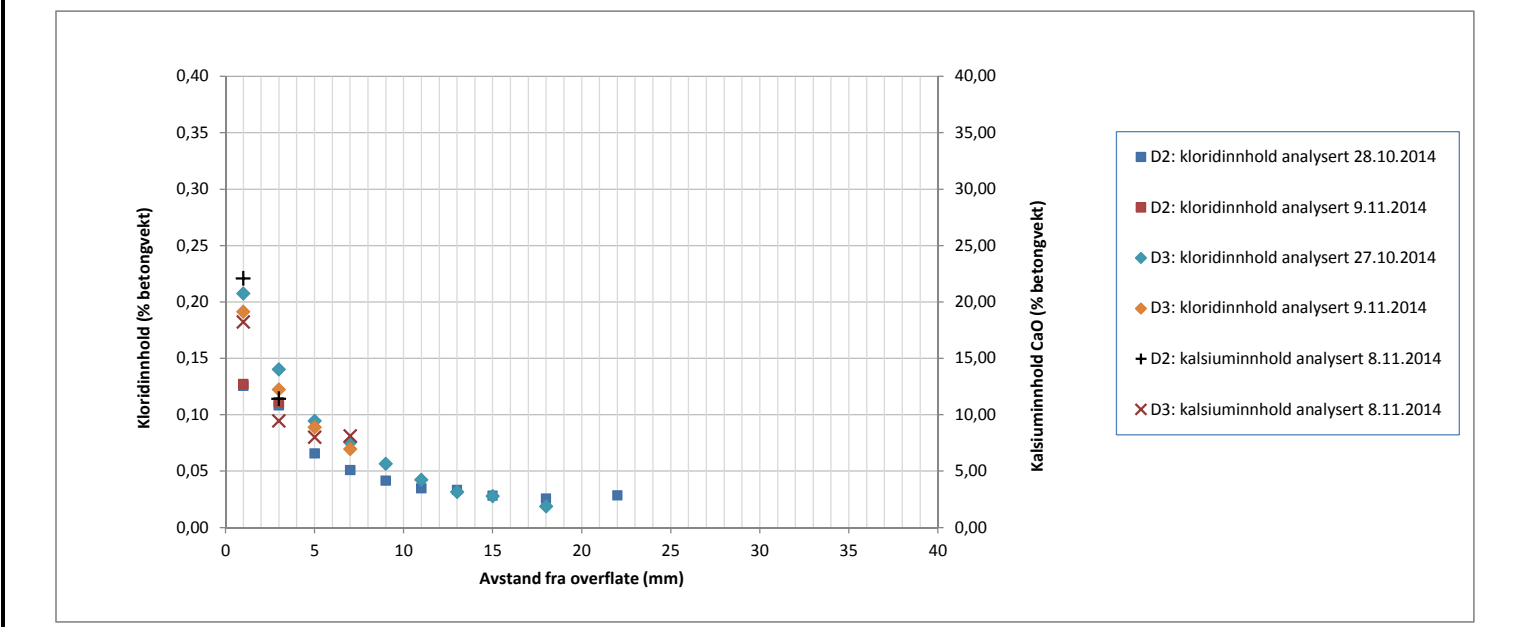


Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
 Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
 Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
 Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185
 Prøve: Kjerne D
 Prøvetaking: Ikke publisert
 Prøvetakingsmetode: Ikke publisert
 Andre ting av interesse:

Prøvetaking dato: Ikke publisert
 Prøve mottatt: 4.9.2014

Prøvningsmetode: Analysering av kloridinnhold ved bruk av metode 1 i NORDTEST Project No. 1581-02.
 Se beskrivelse av prøvningsmetode brukt ved analyseing av kalsiuminnhold i bilag H i rapporten.



Kommentar _____

Bilag D DS profil

Dato: 21.10.2014
Oppdrag nr.: 7 920 216
Utførelse: GEJ

Prøvningsrapport
DS - fukt



Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
Oppdrags-representant: Per Hagelia
Informasjon om prøveomfang:
Prosjekt: **Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185**
Prøve: Kjerner A, B, C og D
Prøvetaking: Ikke publisert Prøvetaking dato: Ikke publisert
Prøvetaking metode: Ikke publisert Prøve mottatt: 4.9.2014
Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: **Se beskrivelse i tilbud: 2010174185 Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU**

Prøveuttak	Kjerne merket	Sjikt	Volum av prøver	Tørr densitet	Fast stoff densitet	Sug porøsitet	Makro porøsitet	Total porøsitet	DS	In-situ fuktinnhold
			V [10 ⁻⁶ m ³]	(ρ_1) [kg/m ³]	(ρ_{fs}) [kg/m ³]	(p_s)	(p_m)	(p_1)		
Kjerne A	A3	1	93,83	2390	2712	0,103	0,015	0,119	68,94	2,98
	A3	2	133,79	2345	2729	0,121	0,020	0,141	76,11	3,93
	A3	3	95,59	2300	2720	0,132	0,022	0,155	78,59	4,53
	A3	4	126,88	2289	2709	0,134	0,021	0,155	81,70	4,78
Gjennomsnitt			112,52	2331	2717	0,123	0,020	0,142	76,33	4,05
Kjerne B	B2	1	104,15	2377	2722	0,108	0,019	0,127	70,25	3,19
	B2	2	123,18	2333	2718	0,124	0,018	0,142	76,25	4,04
	B2	3	114,47	2317	2714	0,129	0,017	0,146	78,84	4,40
Gjennomsnitt			113,93	2343	2718	0,120	0,018	0,138	75,11	3,88
Kjerne C	C3	1	105,11	2282	2708	0,141	0,016	0,157	82,97	5,12
	C3	2	113,74	2293	2719	0,139	0,018	0,157	83,75	5,08
	C3	3	116,86	2299	2708	0,133	0,018	0,151	82,71	4,77
	C3	4	114,94	2273	2710	0,142	0,020	0,161	82,42	5,13
Gjennomsnitt			112,66	2287	2711	0,139	0,018	0,157	82,96	5,03
Kjerne D	D1	1	95,02	2386	2702	0,105	0,012	0,117	80,54	3,54
	D1	2	134,04	2406	2723	0,104	0,012	0,117	78,63	3,41
	D1	3	70,67	2401	2746	0,114	0,012	0,125	73,72	3,49
	D1	4	148,33	2344	2724	0,126	0,014	0,139	84,93	4,55
Gjennomsnitt			112,02	2384	2724	0,112	0,012	0,125	79,46	3,75

Kommentar: _____

Bilag E Kloriddiffusjon

Dato: 03.11.2014
Oppdrag nr. 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Neddykket kloriddiffusion



Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
 Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
 Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
 Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183
 Prøve: Kjerne A
 Prøvetaking: Ikke publisert Prøvetaking dato: Ikke publisert
 Prøvetakingsmetode: Ikke publisert Prøve mottatt: 4.9.2014
 Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**

Måling af kloridkonsentrasjonen i NaCl-løsning	Dato analysert	Volum av løsning	Volum av tilsatt AgNO ₃ (0,1 M)	Konsentrasjon NaCl (g/L)	Temperatur under forsøket (°C)	Gjennomsnitt	Standardavvik
	26.9.2014	1 ml	28,598 ml	167,13			
	22.10.2014	0,1 ml	2,806 ml	163,98			
	31.10.2014	0,1 ml	2,79 ml	163,05			
						22,7	0,49

Kjerne merket:		A1			A4					
Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert
		3 ml	0,1 M	3.11.2014	3 ml	0,1 M	3.11.2014	ml	M	
		Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)
0-2	2	3,1957	5,963	0,6615	3,0248	5,710	0,6693			
2-4	2	2,9017	2,731	0,3337	3,1005	2,882	0,3295			
4-6	2	2,9716	1,546	0,1844	3,2929	1,676	0,1804			
6-8	2	3,5566	0,845	0,0842	3,2513	0,900	0,0981			
8-10	2	3,2148	0,435	0,0480	3,2859	0,508	0,0548			
10-12	2	3,2555	0,207	0,0225	3,0199	0,287	0,0337			
12-16	2	3,3162	nep		3,0029	0,121	0,0143			
16-20	2	2,9554	nep		3,2411	nep				
20-25	4	3,2021	nep		3,1609	nep				
25-30	4	3,301	nep		2,5171	nep				
Oppr. kloridinnhold C _i		5,6681	nep		5,2423	nep				

Beregnete verdier	Kjerne A1	Kjerne A4
Overflatekonsentrasjon i masseprosent C _s	0,726785	0,701642
Kloriddiffusjonskoeffisienten D (m ² /s)	3,53E-12	4,21E-12

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 03.11.2014
Oppdrag nr. 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Neddykket kloriddiffusion

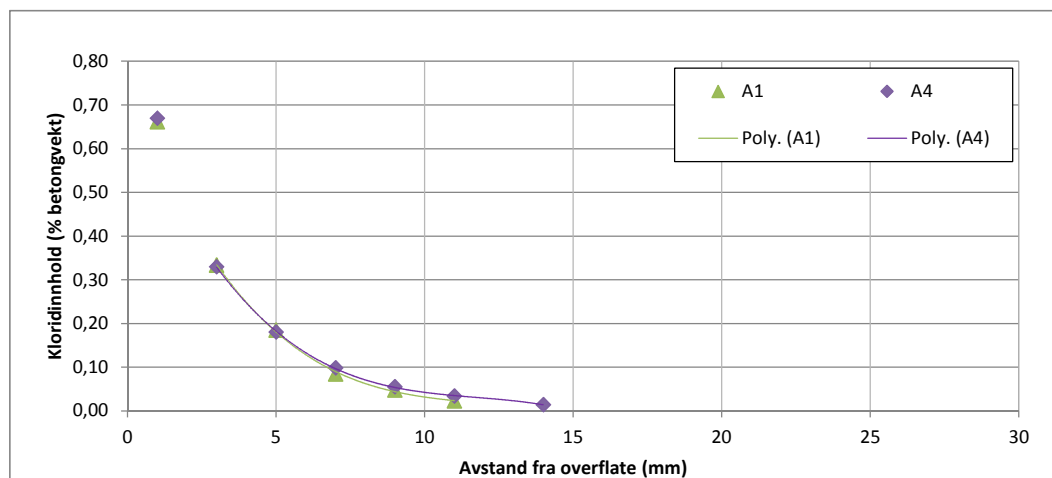
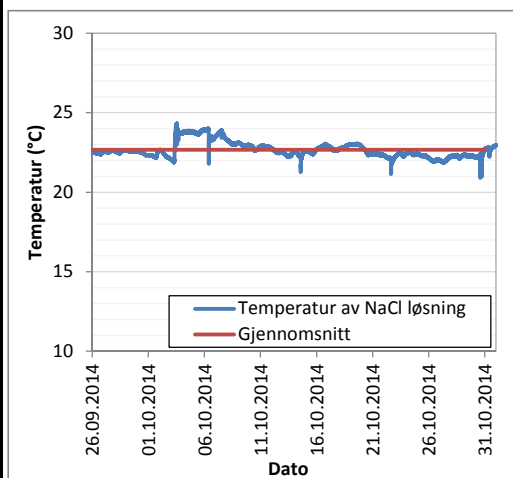


Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183
Prøve: Kjerne A
Prøvetaking: Ikke publisert
Prøvetakingsmetode: Ikke publisert
Andre ting av interesse:

Prøvetaking dato: Ikke publisert
Prøve mottatt: 4.9.2014

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**



Kommentar: _____

Dato: 03.11.2014
Oppdrag nr. 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Neddykket kloriddiffusion



Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
 Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
 Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
 Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183
 Prøve: Kjerne B
 Prøvetaking: Ikke publisert Prøvetaking dato: Ikke publisert
 Prøvetakingsmetode: Ikke publisert Prøve mottatt: 4.9.2014
 Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**

Måling af kloridkonsentrasjonen i NaCl-løsning	Dato analysert	Volum av løsning	Volum av tilsatt AgNO ₃ (0,1 M)	Konsentrasjon NaCl (g/L)	Temperatur under forsøket (°C)	Gjennomsnitt	Standardavvik
	26.9.2014	1 ml	28,598 ml	167,13			
	22.10.2014	0,1 ml	2,806 ml	163,98			
	31.10.2014	0,1 ml	2,79 ml	163,05			

Kjerne merket:		B1			B3			Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert
Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert			
		3 ml	0,1 M	3.11.2014	3 ml	0,1 M	3.11.2014	ml	M	
		Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)
0-2	2	2,9041	5,994	0,7317	3,0129	6,341	0,7461			
2-4	2	3,1155	3,54	0,4028	2,9226	3,948	0,4789			
4-6	2	3,1045	2,145	0,2450	3,4932	2,749	0,2790			
6-8	2	3,0443	1,257	0,1464	2,9881	1,290	0,1531			
8-10	2	3,0999	0,857	0,0980	3,1987	0,677	0,0750			
10-12	2	3,0112	0,466	0,0549	3,2193	0,295	0,0325			
12-16	2	3,436	0,154	0,0159	3,0965	0,111	0,0127			
16-20	2	3,5878	nep		3,3369	nep				
20-25	4	2,987	nep		3,6549	nep				
25-30	4	3,2158	nep		3,3527	nep				
Oppr. kloridinnhold C _i		5,1226	nep		5,4224	nep				

Beregnete verdier	Kjerne B1	Kjerne B3
Overflatekonsentrasjon i masseprosent C _s	0,7845	0,93146
Kloriddiffusjonskoeffisienten D (m ² /s)	5,01E-12	4,29E-12

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 03.11.2014
Oppdrag nr. 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Neddykket kloriddiffusion

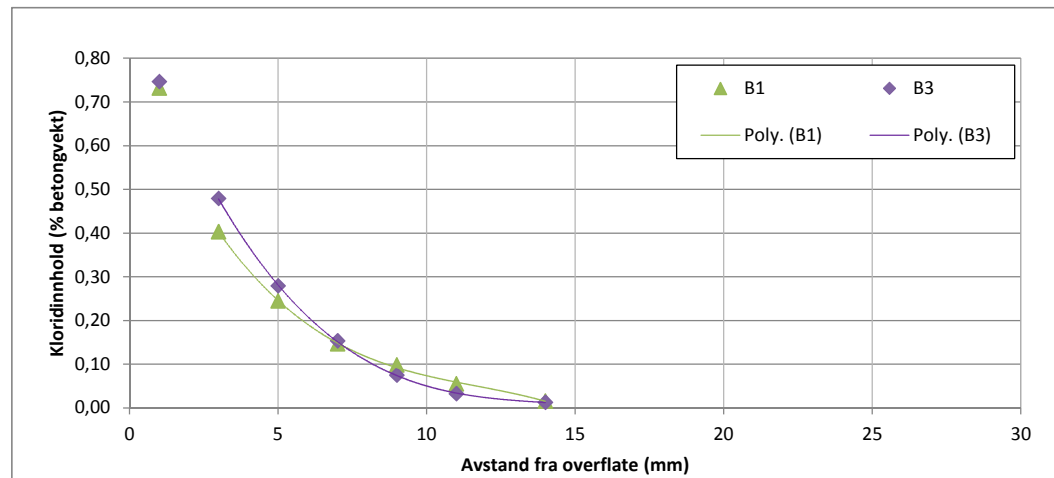
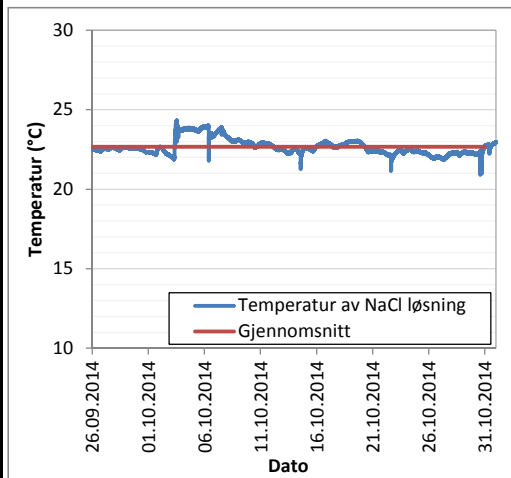


Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183
Prøve: Kjerne B
Prøvetaking: Ikke publisert
Prøvetakingsmetode: Ikke publisert
Andre ting av interesse:

Prøvetaking dato: Ikke publisert
Prøve mottatt: 4.9.2014

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**



Kommentar: _____

Dato: 03.11.2014	Prøvningsrapport Neddykket kloriddiffusion	 MANNVIT
Oppdrag nr. 7 920 216-05		
Utførelse: GG		

Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**

Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo

Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:

Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183

Prøve: Kjerne C

Prøvetaking: Ikke publisert Prøvetaking dato: Ikke publisert

Prøvetakingsmetode: Ikke publisert Prøve mottatt: 4.9.2014

Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**

Måling af kloridkonsentrasjonen i NaCl-løsning	Dato analysert	Volum av løsning	Volum av tilsatt AgNO ₃ (0,1 M)	Konsentrasjon NaCl (g/L)	Temperatur under forsøket (°C)	Gjennomsnitt	Standard-avvik
	26.9.2014	1 ml	28,598 ml	167,13			
	22.10.2014	0,1 ml	2,806 ml	163,98			
	31.10.2014	0,1 ml	2,79 ml	163,05			
						22,7	0,49

Kjerne merket:		C2			C1-1			C1-2		
Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert
				3 ml	0,1 M	4.11.2014	3 ml	0,1 M	4.11.2014	3 ml
		Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)
0-2	2	3,1579	6,69	0,7511	2,961	5,691	0,6814	3,1923	5,923	0,6578
2-4	2	3,353	4,529	0,4789	3,2461	3,967	0,4333	2,8277	3,062	0,3839
4-6	2	3,226	2,474	0,2719	3,137	2,258	0,2552	3,3082	1,970	0,2111
6-8	2	3,2231	1,242	0,1366	3,0056	1,316	0,1552	2,7858	0,941	0,1198
8-10	2	3,2906	0,763	0,0822	2,8815	0,694	0,0854	3,0690	0,659	0,0761
10-12	2	3,4913	0,577	0,0586	3,3124	0,485	0,0519	3,3568	0,427	0,0451
12-16	2	3,3286	0,333	0,0355	3,4058	0,299	0,0311	3,3953	0,144	0,0150
16-20	2	3,4056	0,141	0,0147	3,2998	0,138	0,0148	3,1877	0,450	0,0500
20-25	4	3,2784	nep		3,2233	nep		3,6354	0,224	0,0218
25-30	4	3,5446	nep		3,6182	nep		3,1618	0,168	0,0188
Oppr. kloridinnhold C ₁		5,3524	nep		5,4566	nep		5,1009	nep	

Beregnete verdier	Kjerne C2	Kjerne C1-1	Kjerne C1-2
Overflatekonsentrasjon i masseprosent C _s	0,965215	0,814089	0,818854
Kloriddiffusjonskoeffisienten D (m ² /s)	3,76E-12	4,42E-12	3,66E-12

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 03.11.2014
Oppdrag nr. 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Neddykket kloriddiffusion

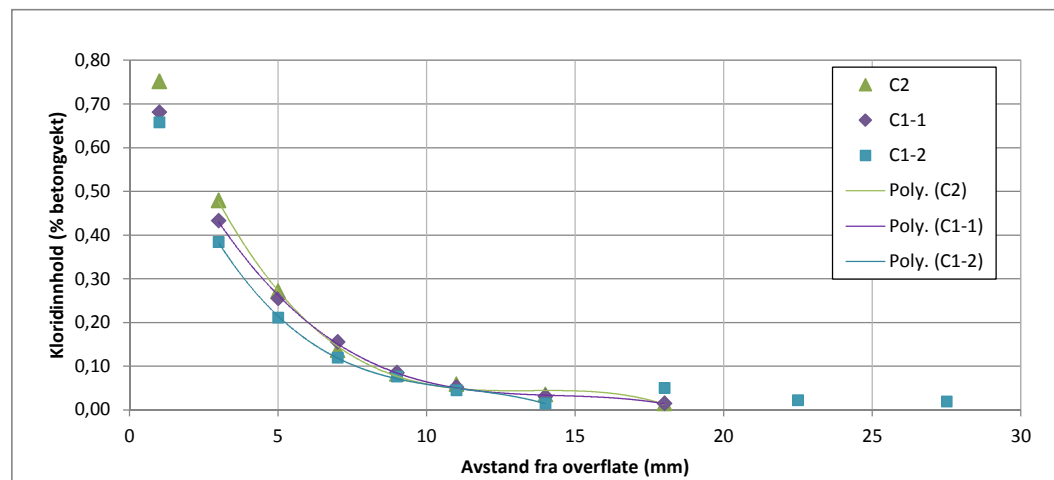
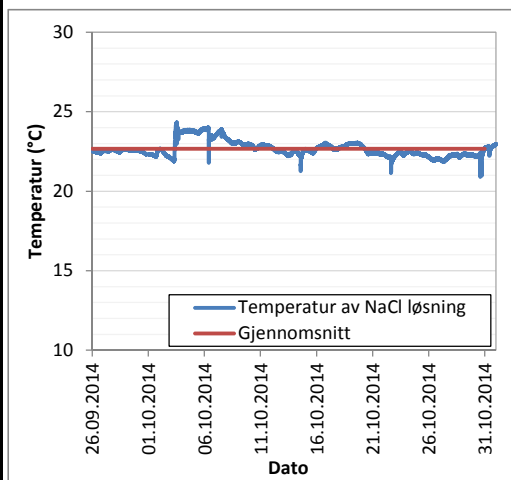


Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183
Prøve: Kjerne C
Prøvetaking: Ikke publisert
Prøvetakingsmetode: Ikke publisert
Andre ting av interesse:

Prøvetaking dato: Ikke publisert
Prøve mottatt: 4.9.2014

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**



Kommentar: Kjerner C2, C1-1 og C1-2 ble pakket i plast og bevart ved 5°C i tre dager før fresing.
Kjerne C1-2 har et hull på innsiden av koppen, som strekker seg opp til overflaten. Se bilder med rapport.

Dato: 03.11.2014	Prøvningsrapport Neddykket kloriddiffusion	 MANNVIT
Oppdrag nr. 7 920 216-05		
Utførelse: GG		

Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**

Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo

Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:

Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183

Prøve: Kjerne D

Prøvetaking: Ikke publisert Prøvetaking dato: Ikke publisert

Prøvetakingsmetode: Ikke publisert Prøve mottatt: 4.9.2014

Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**

Måling af kloridkonsentrasjonen i NaCl-løsning	Dato analysert	Volum av løsning	Volum av tilsatt AgNO ₃ (0,1 M)	Konsentrasjon NaCl (g/L)	Temperatur under forsøket (°C)	Gjennomsnitt	Standard-avvik
		26.9.2014	1 ml	28,598 ml			
	22.10.2014	0,1 ml	2,806 ml	163,98		22,7	0,49
	31.10.2014	0,1 ml	2,79 ml	163,05			

Kjerne merket:		D1			D2			D3		
Avstand fra overflate (mm)	Tykkelse på sjikt (mm)	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert	Volum af tilsatt HNO ₃	Konsentrasjon av AgNO ₃	Dato analysert
				3 ml	0,1 M	4.11.2014	3 ml	0,1 M	5.11.2014	3 ml
		Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)	Vekt av analyseret prøve (g)	Volum av tilsatt AgNO ₃ (ml)	Klorid-innhold (%)
0-2	2	3,1293	6,526	0,7394	2,9598	4,977	0,5962	2,9494	5,650	0,6792
2-4	2	3,0986	3,892	0,4453	3,1287	3,231	0,3661	3,1752	3,715	0,4148
4-6	2	3,411	2,634	0,2738	2,8597	1,800	0,2232	3,1335	2,133	0,2413
6-8	2	3,2947	1,308	0,1407	2,9227	1,171	0,1420	3,2195	1,379	0,1519
8-10	2	3,4107	0,784	0,0815	3,1466	0,738	0,0832	3,3398	0,727	0,0772
10-12	2	3,3153	0,397	0,0425	3,3112	0,401	0,0429	3,2827	0,283	0,0306
12-16	2	3,4092	0,201	0,0209	3,2676	0,142	0,0154	3,2042	0,133	0,0147
16-20	2	3,2375	0,118	0,0129	3,6126	nep		3,2472	nep	
20-25	4	3,5091	nep		3,4724	nep		3,3024	nep	
25-30	4	3,6716	nep		3,5809	nep		3,1771	nep	
Oppr. kloridinnhold C _i		5,2014	nep		5,2879	nep		5,5987	nep	

Beregnete verdier	Kjerne D1	Kjerne D2	Kjerne D3
Overflatekonsentrasjon i masseprosent C _s	0,848456	0,674697	0,767425
Kloriddiffusjonskoeffisienten D (m ² /s)	4,43E-12	4,99E-12	4,75E-12

* nep: ingen endepunkt i titrering

Dato: 03.11.2014
Oppdrag nr. 7 920 216-05
Utførelse: GG

Prøvningsrapport
Neddykket kloriddiffusion

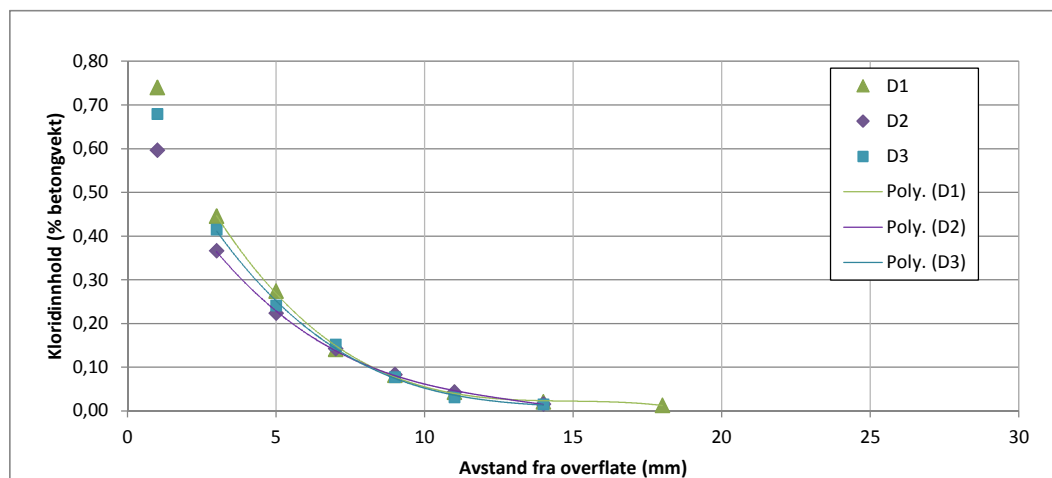
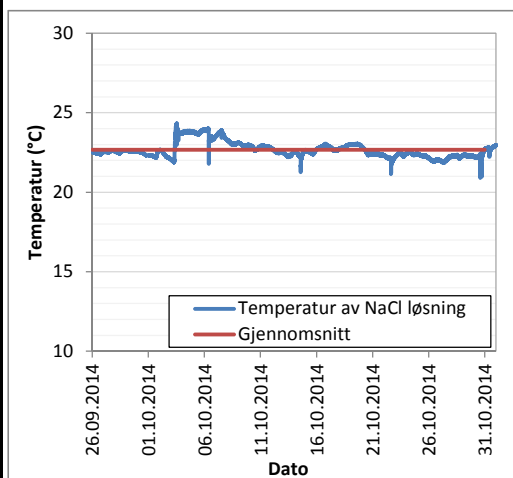


Oppdragsgiver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
Adresse: Brynsengfaret 6A, 0667 Oslo
Oppdrags-representant: Per Hagelia

Informasjon om prøveomfang:
Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174183
Prøve: Kjerne D
Prøvetaking: Ikke publisert
Prøvetakingsmetode: Ikke publisert
Andre ting av interesse:

Prøvetaking dato: Ikke publisert
Prøve mottatt: 4.9.2014

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test**



Kommentar: Kjerner D1, D2 og D3 ble pakket i plast og bevart ved 5°C i fire dager før fresing.

Grop i del C1-2



Bilag F Resistivitet

Dato: 02.10.2014	Prøvningsrapport Resistivitet i betong	 MANNVIT
Oppdrag nr.: 7 920 216-05		
Utførelse: GEJ / SÅ		

Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfare 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags-representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerner A, B, C og D		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetakingsmetode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode:	Se metode i bilag H i rapporten
------------------	--

Resistivitet målt med Giatec RCON
Prøvene er 50 mm tykk

Kjerne	Del	Prøve	Resistivitet (kΩ)				
			Tørr overflate		Våt overflate (neddykket i vann før måling)	Gjennomvått	
			Ikke tørket	Tørket i romtemperatur i et par dager		Neddykket i vann i 1 time	Neddykket i vann i 16 timer
A1	1	Kloridinntrengning	4,93				
A4	1	Kloridinntrengning	4,11				
B1	1	Kloridinntrengning	4,96				
B3	1	Kloridinntrengning	5,46				
C1	1	Kloridinntrengning	4,78				
C1	2	Kloridinntrengning	5,38				
C2	1	Kloridinntrengning	5,81				
D1	1	Kloridinntrengning	5,54				
D2	1	Kloridinntrengning	5,61				
D3	1	Kloridinntrengning	5,63				
A1	2	Kapillær abs. og porøs.		7,81	7,13	6,14	5,16
A2	1	Kapillær abs. og porøs.		6,91	6,36	5,63	4,58
A4	2	Kapillær abs. og porøs.		7,08	6,45	6,00	4,29
B1	2	Kapillær abs. og porøs.		8,00	7,18	5,54	3,59
C1	3	Kapillær abs. og porøs.		9,18	7,94	6,92	5,86
C3	1	Kapillær abs. og porøs.		7,52	6,52	5,68	4,82
D2	2	Kapillær abs. og porøs.		7,97	7,20	6,17	5,05
D3	2	Kapillær abs. og porøs.		7,31	6,55	5,61	4,69

Kommentar: Prøvestykke C1-1 er 49 mm. B1-2 har grop etter armeringsjern på siden
--

Bilag G Kapillær absorpsjon

Dato:	21.10.2014	Prøvningsrapport Kapillær sugeshastighet og porøsitet i herdet betong	 MANNVIT
Oppdrag nr.:	7 920 216-05		
Utførelse:	GEJ		

Oppdrags giver:	Statens vegvesen Vegdirektoratet		
Adresse:	Brynsengfare 6A, 0667 Oslo		
Oppdrags representant:	Per Hagelia		
<i>Informasjon om prøveomfang:</i>			
Prosjekt:	Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185		
Prøve:	Kjerner A og B		
Prøvetaking:	Ikke publisert	Prøvetaking dato:	Ikke publisert
Prøvetaking metode:	Ikke publisert	Prøve mottatt:	4.9.2014
Andre ting av interesse:			

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, full PF metode**

Prøveuttak				Kjerne A							Kjerne B			
Kjerne - sjikt nr				A1-1	A1-2	A2-1	A2-2	A4-1	A4-2	Gjennom- snitt	B1-1	B3-1	B3-2	Gjennom- snitt
Vekt etter 7 døgn i tørkeskap	i luft	(g ₁)	[g]	198,56	204,23	199,01	202,43	201,23	207,53	202,17	200,16	200,11	199,22	199,83
Etter 3 døgn neddykket i vand	i luft	(g ₂)	[g]	209,38	215,49	209,22	214,20	211,71	218,26	213,04	209,53	209,79	209,43	209,58
	under vann	(g ₃)	[g]	122,93	126,37	123,04	125,33	124,70	128,62	125,17	124,31	124,27	123,62	124,07
Vekt i luft etter 1 døgn i vandfylt trykktank ved 50 atm.	i luft	(g ₄)	[g]	211,52	217,65	211,07	216,01	213,66	220,35	215,04	211,37	211,34	211,32	211,34
Volum av prøve	V		[m ³]	8,65E-05	8,91E-05	8,62E-05	8,89E-05	8,70E-05	8,96E-05	8,79E-05	8,52E-05	8,55E-05	8,58E-05	8,55E-05
Tørr densitet	(ρ _t)		[kg/m ³]	2297	2292	2309	2278	2313	2315	2301	2349	2340	2322	2337
Fast stoff densitet	(ρ _s)		[kg/m ³]	2702	2698	2685	2689	2698	2702	2696	2704	2694	2703	2700
Sug porøsitet	(p _s)			0,125	0,126	0,118	0,132	0,120	0,120	0,124	0,110	0,113	0,119	0,114
Makro porøsitet	(p _m)			0,0248	0,0242	0,0215	0,0204	0,0224	0,0233	0,0228	0,0216	0,0181	0,0220	0,0206
Total porøsitet	(p _t)			0,150	0,151	0,140	0,153	0,143	0,143	0,147	0,132	0,131	0,141	0,135
Topp absorpsjons tidspunkt	t _{kap}		[√s]	163,20	159,38	163,92	168,63	156,50	157,34	161,48	149,51	145,76	170,43	154,82
Topp absorpsjonsverdi	Q _{kap}		[kg/m ²]	2,43	2,52	2,27	2,63	2,32	2,37	2,42	2,07	2,14	2,26	2,16
Motstandstallet	m		[s/m ²]	67,94	60,45	69,24	67,67	61,23	58,91	64,12	58,78	54,74	74,09	61,97
Kapillaritetstallet	k		[kg/m ² √s]	0,0149	0,0158	0,0138	0,0156	0,0149	0,0151	0,0150	0,0139	0,0147	0,0132	0,0139
Masseforhold (effectivt)	v/c			0,46	0,46	0,43	0,49	0,44	0,43	0,45	0,40	0,41	0,43	0,41

Dato: 21.10.2014
Oppdrag nr.: 7 920 216-05
Utførelse: GEJ

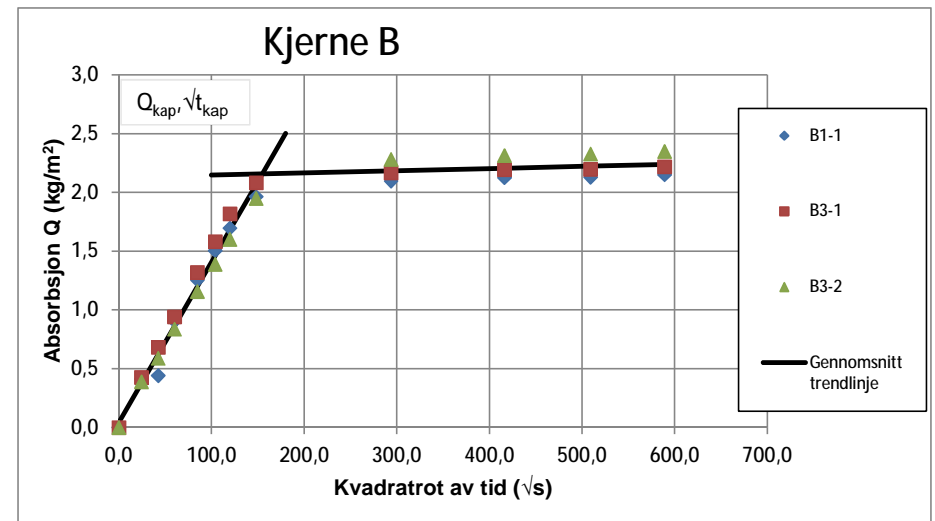
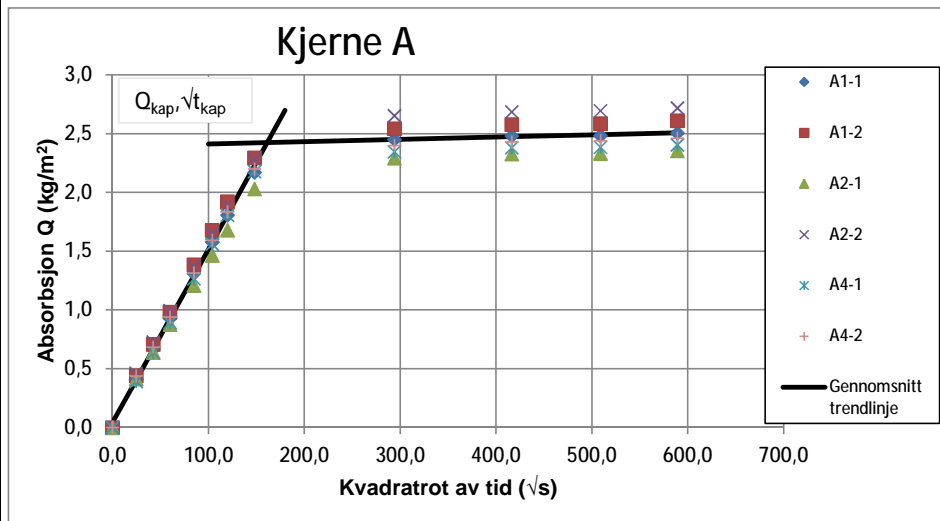
Prøvningsrapport

Kapillær sugehastighet og porøsitet i herdet betong



Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185
Prøve: Kjerner A og B

Prøvningsmetode: Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kapillær sugehastighet og porøsitet, full PF metode



Kommentar: Sjikt B1-2 har grop etter armeringsjern på siden og tas ikke med i beregninger.

Dato: 21.10.2014
 Oppdrag nr.: 7 920 216-05
 Utførelse: GEJ

Prøvningsrapport

Kapillær sugeshastighet og porøsitet i herdet betong



Oppdrags giver: **Statens vegvesen Vegdirektoratet**
 Adresse: Brynsengfarete 6A, 0667 Oslo
 Oppdrags representant: Per Hagelia
 Informasjon om prøveomfang:
 Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185
 Prøve: Kjerner C og D
 Prøvetaking: Ikke publisert Prøvetaking dato: Ikke publisert
 Prøvetaking metode: Ikke publisert Prøve mottatt: 4.9.2014
 Andre ting av interesse:

Prøvningsmetode: **Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, full PF metode**

Prøveuttak				Kjerne C						Kjerne D				
Kjerne - sjikt nr				C1-1	C1-2	C2-1	C3-1	C3-2	Gjennom- snitt	D2-1	D2-2	D3-1	D3-2	Gjennom- snitt
Vekt etter 7 døgn i tørkeskap	i luft	(g ₁)	[g]	204,24	213,43	201,71	198,73	212,44	206,11	205,54	217,27	200,38	206,14	207,33
Etter 3 døgn neddykket i vand	i luft	(g ₂)	[g]	213,86	223,55	211,98	209,17	222,10	216,13	214,37	226,62	210,74	216,27	217,00
	under vann	(g ₃)	[g]	127,18	132,57	125,49	123,67	131,81	128,14	128,14	135,40	123,87	127,95	128,84
Vekt i luft etter 1 døgn i vandfylt trykktank ved 50 atm.	i luft	(g ₄)	[g]	215,54	225,35	213,92	210,45	223,44	217,74	215,70	228,06	212,68	218,04	218,62
Volum av prøve	V		[m ³]	8,67E-05	9,10E-05	8,65E-05	8,55E-05	9,03E-05	8,80E-05	8,62E-05	9,12E-05	8,69E-05	8,83E-05	8,82E-05
Tørr densitet	(ρ ₁)		[kg/m ³]	2356	2346	2332	2324	2353	2342	2384	2382	2307	2334	2352
Fast stoff densitet	(ρ _s)		[kg/m ³]	2709	2700	2716	2694	2679	2699	2702	2701	2687	2697	2697
Sug porøsitet	(ρ _s)			0,111	0,111	0,119	0,122	0,107	0,114	0,102	0,102	0,119	0,115	0,110
Makro porøsitet	(ρ _m)			0,0194	0,0198	0,0224	0,0150	0,0148	0,0183	0,0154	0,0158	0,0223	0,0200	0,0184
Total porøsitet	(ρ _t)			0,130	0,131	0,141	0,137	0,122	0,132	0,118	0,118	0,142	0,135	0,128
Topp absorpsjons tidspunkt	t _{kap}		[√s]	172,80	167,93	163,78	165,63	171,70	168,21	148,70	156,03	153,11	159,35	154,38
Topp absorpsjonsverdi	Q _{kap}		[kg/m ²]	2,12	2,24	2,27	2,32	2,15	2,22	1,95	2,09	2,31	2,27	2,16
Motstandstallet	m		[s/m ²]	75,40	69,11	65,73	72,14	68,80	70,04	55,83	54,68	58,60	59,84	57,27
Kapillaritetstallet	k		[kg/m ² √s]	0,0123	0,0134	0,0139	0,0140	0,0125	0,0132	0,0131	0,0134	0,0151	0,0143	0,0140
Masseforhold (effectivt)	v/c			0,40	0,40	0,43	0,44	0,38	0,41	0,37	0,37	0,43	0,41	0,39

Dato: 21.10.2014
Oppdrag nr.: 7 920 216-05
Utførelse: GEJ

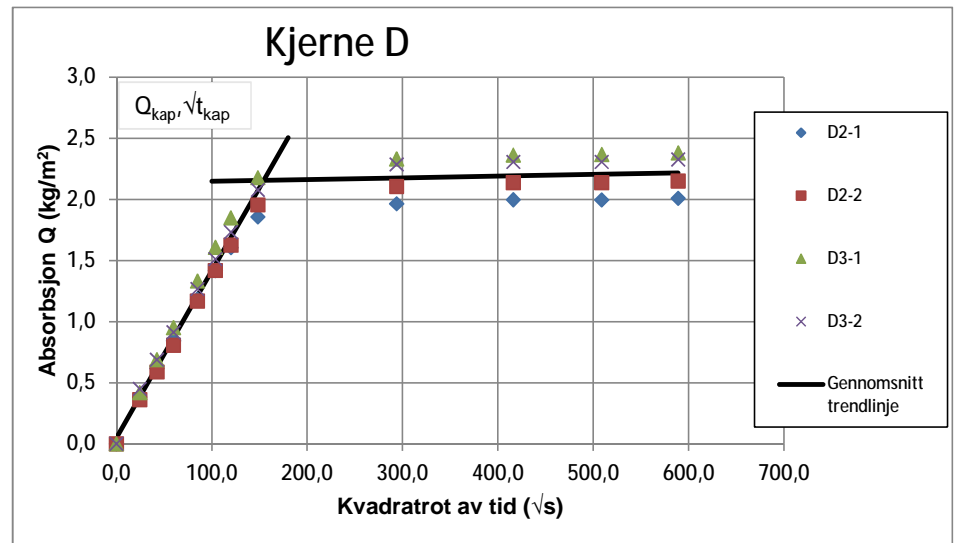
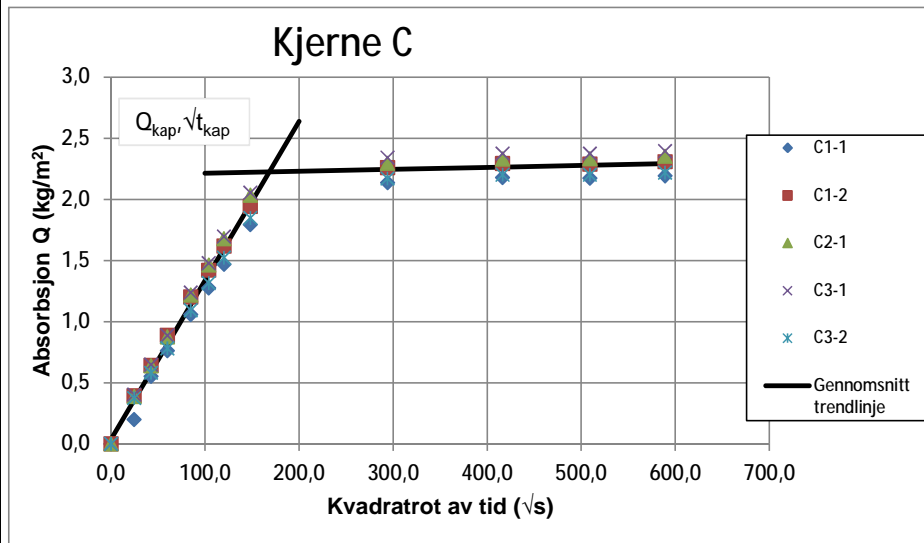
Prøvningsrapport

Kapillær sugeshastighet og porøsitet i herdet betong



Prosjekt: Laboratorietjenester innen betong, betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU, saksnummer: 2010174185
Prøve: Kjerner C og D

Prøvningsmetode: Statens vegvesen HB014 - 14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, full PF metode



Kommentar:

Bilag H Test metoder

Beskrivelse av prøvemethoder hvor de ikke var referert i tilbudsinnbydelsen

Determination of Acid Soluble Calcium Content in Concrete with Flame Photometer

General

This method is for determination of CaO content in concrete following a chloride determination.

Description

The concrete powder is digested in HNO_3 acid according to the procedure described by Tang Luping (Method No. 1).

Following the digestion of the sample, the total volume of the filtrate should be 250 ml. The filtrate is split in two, one 230 ml portion which is intended for the chloride determination and one 20 ml portions, which is intended for the CaO determination.

Determination of Calcium content

Prior to the determination, the filtrate is filtered again with 0,45 micron cellulose acetate syringe filter and then diluted to 40 ml.

A calibration curve is prepared using standard solutions containing known concentrations of the elements to be determined and if necessary, other materials to ensure that the standard and sample backgrounds match. The concentration range covered by the calibration curve will depend upon the expected concentration of the samples so that the sample readings fall somewhere in the middle of the calibration curve.

Once the calibration curve has been plotted, the readings for the sample solutions are compared with the curve to allow the sample concentrations to be established.

The required calcium concentration of the standards depends on the calcium concentration of the concrete, but a range of 100 to 800 ppm is likely for this dilution of the filtrate.

Resistivity of concrete

General

This method is for measuring the resistivity of hardened concrete.

Equipment

Giatec RCON™

Description

Samples are cut into 50 mm thick sections. They are placed in the resistivity meter, a wet sponge between the sample and measuring plates. Care is taken to ensure that upper and lower plates are not at an angle. The resistivity meter is turned on and the measurement taken after 15 seconds.

Experimental

Samples were measured dry, wet and surface dried for experimental purposes. Results can be seen in test reports.

Vedlegg 4 – Beskrivelse av laboratorieoppdrag

Tillaging av prøvestykker fra kjerner

Det skulle tillages prøvestykker for bestemmelse av klorid-profil, fukt-profil, spesifikk elektrisk motstand, porøsitet/kapillær absorpsjon og neddykket kloriddiffusjon (bulkdifusjon). Før tillaging skulle alle kjerner dokumenteres med foto.

Følgende mal skulle benyttes ved tillaging av prøvestykkene:

Utvendig overflate	Utvendig overflate
<u>0-50mm</u> Kloridprofil	<u>0-25mm</u>
<u>50-100mm</u> Resistivitet DS, Porøsitet, kapillær abs.	<u>25-50mm</u>
<u>100-150mm</u> Resistivitet Bulkdifusjon	<u>50-75mm</u>
<u>150-200mm</u> Resistivitet Bulkdifusjon	<u>75-100mm</u>
	<u>100-150mm</u> Resistivitet Bulkdifusjon
	<u>150-200mm</u> Resistivitet Bulkdifusjon

} DS-profil
m/porøsitet

Kjernetype 1 **Kjernetype 2**

Figur 0-1: Mal for tillaging av prøvestykker

Der det var armering i kjernen skulle denne eventuelt inngå i et prøvestykke for porøsitet, slik at prøvestykker for neddykket kloriddiffusjon og måling av spesifikk elektrisk motstand var uten armering. Armeringen skulle frigjøres fra betongen, og armeringens overflate (med kammer) samt armeringens avtrykk i betongen skulle dokumenteres med foto. Der det var mulig skulle den resterende betongen benyttes til porøsitetsbestemmelse (uten å måle resistivitet). I forhold til ønsket prøving, kunne det se ut til å være et overskudd av prøvebiter for måling av resistivitet og bulkdifusjon. Dette var helt avhengig av eventuelle prøver som inneholder armeringsjern.

Kloridanalyser

For hver av prøvene skulle det fresas ut 13 sjikt, hvor de 8 ytterste sjikt var 2 mm, 3 sjikt på 4 mm og de 2 innerste sjiktene var 6 mm. Prøvene skulle analyseres for totalt kloridinnhold. Det skulle angis hvilken metode og hvilket utstyr som skulle benyttes.

<u>Avstand fra overflate:</u>	<u>Tykkelse på sjikt:</u>
0-2 mm	2 mm
2-4 mm	2 mm
4-6 mm	2 mm
6-8 mm	2 mm
8-10 mm	2 mm
10-12 mm	2 mm
12-14 mm	2 mm
14-16 mm	2 mm
16-20 mm	4 mm
20-24 mm	4 mm
24-28 mm	4 mm
28-34 mm	6 mm
34-40 mm	6 mm

Analyse av kalsiuminnhold

Til to av objektene ble kalsiuminnholdet i betongen analysert. Fra hvert freste sjikt (til kloridanalyse) som inneholdt 0,07 % klorider av betongvekt eller mer, skulle bindemiddelmengden bestemmes ved Ca-analyse. Analysen kunne foretas i samme løsning som etter avsluttet kloridanalyse forutsatt at det da ble benyttet potensiometrisk titrering med AgNO_3 som titrand. Metoden som da skulle følges var «Method 1» gitt i NORDTEST Project No. 1581-02 (SP report 2003:07, Tang Luping).

Fuktinnhold i betong

Fuktinnhold i betongen, DS profil (degree of saturation) kan fortelle om klimaet konstruksjonen befinner seg i og om betongkvaliteten. Følgende fremgangsmåte ble benyttet ved disse undersøkelsene.

Det ble utarbeidet en profil over vannmetning fra hver av prøveseriene. Denne prøvingen ble tatt av kjerne som ikke ble benyttet til bestemmelse av kloridprofil. Følgende prosedyre ble fulgt:

- Tillagingen av prøveskiver ble utført ved at skivene ble splittet av, på en slik måte at skivene ikke ble tilført vann og slik at de mistet minimalt med fuktighet:
 - o ta kjernen ut av plastposen, men la plastfolien være på
 - o kappe tørt et snitt for rissanvisning rundt hele kjernens omkrets slik at det ved splitting kan dannes en skive med tykkelse 20–25mm
 - o splitt skiven umiddelbart etter snitting og deretter umiddelbar veiing i luft (vekt g_0) eller umiddelbar innpakning i plast for senere veiing
 - o bruddflaten på den resterende kjernebiten skal pakkes i plastfolie umiddelbart etter splitting av skiven
 - o prosedyren gjentas til en har fire skiver med tykkelse 20–25 mm
 - o Det er sannsynlig at skivene ikke blir regulære, dvs tykkelsen vil variere og noen skiver vil kanskje ikke forbli hele, men det er viktig at alle biter benyttes som egne prøvestykker og veies separat. Merking av prøvebiter er derfor viktig, slik at en kan identifisere hvilke sjikt eller avstand fra overflaten bitene tilhører. Fotodokumentasjon ønskes av alle prøvebiter.
 - o Det er viktig at alle løse biter fjernes før den første veiingen (g_0), for eksempel med en stiv børste el.l.
- 3 uker helt neddykket i vann, veiing i luft (vekt g_2), og under vann (vekt g_3). Dette forutsetter at prøven er opphengt i vekta.
- 2 døgn neddykket i vann i trykktank ved 50 atm. trykk, veiing i luft (vekt g_4).
- 7 døgn tørking i ventilert ovn ved 105–110 °C, veiing i luft etter avkjøling i minimum 2 timer i eksikator (vekt g_1)
- Beregning av alle verdier som angitt under *Beregninger* i Håndbok 014, prosess 14.637, samt DS og prøvestykkets in-situ fuktinnhold etter følgende formler:
 - o $DS = \frac{g_0 - g_1}{g_2 - g_1} (\%)$ in-situ fuktinnhold: $w_0 = \frac{g_0 - g_1}{g_1} (\%)$

Ved veiing skulle følgende prosedyre følges for hver skive:

- Det skulle benyttes vekt med minimum 0,01 g nøyaktighet
- Skiven ble tørket av med fuktig klut og veid (Unntatt etter ovnstørking)

Akselerert kloridinntrengning – neddykket kloriddiffusjon og spesifikk elektrisk motstand

Prøvingen ble utført i henhold til Håndbok 014, prosess 14.651, og omfattet følgende deler utført i sekvens i henhold til beskrivelse i nevnte prosess med tillegg angitt i blått:

- Bestemmelse av betongens spesifikk elektrisk motstand på hvert prøvestykke før neddykking i mettet Ca(OH)_2 (metode og utstyr skal angis)
- Preparering av prøvestykker
- Neddykking, 35 – 40 døgn i 16,5% NaCl løsning
- Fresing av betongstøv
- Kloridanalyser (det skal angis hvilken metode og hvilket utstyr som er tenkt benyttet)
- Beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter, D, og overflatekonsentrasjon, C_s
- Initielt kloridnivå, dvs «nullnivået» skal også bestemmes i henhold til beskrivelse. Fresing av støv kan benyttes som alternativ til nedknusing av betong

Bestemmelse av betongens resistivitet skulle utføres ved romtemperatur. Temperaturen i rommet der målingene utføres skulle måles og dokumenteres ved hver enkelt måling av resistivitet.

Eksponeringskarene skulle være helt fylt med NaCl-løsning og tett lukket med lokk. Forholdet mellom eksponert betongareal i cm^2 og volum av eksponeringsvæsken i dm^3 skulle være mellom 20 og 80. Eksponeringstid skulle være 35 døgn for alle serier.

Etter endt eksponering skulle det freses totalt 10 sjikt per prøvestykke, i henhold til følgende oppsett:

<u>Avstand fra eksp. overflate:</u>	<u>Tykkelse på sjikt:</u>
0-2 mm	2 mm
2-4 mm	2 mm
4-6 mm	2 mm
6-8 mm	2 mm
8-10 mm	2 mm
10-12 mm	2 mm
12-16 mm	4 mm
16-20 mm	4 mm
20-25 mm	5 mm
25-30 mm	5 mm

Kapillær absorpsjon, porøsitet og spesifikk elektrisk motstand

Betongens resistivitet og porøsitet etter prinsipper gitt i Håndbok 014, prosess 14.637 (*full prosedyre*), skulle bestemmes med følgende prosedyre:

- Bestemmelse av betongens resistivitet på hvert store prøvestykke før tillaging av skiver (metode og utstyr skal angis)
- Tillaging av skiver med tykkelse 20 ± 1 mm, der tykkelsen av hver enkelt skive måles med skyvelær
- Bestemmelse av betongens resistivitet på hver enkelt skive
- Maling av sideflatene med epoxy
- Tørking i ventilert varmeskap ved 105–110 °C inntil vekttapet er mindre enn 0,01 % pr. time (eventuelt 7 døgn dersom konstant tørketid er mer hensiktsmessig), og deretter minimum 2 timer avkjøling i luft ved romtemperatur, tildekket med plastfolie, veiing (vekt g1)
- 4 døgn suging fra vannspeil (hele sugeflaten skal være i kontakt med vann uten at vannspeilet står mer enn 1–2 mm opp på sideflaten, kassen skal være tildekket).
Veiing etter:
 - o 10 og 30 minutter
 - o 1, 2, 3, 4 og 6 timer
 - o 1, 2, 3 og 4 døgn
- 3 døgn helt neddykket i vann, veiing i luft (vekt g2), og under vann (vekt g3). Dette forutsetter at prøven er opphengt i vekta
- 2 døgn neddykket i vann i trykktank ved 50 atm. trykk, veiing i luft (vekt g4)
- Beregning av alle verdier som angitt under *Beregninger* i Håndbok 014, prosess 14.637

Ved veiing skulle følgende prosedyre følges for hver skive:

- Det skulle benyttes vekt med 0,01 g nøyaktighet
- Skiven ble tørket av med fuktig klut og veid (Unntatt etter ovnstørking)

Bestemmelse av betongens resistivitet skulle utføres ved romtemperatur. Temperaturen i rommet der målingene ble utført skulle måles og dokumenteres ved hver enkelt måling av resistivitet.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen