



Statens vegvesen

FoU-prosjektet Kai Sjursøya Overflatebehandling av betong Statusrapport pr 5-årsprøving

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2541



Tunnel- og betongseksjonen
Dato: 2009-03-31



Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo
Telefon: (+47 915) 02030
www.vegvesen.no

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2541

Tittel

**FoU-prosjektet Kai Sjursøya
Overflatebehandling av betong
Statusrapport pr 5-årsprøving**

Utarbeidet av
Eva Rodum

Dato:

2009-03-31

Saksbehandler

Eva Rodum, Finn Fluge

Prosjektnr:

601413

Kontrollert av

Claus Kenneth Larsen

Antall sider og vedlegg:

66/7

Sammendrag

I forbindelse med rehabilitering av kai Sjursøya i 1999 initierte Entreprenørservice AS et FoU-prosjekt med hovedmål å dokumentere den kloridbremsende effekten av ulike overflateprodukter (delprosjekt A). I tillegg ble det bestemt å undersøke omfanget av kloridtransport fra gammel kloridholdig betong til ny reparasjonsmørtel (delprosjekt B). Det ble etablert en prosjektgruppe bestående av representanter fra: Entreprenørservice AS, Oslo Havnevesen, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Selmer Skanska AS og Stærk & Co a.s. Fire materialleverandører har deltatt i prosjektet og både vannavvisende impregneringsprodukter (krem og væske) og sementbaserte belegg (elastiske og ikke-elastiske) er inkludert.

Den kloridbremsende effekten av de ulike produkter/produkttyper og materialløsninger er dokumentert etter 1, 2 og 5 år. Etter 5 års eksponering kan resultatene fra delprosjekt A oppsummeres som følger:

- Alle de vannavvisende impregneringsprodukter har hatt en god/svært god kloridbremsende effekt
- To av tre elastiske belegg har hatt en svært god kloridbremsende effekt på bjelkene
- Ett ikke-elastisk belegg har ikke vist signifikante tegn på kloridbremsende effekt på noe tidspunkt
- Alle vannavvisende impregneringsprodukter har svært god inntrenging i betongen

Resultatene fra delprosjekt B viser at det skjer en betydelig kloridtransport fra kloridholdig underbetong til reparasjonsbetongen, og at diffusjonshastigheten er avhengig av type reparasjonsbetong.

Det er planlagt 10-årsprøving i 2009. Etter at denne er gjennomført bør det vurderes om dataene skal viderebehandles f eks i levetidsmodeller.

Summary

During the rehabilitation of a concrete quay at Sjursøya in 1999, an initiative was taken to establish a R&D project dealing with the chloride retarding effect of different surface treatment products (subproject A). In addition, the chloride transport from chloride contaminated concrete to new repair materials was decided examined (subproject B). The project is a joint venture between Entreprenørservice AS, the Oslo Port Authority, the Norwegian Public Road Administration, Selmer Skanska AS and Stærk & Co a.s.

Four material suppliers have contributed with their own proposed surface treatment solutions. Both hydrophobic impregnations (cream and liquid) and cement based coatings (elastic and non elastic) have been included in the project. The chloride retarding effect of the products is so far examined after 1, 2 and 5 years of exposure. The results after 5 years may be summarized as follows:

- All the hydrophobic products show good to excellent effect
- Two of the three elastic coatings applied on the beams show very good effect
- One non-elastic coating shows no effect
- The penetration depths of the hydrophobic products are very good

The results from subproject B document a chloride diffusion from the chloride contaminated concrete into the repair concretes. The diffusion rate is dependent of the type of repair concrete.

A programme for 10 years testing in 2009 is proposed. The effect of the different products on the service life of the quay should then be considered evaluated by service life modelling.

Emneord:

Betong, overflatebehandling, kloridinntrenging



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005

1	BAKGRUNN	3
2	MÅL	3
3	PROSJEKTORGANISERING	3
4	RAPPORTINNHOLD	4
5	KONSTRUKSJONSBEKRIVELSE OG AKSESYSTEM	5
6	PROSJEKTBEKRIVELSE	6
6.1	DELPROSJEKT A – KLORIDBREMSSENDE EFFEKT AV ULIKE OVERFLATEBEHANDLINGER.....	6
6.1.1	<i>Produktleverandører</i>	6
6.1.2	<i>Utførelse av betongreparasjoner før overflatebehandling</i>	7
6.1.3	<i>Produktoversikt</i>	7
6.2	DELPROSJEKT B – KLORIDDIFFUSJON FRA KLORIDHOLDIG BETONG TIL REPARASJONSMØRTEL	8
7	TILSTAND FØR REHABILITERING	8
7.1	GENERELT	8
7.2	KLORIDMÅLINGER UTFØRT AV OSLO HAVNEVESEN I 1990	8
7.3	KLORIDMÅLINGER UTFØRT AV SELMER SKANSKA I 1998.....	9
7.4	KLORIDMÅLINGER UTFØRT AV SELMER SKANSKA I 1999.....	10
7.5	VURDERING AV RESULTATENE	14
7.5.1	<i>Kritisk grenseverdi for korrosjon</i>	14
7.5.2	<i>Underside dekke – variasjoner i kloridinnhold</i>	15
7.5.3	<i>Bjelker – variasjoner i kloridinnhold</i>	19
8	UTFØRELSE AV INITIELT ARBEID I FELT/LAB	20
8.1	MEKANISK REPARASJON.....	20
8.2	KLORIDMÅLINGER UTFØRT ETTER MEISLING (AV SELMER SKANSKA I 1999)	21
8.3	DELPROSJEKT A – KLORIDBREMSSENDE EFFEKT AV ULIKE OVERFLATEBEHANDLINGER.....	22
8.3.1	<i>Innledning</i>	22
8.3.2	<i>Mursto (nå: Sto Norge AS)</i>	22
8.3.3	<i>Sika</i>	23
8.3.4	<i>Rescon</i>	23
8.3.5	<i>Optiroc</i>	23
8.4	DELPROSJEKT B – KLORIDDIFFUSJON FRA KLORIDHOLDIG BETONG TIL REPARASJONSMØRTEL	24
8.4.1	<i>Laboratorieprøving</i>	24
8.4.2	<i>Feltprøving</i>	25
9	PRØVINGSPROGRAM OG MERKESYSTEM	26
9.1	GENERELT	26
9.2	PRØVELOKALITET OG MERKESYSTEM.....	26
9.3	RESULTATPRESENTASJON OG PRODUKTKODING	27
10	1-ÅRS PRØVING UTFØRT 2000	28
10.1	DELPROSJEKT A – KLORIDBREMSSENDE EFFEKT AV ULIKE OVERFLATEBEHANDLINGER.....	28
10.1.1	<i>Prøveprogram</i>	28
10.1.2	<i>Kloridprofiler – Selmer Skanska</i>	28
10.1.3	<i>Kloridprofiler – Vegdirektoratet</i>	32
10.1.4	<i>Heftfasthet – Vegdirektoratet</i>	33
10.1.5	<i>Inntrengingsdybder - Vegdirektoratet</i>	34
10.2	DELPROSJEKT B – KLORIDDIFFUSJON FRA KLORIDHOLDIG BETONG TIL REPARASJONSMØRTEL	36
10.2.1	<i>Kloridprofiler - laboratorium</i>	36
10.2.2	<i>Kloridprofiler – felt</i>	36
11	2-ÅRS PRØVING UTFØRT 2001	37
11.1	DELPROSJEKT A – KLORIDBREMSSENDE EFFEKT AV ULIKE OVERFLATEBEHANDLINGER.....	37
11.1.1	<i>Prøveprogram</i>	37
11.1.2	<i>Kloridprofiler – Selmer Skanska</i>	37
11.2	DELPROSJEKT B – KLORIDDIFFUSJON FRA KLORIDHOLDIG BETONG TIL REPARASJONSMØRTEL	40
11.2.1	<i>Kloridprofiler - laboratorium</i>	40

11.2.2	<i>Kloridprofiler – felt</i>	41
12	5-ÅRS PRØVING UTFØRT 2004	42
12.1	DELPROSJEKT A – KLORIDBREMSSENDE EFFEKT AV ULIKE OVERFLATEBEHANDLINGER.....	42
12.1.1	<i>Prøveprogram</i>	42
12.1.2	<i>Visuell inspeksjon - Vegdirektoratet</i>	42
12.1.3	<i>Kloridprofiler – SINTEF</i>	43
12.1.4	<i>Hefffasthet - Vegdirektoratet</i>	46
12.1.5	<i>Inntrengingsdybder - Vegdirektoratet</i>	48
12.1.6	<i>Bestemmelse av kapillær vannmetningsgrad, porøsitet av sprøytebetong - Vegdirektoratet</i>	50
12.2	DELPROSJEKT B – KLORIDDIFFUSJON FRA KLORIDHOLDIG BETONG TIL REPARASJONSMØRTEL	51
12.2.1	<i>Kloridprofiler - laboratorium</i>	51
12.2.2	<i>Kloridprofiler – felt</i>	53
13	OBSERVASJONER UNDER BEFARING I APRIL 2008	55
14	VURDERING AV RESULTATER ETTER 1, 2 OG 5-ÅRSPRØVING	55
14.1	DELPROSJEKT A – KLORIDBREMSSENDE EFFEKT AV ULIKE OVERFLATEBEHANDLINGER.....	55
14.1.1	<i>Vurdering av resultatene fra 1-årsprøvingen i 2000</i>	55
14.1.2	<i>Vurdering av resultatene fra 2-årsprøvingen i 2001</i>	56
14.1.3	<i>Vurdering av resultatene fra 5-årsprøvingen i 2004</i>	56
14.1.4	<i>Sammenstilte resultater fra 1-5-årsprøving og samlet vurdering</i>	57
14.2	DELPROSJEKT B – KLORIDDIFFUSJON FRA KLORIDHOLDIG BETONG TIL REPARASJONSMØRTEL	60
15	PLANLAGT 10-ÅRS PRØVING I 2009	63
16	OPPSUMMERING OG FORELØPIGE KONKLUSJONER	64
17	REFERANSER	66

VEDLEGG 1:	Målt kloridinnhold 1990-1999
VEDLEGG 2:	Produktdatablader
VEDLEGG 3:	Prøveresultater 2000 - delprosjekt A
VEDLEGG 4:	Prøveresultater 2000 - delprosjekt B
VEDLEGG 5:	Prøveresultater 2001 - delprosjekt A
VEDLEGG 6:	Prøveresultater 2001 - delprosjekt B
VEDLEGG 7-1:	Prøveresultater 2004 - SINTEF prøvingsrapport 70218 (delprosjekt A og B)
VEDLEGG 7-2:	Prøveresultater 2004 - delprosjekt A

1 BAKGRUNN

Oslo Havnevesens kai på Sjursøya ble bygd i 1959-60. Kaia ble rehabilitert pga korrosjonsskader første gang i 1983. Reparasjonene ble utført ved forenklet mekanisk reparasjon, dvs reparasjon av synlige skader (riss, bom og avskallinger). Skadet betong ble fjernet i dybde inn til midten av armeringen og armeringen ble frilagt i lengderetningen til 10 cm inn i "frisk betong". Armering og sårflater ble rengjort, armeringen primet og sårene gjenstøpt ved sprøyting. Det ble benyttet sprøytemørtel med både PP- og stålfiber.

Undersøkelser utført i 1990 avdekket nye og omfattende skader på kaia, både i kaidekke og på bjelker. Skadene ble registrert i form av riss, bom og avskallinger pga pågående armeringskorrosjon. Skader ble spesielt observert i overganger til tidligere reparasjoner. Målinger av kloridinnholdet i betongen viste at dette var svært høyt og det ble antatt at all underkantarmoring i både dekke og bjelker lå i betong med kloridinnhold over kritisk grenseverdi for korrosjon.

I 1998 besluttet Oslo Havnevesen å utbedre kaia på nytt. Entreprenørservice AS fikk i oppdrag å utføre en tradisjonell mekanisk reparasjon av kaianlegget, etter at også katodisk beskyttelse var vurdert som alternativ utbedringsmetode. Kloridinfisert betong skulle fjernes til dybde ca 30 mm bak armeringen både på bjelker og i underside dekke. Ny omstøping av armering ble utført med sprøytebetong på underside dekke og med tradisjonell betong i bjelkene.

Etter at utbedringsarbeidene ble igangsatt, foreslo Entreprenørservice AS å utvide prosjektet til også å inneholde en FoU-del, hvor ulike reparasjonsmetoder/-materialer kunne testes ut over tid. Dette ble akseptert av Oslo Havnevesen og et eget FoU-prosjekt ble etablert.

Denne rapporten omhandler FoU-delen av rehabiliteringsprosjektet fram til og med 5-årsprøving i 2004.

2 MÅL

FoU-delen av prosjektet ble etablert med følgende hovedmål: Å dokumentere den kloridbremsende effekten av ulike overflatebehandlinger/-produkter ved måling av kloridinntrenging i betongen over en periode på 15 år.

I tillegg ble det bestemt å undersøke omfanget av kloridtransport fra gammel kloridholdig betong til ny reparasjonsmørtel.

Den todelte målsetningen ga grunnlag for å dele prosjektet inn i to delprosjekter, hhv delprosjekt A og delprosjekt B.

3 PROSJEKTORGANISERING

Entreprenørservice AS initierte prosjektet og inviterte andre firma og miljøer i bransjen til å delta. Det ble etablert en prosjektgruppe bestående av representanter fra:

- Entreprenørservice AS
- Oslo Havnevesen
- Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- Selmer Skanska AS
- Stærk & Co a.s.

Kystdirektoratet og Norsk Forening for Betongrehabilitering (NFB) deltok som observatører i innledende fase av prosjektet.

Prosjektleder var Olaf Stenstad, Entreprenørservice AS og prosjektsekretær Jan Lindland, Stærk & Co.

Olaf Stenstad døde i 2006 og i prosjektmøte 2008-02-05 ble det besluttet at Vegdirektoratet skulle overta prosjektlederansvaret i prosjektets slutfase. Som del av dette gjennomføres rapporteringen i regi av Vegdirektoratet.

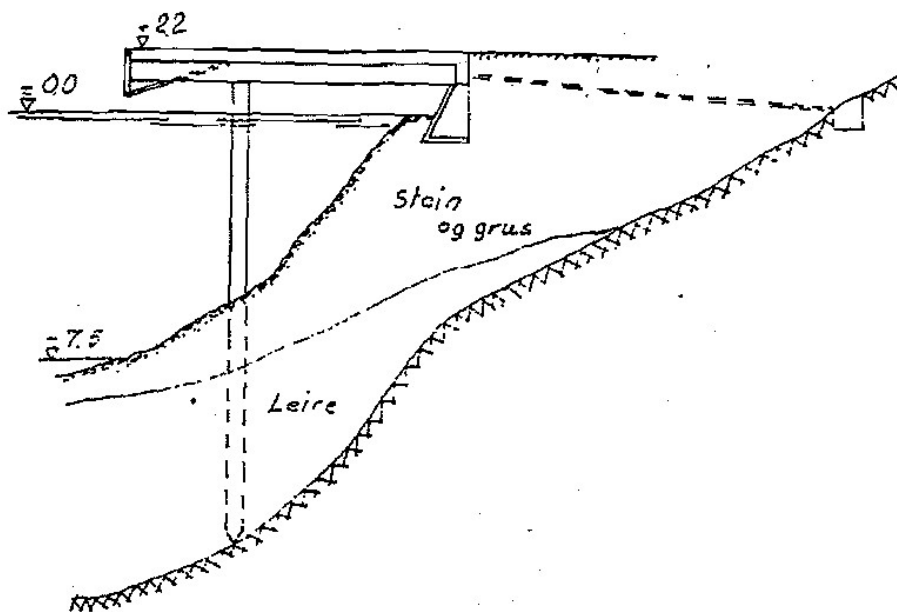
4 RAPPORTINNHOLD

Denne rapporten er en statusrapport pr 2008 og oppsummerer alle FoU-resultater fram til 5-årsprøving i 2004. I tillegg presenteres planer for gjennomføring av 10-årsprøving i 2009.

Oppsummeringen er basert på følgende prosjektdokumenter, jfr dokumentliste utarbeidet av Stærk & Co a.s.:

- D1:** Kloridanalyser utført av Selmer ASA (mars 1999)
- D2:** Kloridanalyser utført i 1990 av Oslo Havnevesen (28. mai 1999)
- D3:** Tekniske datablad og HMS-datablad for produkter fra Rescon AS (26. mai 1999)
- D4:** Tekniske datablad og HMS-datablad for produkter fra SIK A Norge AS (1. juni 1999)
- D5:** Tekniske datablad og HMS-datablad for produkter fra Mursto a/s (25. mai 1999)
- D6:** Rapport fra Oslo Havnevesen vedr. reparasjon av Sjursøy-kaia (26. mai 1999)
- D7:** Utkast til prosjektbeskrivelse (18. juni 1999)
- D8:** Kloridprofiler før vannmeisling for prøvefeltene 41-47, utført av Selmer ASA (19. juni 1999)
- D9:** Oversiktsplan som viser hvor de ulike reparasjonsmetoder/-løsninger er benyttet (28. juni 2000)
- D10:** Dokumentasjon – prøvefelt med produkter fra Sika Norge AS (28. juni 2000)
- D11:** Dokumentasjon – prøvefelt med produkter fra Optiroc AS (3. juli 2000)
- D12:** Dokumentasjon – prøvefelt med produkter fra Rescon AS (3. juli 2000)
- D13:** Dokumentasjon – prøvefelt med produkter fra Mursto a/s (3. juli 2000)
- D14:** Rapport utarbeidet av Selmer Skanska – Måleresultat 2000, datert 16. februar 2001 (omfatter Selmers måleresultat for 2000)
- D15:** Artikkel om prosjektet i bladet Betongindustrien (4-2001) utarbeidet av Olaf Stenstad og Jan Lindland
- D16:** Prosedyre for uttak av betongstøv ved Selmer-metoden
- D17:** Selmers måleresultat 2001
- D18:** Beskrivelse av Vegdirektoratets prøveprogram i 2000
- D19:** Vegdirektoratets måleresultat av kloridinnhold i 2000
- D20:** Beskrivelse av prøveprogram for 2004 (2. september 2004)
- D21:** Oversikt over prøveprogram for 2004 (2. september 2004)
- D22:** Heftfasthetsmålinger utført av Vegdirektoratet i 2000
- D23:** Kloridprofiler utført av Vegdirektoratet i 2000
- D24:** Måling av inntrengningsdybder utført av Vegdirektoratet i 2000
- D25:** Heftfasthetsmålinger utført av Vegdirektoratet i 2004
- D26:** Måling av inntrengningsdybder utført av Vegdirektoratet i 2004
- D27:** Prøvsingsrapport fra SINTEF – kloridanalyser 2004
- D28:** Dokumentasjon visuell kontroll 2004
- D29:** Prosjektoppgave NTNU, ”Reparasjon av betong med armeringskorrosjon initiert av klorider”, utført av Inger Lise Kvalvågnes, 20.12.2006
- D30:** Foredrag Teknologidagene i Statens vegvesen 2005, ”Overflatebehandling. Resultater fra Sjursøya kai”, v/Jan Lindland

hverandre internt på kaia. Dersom dataene skal benyttes f eks som input i levetidsberegninger, må man imidlertid ta i betraktning at eksponeringsbetingelsene er endret som følge av ombyggingen av kaia.



Figur 2 Snittegning av kaia /1/

Den opprinnelige kaia består av 48 dekkefelt. Det er etablert et aksesystem hvor bjelke mot vest er definert som akse 1. Dekkefelt 1 er dekkefelt mellom akse 1 og 2.

Alle bjelke-/dekkfeltene (mellom akse 1-48) inngikk i reparasjonsarbeidene, mens FoU-delen med overflatebehandling ble gjennomført på bjelker/dekkefelt mellom akse 39-48. Felt 39 og 48 ble valgt som referansefelt for overflatebehandlingsforsøkene og ble derfor beholdt ubehandlet. I tillegg er dekkefelt 44 uten overflatebehandling og således også å betrakte som et referansefelt.

6 PROSJEKTBEKRIVELSE

6.1 Delprosjekt A – Kloridbremsende effekt av ulike overflatebehandlinger

6.1.1 Produktleverandører

Fire materialleverandører ble invitert til å delta i prosjektet:

- Sika Norge AS
- Optiroc AS (nå: maxit a.s.)
- Rescon AS
- Mursto a/s (nå: Sto Norge AS)

Hver av leverandørene fikk tildelt sine prøvelfelt på kaia og anledning til å komme med egne løsningsforslag.

I tillegg til leverandørenes prøvelfelt ble det etablert to referansefelt, ett i hver ende av prøvelfeltene, se avsnitt 6.1.3. I tillegg fremstår også dekkefelt 44 som et referansefelt.

6.1.2 Utførelse av betongreparasjoner før overflatebehandling

Etter diskusjoner og utprøving av ulike reparasjonsmaterialer og påføringsteknikker, ble følgende løsninger valgt for prøvefeltene:

- Sika Norge, Rescon og Mursto (Sto Norge) sine prøvefelt, samt referansefeltene ble utbedret ved:
 - o Våtspøyting av betong med polypropylenfiber og alkalifri akselerator på underside dekke
 - o Utstøping mot forskaling med pumpbar C45-betong på bjelkene
- Optiroc sitt prøvefelt ble utbedret ved:
 - o Tørrespøyting med Betokem Sprøyterep T4 på underside dekke
 - o Utstøping mot forskaling med pumpbar C45-betong på bjelken

Alle gjenstøpingsarbeider (utstøpings- og sprøytebetongarbeider) ble utført av Entreprenørservice AS.

6.1.3 Produktoversikt

De ulike bjelke- og dekkefeltene ble fordelt mellom leverandørene slik det fremgår av Tabell 1. Av tabellen fremgår også hvilket produkt/produktkategori som er påført i hvilke felt.

Tabell 1 Oversikt over hvilke produkter som er benyttet i de ulike forsøksfeltene

Felt	Leverandør	Produkt	Produktkategori
39	Referansefelt	Ubehandlet	
40	Rescon AS	Rescon Murtett	Sementbasert slemmemasse
41	Mursto a/s (StoNorge AS)	StoCryl HG 200	Hydrofoberende impregnering, silanbasert gel
42		StoCrete FB	Elastisk, sementbasert slemmemasse
43	Rescon AS	Rescon E10 primer + Rescon CemElastic	Elastisk, sementbasert slemmemasse
44 bjelke	-	C45 med slaggsement fra Nederland*)	
44 dekke	Referansefelt	Ubehandlet	
45	Sika Norge AS	SikaTop 120 + Conservado 201 **)	Sementbasert slemme- og reparasjonsmørtel + hydrofoberende impregnering, silan-/ siloksanbasert krem
46 bjelke		Sikagard 552 W primer + SikaTop 106 Elastocem	Elastisk, sementbasert slemmemasse
46 dekke		Conservado 201	Hydrofoberende impregnering, silan-/ siloksanbasert krem
47 bjelke	Optiroc AS	Optiroc Impr. Cream	Hydrofoberende impregnering, ikke spesifisert / datablad mangler
47 dekke, venstre		(Betokem sprøyterep T4) + Optiroc Impr. Cream	(Gjenmørtling ved tørrespøyting) + hydrofoberende impregnering, ikke spesifisert / datablad mangler
47 dekke, høyre		(Betokem sprøyterep T4) + Silimp 240 (tidligere Scancem-produkt)	(Gjenmørtling ved tørrespøyting) + hydrofoberende impregnering, 100 % silan
48	Referansefelt	Ubehandlet	

*) De innerste 2 m av bjelken ble påsprøytet reparasjonsbetong uten forutgående vannmeisling (delprosjekt B).

**) Iht Sikas utførelsesrapport /D10/ er bjelke i akse 45 påført SikaTop 120 + Conservado 201, og ikke SikaTop 106 som det står oppgitt i flere av de tidlige dokumentene fra prosjektet. SikaTop 106 er påført bjelke i akse 46.

Tekniske datablader for de fleste produkter finnes i VEDLEGG 2.

6.2 Delprosjekt B – Kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsmørtel

Omfanget av kloridtransport fra kloridholdig underbetong til reparasjonsbetong ble besluttet undersøkt både i laboratorium og i felt.

I laboratorium ble forsøkene gjennomført ved at det ble støpt ut betongklosser med $v/b = 0,60$. Betongklossene ble neddykket i en kloridløsning for å oppnå en viss kloridinntrenging, før de ble påført et lag reparasjonsbetong (tre varianter; én sprøytebetong og to utstøpingsbetonger, samme resepter som i delprosjekt A). Alle sideflatene unntatt overflate med reparasjonsbetong ble forseglet med epoksy og prøvestykkene lagret i sjøvann i laboratoriet. Kloridinntrenging i reparasjonsbetongen fra eksternt sjøvann og kloridholdig underbetong ble planlagt undersøkt etter 28 døgn, 1 år og 2 år, evt også etter lengre eksponeringstid.

I felt ble forsøkene gjennomført ved at det på indre del av bjelke 44 ble påført sprøytebetong direkte på underbetongen uten forutgående vannmeisling. Kloridinnholdet i underbetongen ble bestemt før sprøyting, og det ble definert 6 målesteder hvor kloridutviklingen skulle følges over tid, både fra sjøvannseksponeert side og kloridinfiltrert underbetong.

7 TILSTAND FØR REHABILITERING

7.1 Generelt

Oslo Havnevesen avdekket nye skader på kaia i 1990, etter at den første gang var rehabilitert i 1983. Skadene ble registrert i form av riss, bom, avskallinger og synlig korrodert armering. Størst skadeomfang ble registrert mot bakkant av kaia, og skadebildet ble betraktet som relativt likt i kaias lengderetning. Skadene var først og fremst opptredende i overgangen til tidligere utførte reparasjoner. Opphugging til armering avdekket stedvis groptæring med til dels betydelige tverrsnittsreduksjoner. Fra 1990 fram til ny rehabilitering i 1999 ble kloridinnholdet i kaia undersøkt ved 3 anledninger:

- Av Oslo Havnevesen i 1990
- Av Selmer Skanska i 1998
- Av Selmer Skanska i 1999

Oslo Havnevesen foretok utboring av betongstøv i 20 mm sjikt, 2 profiler fra ett dekkefelt og 2 profiler i en bjelke. Kloridanalysene ble utført med Quantab-metoden.

Selmer Skanska foretok utboring av betongstøv i ulike sjikt iht "Selmer-metoden" /D16/. Prosedyren innebærer bruk av en bormaskin påmontert en suger som drar støvet ned i filterposer. For hver prøve bores det i ett hull med bordiameter 24 mm, i sjikttykkelse varierende fra 3 til 15 mm. Kloridanalysene ble utført ved spektrofotometrisk metode.

Resultatene fra undersøkelsene er presentert i de etterfølgende avsnitt. Alle resultatene er hentet fra datautskrifter i /1/ og manuelt lagt inn i regneark for videre resultathåndtering og grafisk fremstilling. Alle vurderinger av resultatene er gjort i forbindelse med utarbeidelsen av denne rapporten. I figurene som viser kloridprofiler er det lagt inn en stiplet linje for å markere en estimert grenseverdi for kloridinnhold på 0,10 % av betongvekt, se avsnitt 7.5.1.

7.2 Kloridmålinger utført av Oslo Havnevesen i 1990

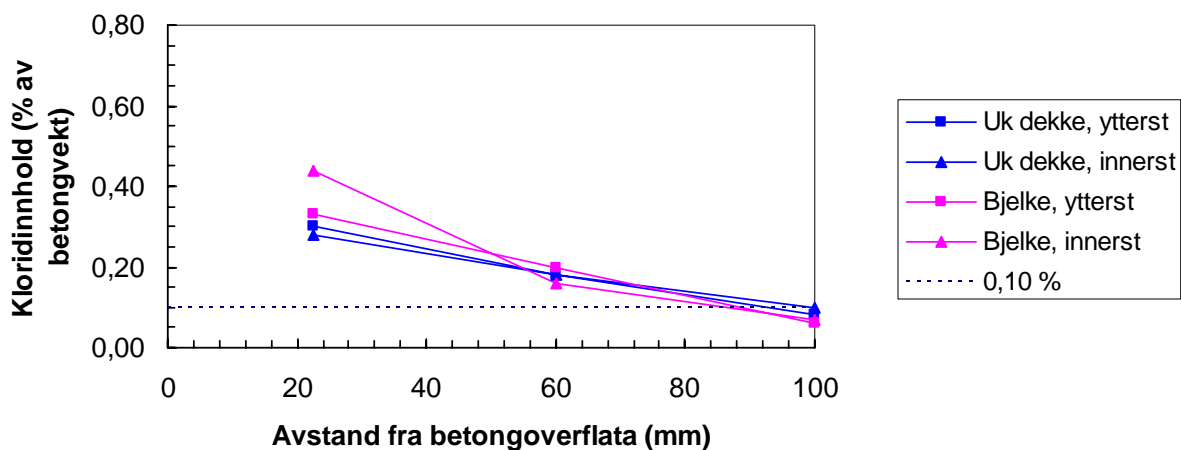
I 1990 ble det tatt ut støvprøver for bestemmelse av kloridprofiler fra følgende lokaliteter:

- Uk dekke, ytterst
- Uk dekke, innerst
- Drager, ytterst
- Drager, innerst

Mer detaljert beskrivelse av prøvelokaliteter er ikke gitt.

Prøveuttak og kloridanalyser ble utført av Oslo Havnevesen. Resultatene er presentert i Tabell 1 i VEDLEGG 1 og fremstilt grafisk i Figur 3.

Kloridprofiler - 1990



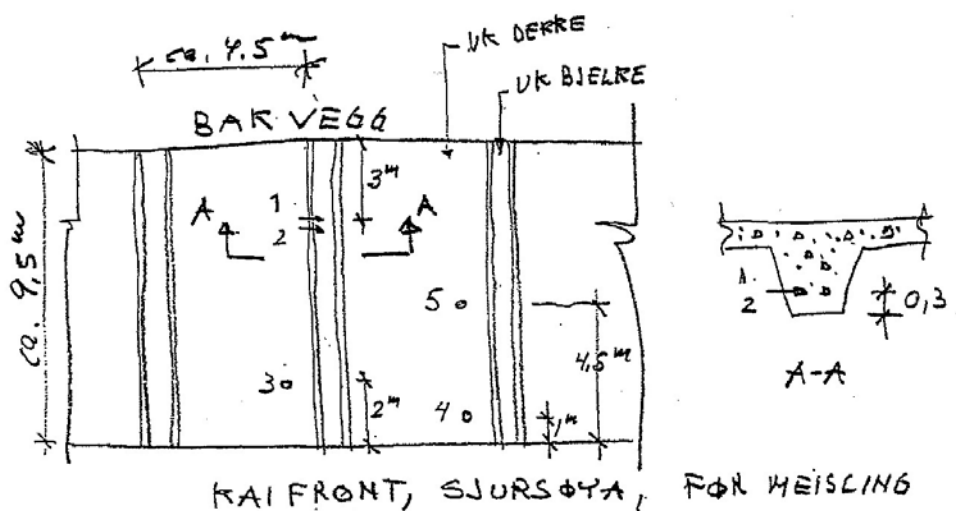
Figur 3 Kloridprofiler fremstilt for hhv bjelke og dekke i 1990 (akse nr og felt nr er ikke oppgitt)

7.3 Kloridmålinger utført av Selmer Skanska i 1998

I 1998 ble det boret ut støvprøver i ulike sjikt i følgende fem lokaliteter /1/:

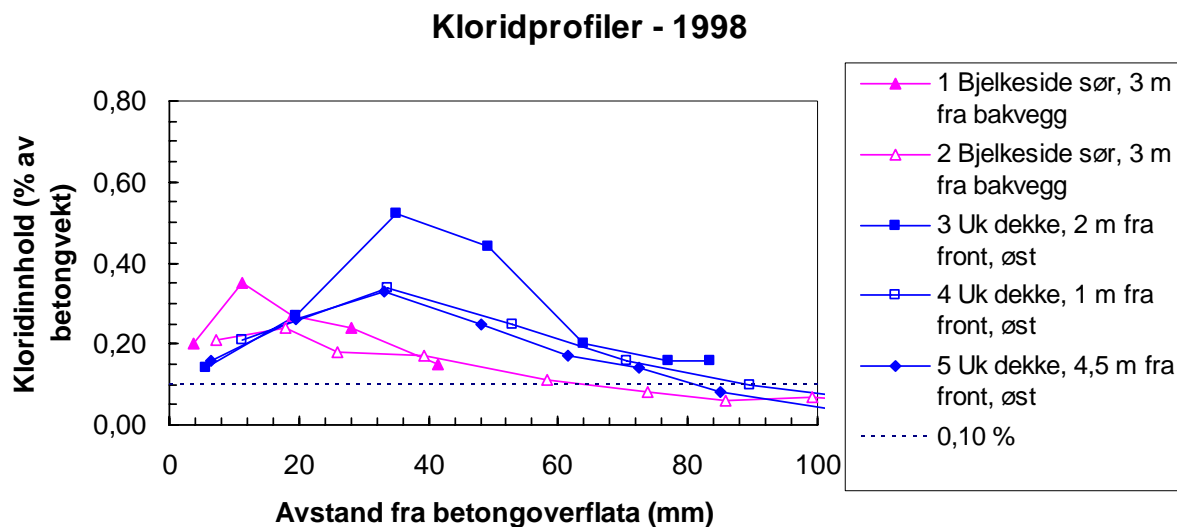
- 1 - Bjelkeside sør, 3 m fra bakvegg, 0,3 m fra uk bjelke
- 2 - Bjelkeside sør, 3 m fra bakvegg, 0,3 m fra uk bjelke
- 3 - Uk dekke, 2 m fra kaifront, øst
- 4 - Uk dekke, 1 m fra kaifront, øst
- 5 - Uk dekke, 4,5 m fra kaifront, øst

Uttak av støvprøver og etterfølgende kloridanalyser er utført av Selmer Skanska. Hvilke felt prøvene er uttatt fra er ikke oppgitt, men en skisse som viser lokalitet av prøvene innenfor de aktuelle feltene er vist i Figur 4.



Figur 4 Lokalitet av kloridprofiler mrk 1-5 /1/. Hvilke dekkfelt dette gjelder er ikke oppgitt

Målt kloridinnhold i ulike profiler er presentert i Tabell 2 i VEDLEGG 1 og fremstilt grafisk i Figur 5.

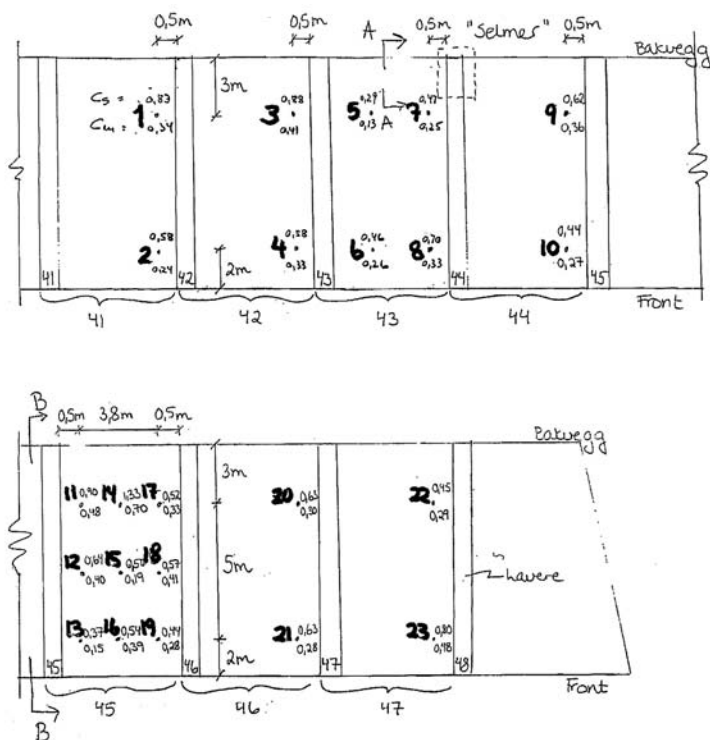


Figur 5 Kloridprofiler fremstilt for hhv bjelke og dekke i 1998 (akse nr og felt nr er ikke oppgitt)

7.4 Kloridmålinger utført av Selmer Skanska i 1999

Før start vannmeisling i 1999 ble det boret ut betongstøv i ulike avstander fra betongoverflata i flere prøvelokaliteter, både i uk dekke og bjelkesider. Utboring og etterfølgende kloridanalyser ble utført av Selmer Skanska AS.

Prøver fra underside dekke er uttatt fra felt 41-47, både ytterst (2 m fra kaifront) og innerst (3 m fra bakvegg). Prøvene er i hovedsak utboret nær bjelke mot øst (0,5 m fra denne), men i felt 43 og 45 er det også boret ut prøver nær bjelke mot vest, og for felt 45 også egne prøverekker midt i dekkefelt. Prøvelokalitetene er vist i Figur 6.



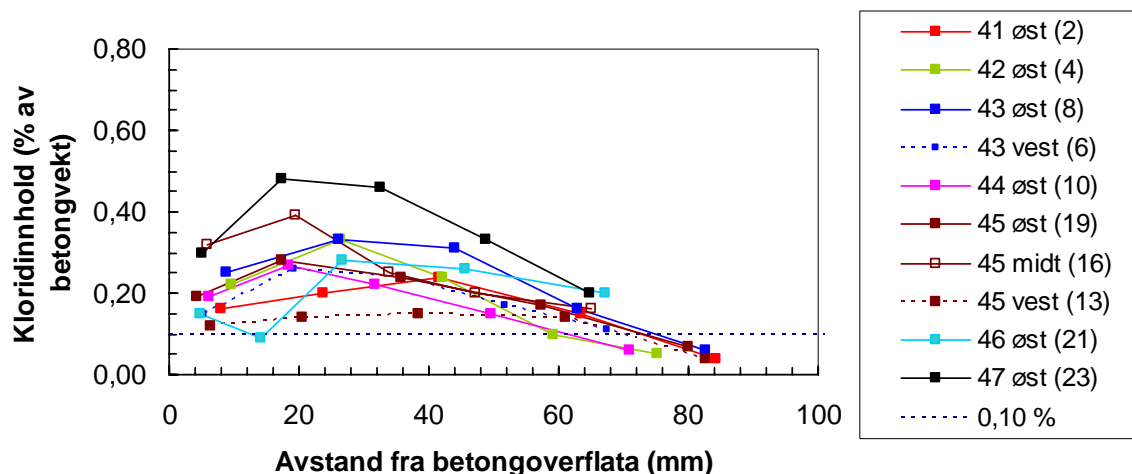
Figur 6 Lokaltet av prøver uttatt fra underside dekke i felt 41-47 /1/

Målte kloridinnhold i de ulike prøvelokaliteter er gjengitt i Tabell 3 i VEDLEGG 1 og fremstilt grafisk i Figur 7-9.

I forklaringsboksene i figurene er feltnummer og lokalitet gitt først, mens prøvenummer iht skisse i Figur 6 er gitt i parentes.

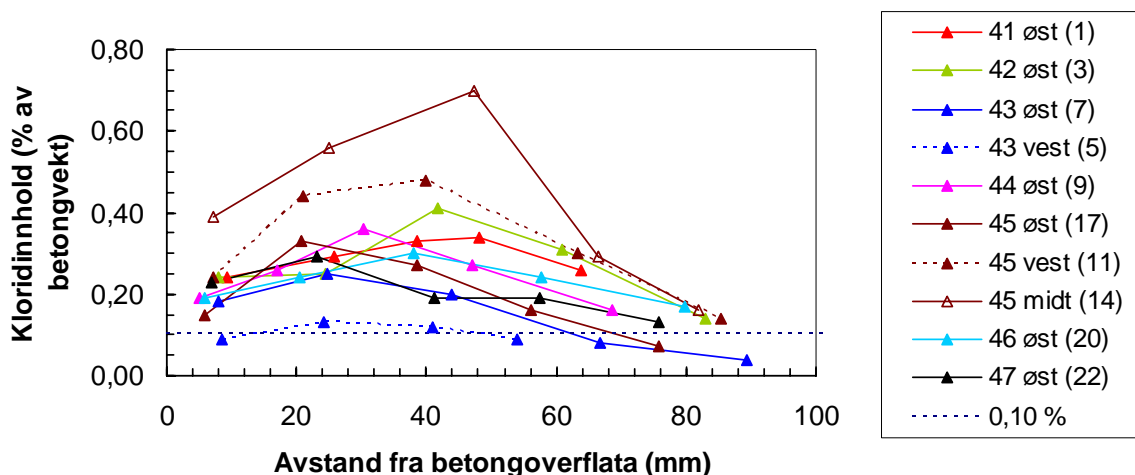
Forkortelsene FY (Felt Ytterst), FI (Felt Innerst) og FM (Felt Midt) er innført i tråd med merkesystem etablert i 2000, se avsnitt 9.2.

Uk dekke ytterst (FY) - 1999



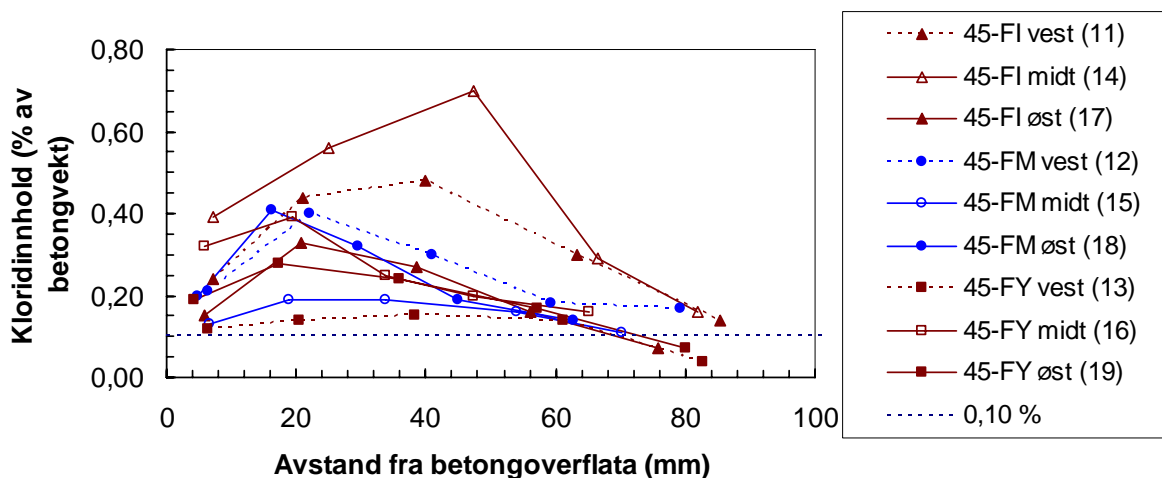
Figur 7 Kloridprofiler fremstilt fra underside dekke, ca 2 m fra kaifront (FY). Profiler mrk "øst" er tatt ut ca 0,5 m fra østre bjelke, profiler mrk "vest" ca 0,5 m fra vestre bjelke og profiler mrk "midt" midt mellom bjelkene.

Uk dekke innerst (FI) - 1999



Figur 8 Kloridprofiler fremstilt fra underside dekke, ca 3 m fra bakvegg (FI). Profiler mrk "øst" er tatt ut ca 0,5 m fra østre bjelke, profiler mrk "vest" ca 0,5 m fra vestre bjelke og profiler mrk "midt" midt mellom bjelkene.

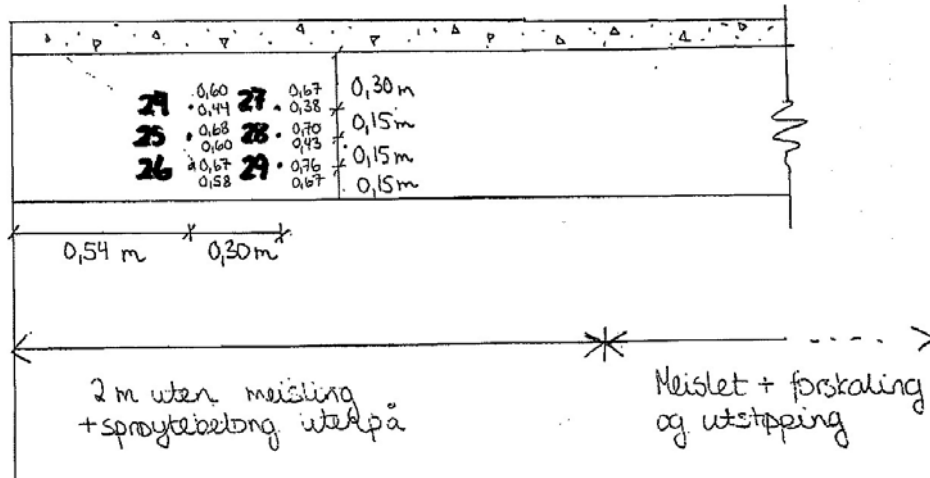
Uk dekke felt 45 - 1999



Figur 9 Kloridprofiler fremstilt fra underside dekke i felt 45, hhv ca 2 m fra kaifront (FY), ca 3 m fra bakvegg (FI) og ca 5,5 m fra bakvegg (FM). Profiler mrk "øst" er tatt ut ca 0,5 m fra østre bjelke, profiler mrk "vest" ca 0,5 m fra vestre bjelke og profiler mrk "midt" midt mellom bjelkene.

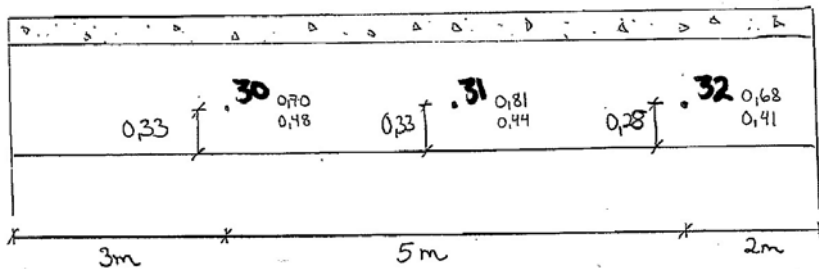
Prøver fra bjelker er tatt ut i akse 44 og 45. Alle prøvene er boret ut fra bjelkeside, med ulik avstand fra hhv bakvegg og uk bjelke. Prøvelokalitetene er vist i Figur 10 og 11.

OPPRISS A



Figur 10 Lokalitet av prøver tatt fra bjelke i akse 44, side mot vest /1/

OPPRISS B



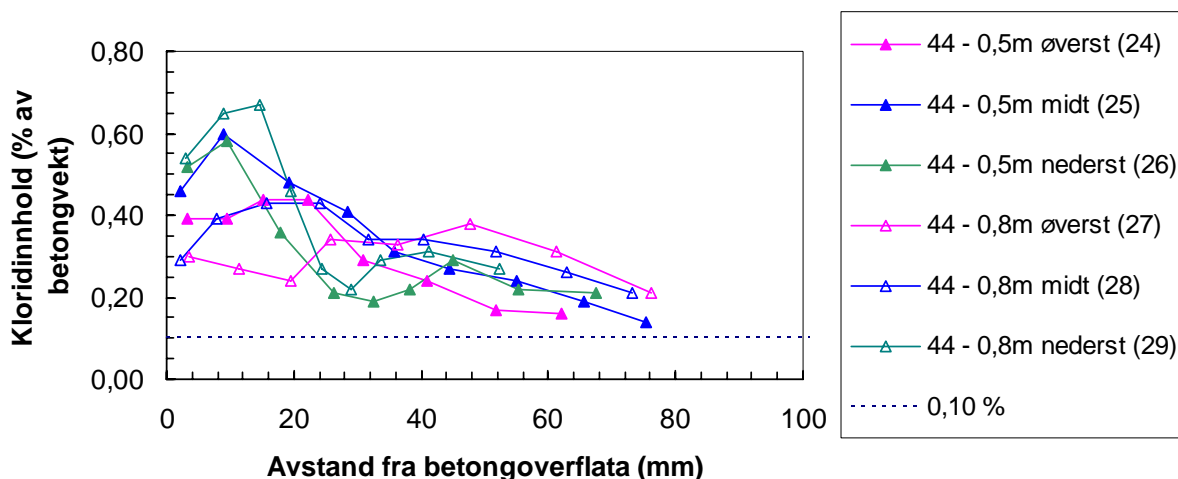
Figur 11 Lokalitet av prøver tatt fra bjelke i akse 45, side mot vest /1/

Målte kloridinnhold i de ulike prøvelokaliteter er gjengitt i Tabell 4 i VEDLEGG 1 og fremstilt grafisk i Figur 12-13.

I forklaringsboksene i figurene er aksenummer og lokalitet gitt først, mens prøvenummer iht skisser i Figur 10 og 11 er gitt i parentes.

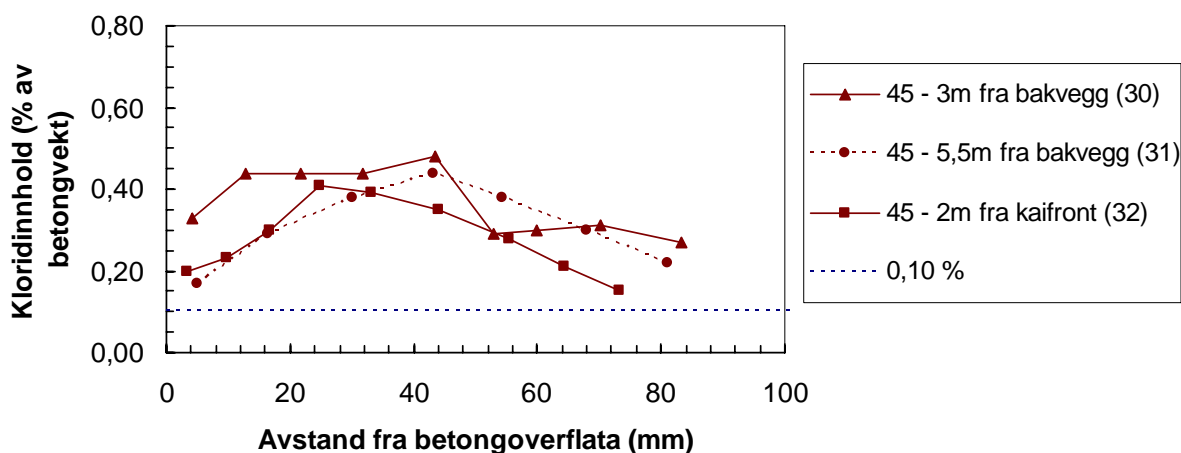
Forkortelsene BIS (Bjelke Innerst Side) og BYS (Bjelke Ytterst Side) er innført i tråd med merkesystem etablert i 2000, se avsnitt 9.2.

Bjelkeside innerst (BIS) akse 44 - 1999



Figur 12 Kloridprofiler fremstilt fra vestre bjelkeside i akse 44, hhv ca 0,5 m og 0,8 m fra bakvegg. Profiler mrk "øverst" er tatt ut ca 0,45 m fra uk bjelke, profiler mrk "midt" ca 0,3 m fra uk bjelke og profiler mrk "nederst" ca 0,15 m fra uk bjelke.

Bjelkeside akse 45 - 1999



Figur 13 Kloridprofiler fremstilt fra vestre bjelkeside i akse 45, hhv 2 m fra kaifront (BYS), ca 3 m fra bakvegg (BIS) og ca 5,5 m fra bakvegg. Profilene er tatt ut ca 0,3 m fra uk bjelke.

7.5 Vurdering av resultatene

7.5.1 Kritisk grenseverdi for korrosjon

Når kloridinnholdet i betongen nær armering overskrider en viss verdi (kritisk grenseverdi) brytes det passiverende sjiktet på armeringen og korrosjon kan starte.

Den kritiske grenseverdien er ikke en entydig fast verdi, men varierer avhengig av blant annet betongkvalitet og miljø. Den kritiske verdien kan sågar være forskjellig på ulike deler av en og samme konstruksjonsdel. Innenfor ett av prosjektene i COIN /2/ foregår det for tiden et relativt omfattende

arbeid for å øke forståelsen av hvilke faktorer som påvirker den kritiske grenseverdien for kloridkorrosjon /3/.

I bransjen benyttes ofte 0,10 % av betongvekt som en grenseverdi for mulig armeringskorrosjon, i tilfeller hvor den kritiske grenseverdien ikke er bestemt. En grenseverdi på 0,10 % anses som et konservativt estimat. Det er ikke lagt vekt på å definere den kritiske grenseverdien for kai Sjursøya. For enkelhets skyld er imidlertid 0,10 % - grensen markert i alle kloridprofilene som er presentert i denne rapporten.

Det foreligger totalt 28 kloridprofiler fra underside kaidekke før rehabilitering i 1999. Kloridprofilene representerer alle deler av kaia som tilhører forsøksfeltet, både i kaias lengderetning (akse 41-47) og innenfor enkeltfelt (nær kaifront, nær bakvegg, midt mellom kaifront og bakvegg, nær østre bjelke, nær vestre bjelke og midt mellom østre og vestre bjelke). Resultatene viser med ett unntak at kloridinnholdet er høyere enn den anslåtte grenseverdien (0,10 % av betongvekt) i dybde 60-90 mm fra overflaten. For den siste prøven er tilsvarende dybde 50 mm.

Betongoverdekningen på underside dekket er oppgitt å være 50 mm. Resultatene viser at kloridinnholdet i nivå med armeringen i alle undersøkte deler av kaidekket er over anslått grenseverdi.

Det er i langt mindre grad tatt kloridprøver fra bjelkene, totalt er fremstilt 13 kloridprofiler i perioden 1990-99. Av disse er seks tatt fra akse 44, tre fra akse 45 og fire fra ukjente aksenummer. Prøvene fra bjelkene i akse 44 og 45 dekker imidlertid store deler av østre sideflate og fanger således opp eventuelle variasjoner over konstruksjonsdelen forårsaket av ulik miljøbelastning. Det påpekes imidlertid som mangelfullt at det ikke er tatt prøver fra underside bjelke, hvor kloridbelastningen må antas å være størst. Resultatene viser at kloridinnholdet i de undersøkte bjelkene er høyere enn den anslåtte grenseverdien (0,10 % av betongvekt) i dybde 50 - >90 mm fra overflaten.

Som for kaidekket er betongoverdekningen til armeringen i bjelkene oppgitt til 50 mm. Resultatene tyder på at også en svært stor andel av armeringen i bjelkene lå i betong med kloridinnhold over den anslåtte grenseverdien på rehabiliteringstidspunktet.

7.5.2 Underside dekke – variasjoner i kloridinnhold

7.5.2.1 Generelt

Før igangsetting av delprosjekt A ble det konkludert med at *”kloridnivåene i prøvefeltene må stort sett sies å være jevne. Det er ikke noe prøvefelt som skiller seg spesielt ut med hensyn til kloridbelastning når vi vurderer hvert enkelt kloridprofils maksimale kloridmåling (C_m), og ikke C_s -verdien.”* (Sitat fra/1/).

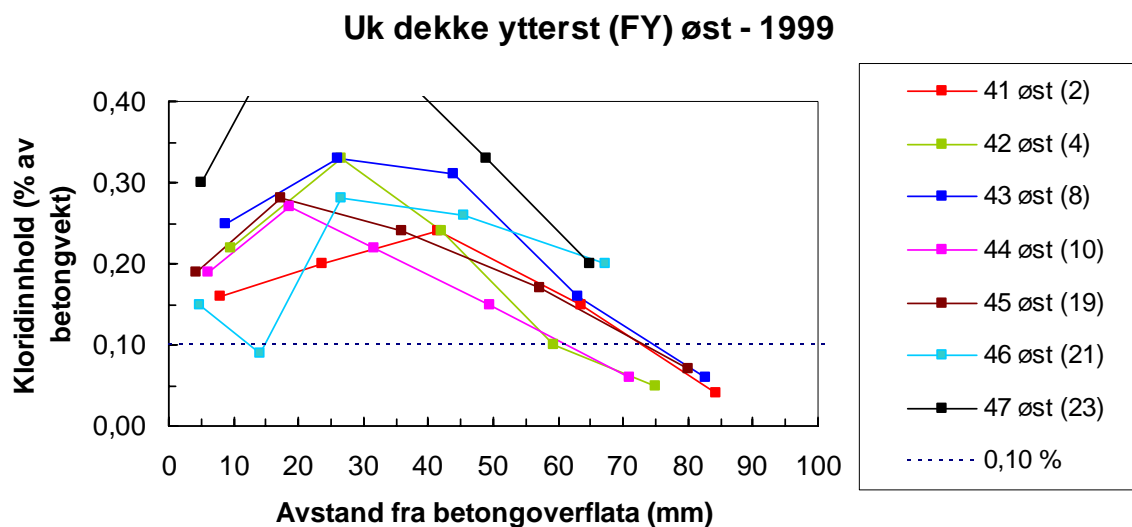
De beregninger som Selmer Skanska har gjort av diffusjonskoeffisienter (D) og overflatekonsentrasjoner (C_s) /1/ er ikke kontrollert eller vurdert i denne rapporten. Det er heller ikke gjort noe forsøk på å gjøre egne beregninger av tilsvarende verdier, i og med at dette er vurdert å være lite egnet til å sammenligne kloridbelastningen mellom feltene. Formen på profilene er ugunstig med tanke på slike beregninger og dybden av profilene er stedvis for liten.

Vurdering av kloridinntrengingen i de ulike feltene er i det etterfølgende basert på en visuell vurdering av selve kloridprofilene. Det tas i første rekke hensyn til helningen på kurven i de indre deler og ved hvilken dybde kurven krysser 0,10 %. Arealet under hver kurve, som gir uttrykk for den totale mengden inntrengte klorider, kan også vektlegges.

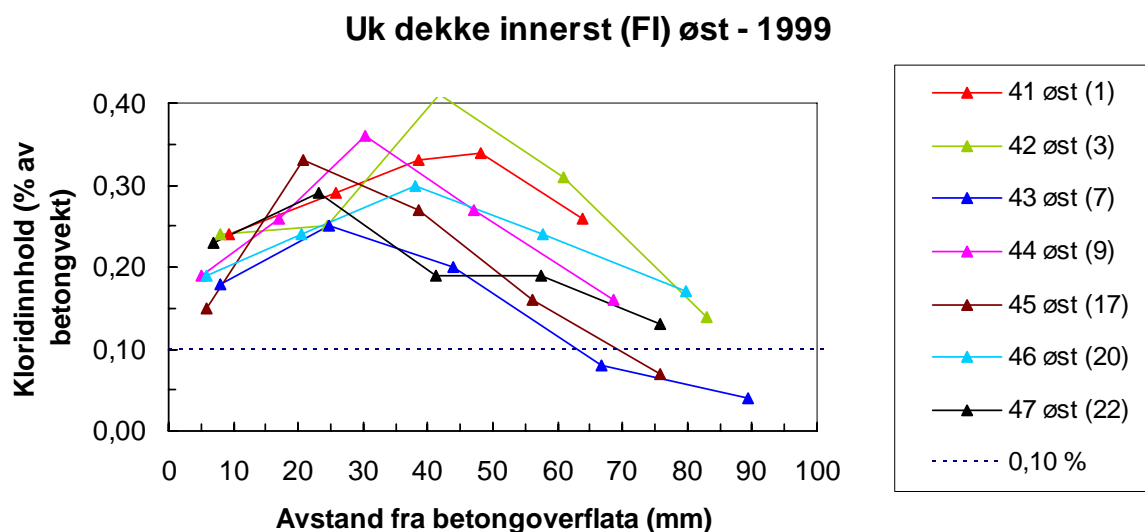
I de etterfølgende figurene er y-aksen modifisert i forhold til de opprinnelige (presentert i avsnitt 7.4) ved at maks-verdien er satt til 0,40 %.

7.5.2.2 Variasjoner mellom ulike dekkefelt:

For å vurdere forskjellene i kloridinntrenging mellom de ulike feltene er det tatt utgangspunkt i de østre kloridprofilene, se Figur 14 og 15.



Figur 14 Kloridprofiler fremstilt fra uk dekke ytterst (FY) øst



Figur 15 Kloridprofiler fremstilt fra uk dekke innerst (FI) øst

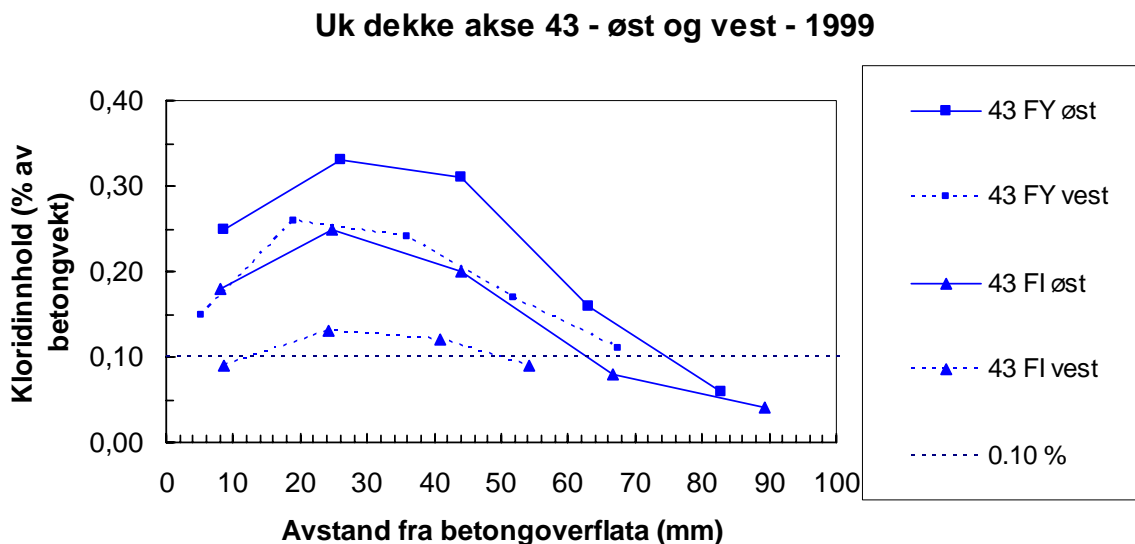
I ytre, østre del av dekkefeltene er det små forskjeller mellom indre del av profilene i felt 41, 43 og 45 og de har omtrent samme inntrengingsdybde. Felt 46 og 47 har sannsynligvis en dypere kloridinntrenging (hvis profilene hadde vært forlenget), mens felt 42 og 44 har en noe grunnere kloridinntrenging.

I indre, østre del av dekkefeltene er det noe større spredning mellom profilene. Hvis man kan si at felt 44 og 47 ligger på en middellinje, så ligger felt 41, 42 og 46 noe høyere (dypere inntrenging) og 43 og 45 noe lavere (grunnere inntrenging).

7.5.2.3 Variasjoner internt i samme dekkefelt:

Øst kontra vest:

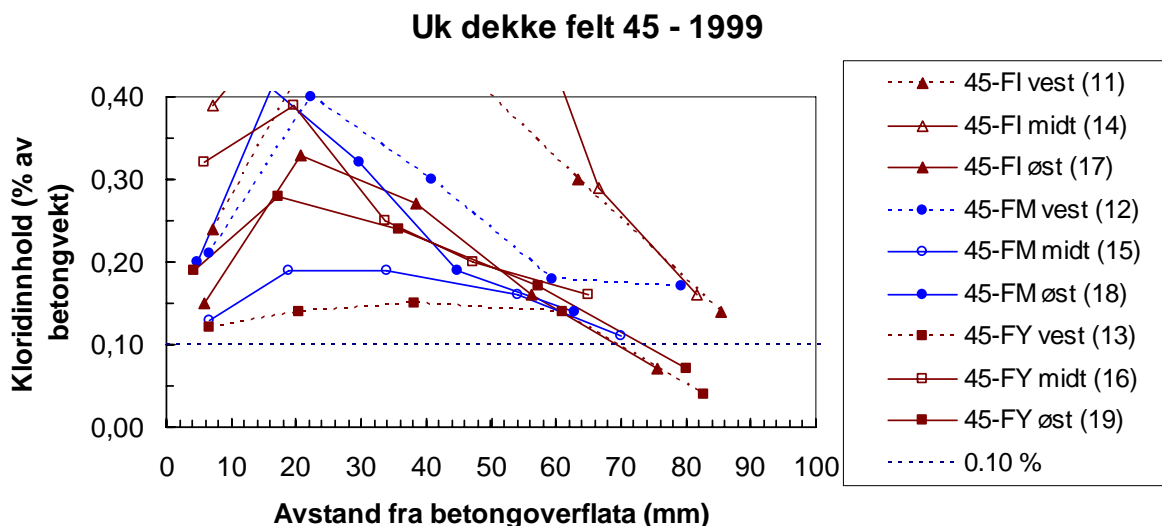
For **dekkefelt 43** er det tatt ut prøver både i østre og vestre del av dekket, hhv innerst og ytterst. Figur 16 viser kloridprofilene fra disse prøvepunktene.



Figur 16 Kloridprofiler fremstilt fra underside dekke i felt 43, hhv ca 2 m fra kaifront (FY) og ca 3 m fra bakvegg (FI). Profiler mrk "øst" er tatt ut ca 0,5 m fra østre bjelke og profiler mrk "vest" ca 0,5 m fra vestre bjelke.

Resultatene viser stor intern spredning mellom profilene. Kloridinntrengingen er størst i østre del av dekkefelt 43, både innerst (FI) og ytterst (FY). Videre er kloridinntrengingen størst ytterst, nær kaifront.

For **dekkefelt 45** er det tatt ut prøver både i østre, midtre og vestre del av dekket, hhv innerst, midt på og ytterst (se Figur 6). Figur 17 viser kloridprofilene fra disse prøvepunktene.

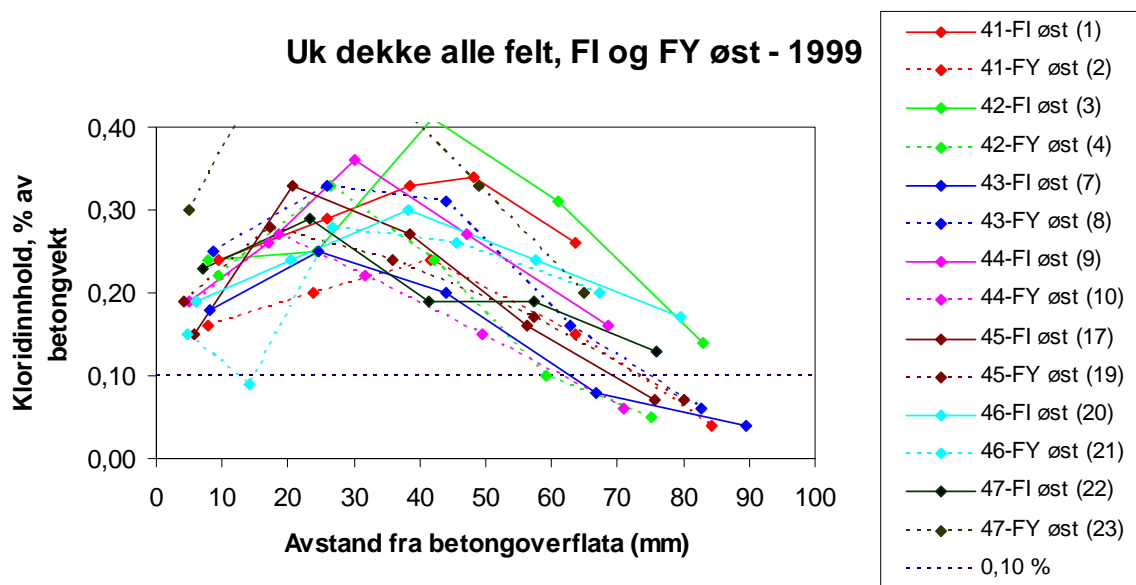


Figur 17 Kloridprofiler fremstilt fra underside dekke i felt 45, hhv ca 2 m fra kaifront (FY), ca 3 m fra bakvegg (FI) og ca 5,5 m fra bakvegg (FM). Profiler mrk "øst" er tatt ut ca 0,5 m fra østre bjelke, profiler mrk "vest" ca 0,5 m fra vestre bjelke og profiler mrk "midt" midt mellom bjelkene.

Resultatene viser en svært stor intern spredning mellom profilene, spesielt hvis man ser på kloridprofilenes maksimalverdier og totalt inntrengt mengde klorider (areal under kurven). Inntrengingsdybden varierer i mye mindre grad. Spesielt stor og dyp kloridinntrenging er målt innerst i dekket, hhv i midtre og vestre del, mens påfallende flate profiler er målt ytterst i vestre del av dekket og midt i dekket. Tendensen fra dekkefelt 43, med forhøyet kloridinnhold i østre kontra vestre del, er kun registrert ytterst i dekkefelt 45.

Innerst kontra ytterst:

I Figur 18 er kloridprofilene for indre og ytre del av dekkefeltene sammenstilt.



Figur 18 Kloridprofiler fremstilt fra underside dekke 0,5 m fra østre bjelke, hhv ca 2 m fra kaifront (FY) og ca 3 m fra bakvegg (FI)

Ser man på kloridprofilene har feltene 41, 42, 44 større kloridinntrenging innerst nær bakvegg enn ytterst nær kaifront. For felt 43 og 47 er situasjonen omvendt, mens det for felt 45 og 46 ikke registreres særlige forskjeller.

7.5.2.4 Oppsummering:

Alle sammenligninger av kloridinntrengingen i de ulike punkter er her gjort med det formål å identifisere eventuelle forskjeller i eksponeringsbetingelser (kloridbelastning). Variasjoner i kloridinntrenging vil imidlertid også opptre ved samme eksponering dersom det er forskjeller i betongkvalitet. Betong er et inhomogent materiale, og det kan være forskjeller i betongkvalitet innenfor samme støpeseksjon - og ikke minst mellom ulike støpeseksjoner. De ulike dekkefeltene i kaia dekker et stort areal og består således av flere støpeseksjoner, og det er naturlig at det er mindre forskjeller i betongens kloridmotstand over kaia.

En samlet vurdering av samtlige prøver uttatt fra dekket gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- Det er til dels store variasjoner i målt kloridinntrenging, både internt i enkeltfelt og mellom ulike felt i kaias lengderetning
- Det er registrert svært stor spredning i prøveresultatene internt i felt 45, mye større enn i prøveresultatene for samme lokalitet i de ulike feltene i kaias lengderetning
- Resultatene tyder ikke på at det er systematiske forskjeller i eksponeringsbetingelsene langs kaias lengderetning (f eks økende kloridinnhold med økende aksner, enkeltfelt som er systematisk mer eksponert, osv)

- I tre av dekkefeltene er det registrert større kloridinntrenging innerst nær bakvegg enn ytterst nær kaifront. For to dekkefelt er kloridinntrengingen størst ytterst nær kaifront, mens det for de to siste feltene er registrert små forskjeller.

Resultatene fra de innledende undersøkelser viser at det er svært viktig at prøver som tas ut for sammenligning av ulike felt i kaias lengderetning, tas ut i nøyaktig samme område i feltet. Resultatene viser videre at prøvelokaliteter for de etterfølgende undersøkelser (midt mellom bjelkene, hhv innerst mot bakvegg (FI), midt mellom bakvegg og kaifront (FM) og ytterst nær kaifront (FY) - se avsnitt 9.2) er fornuftig valgt med tanke på intern sammenligning av de ulike dekkefelt etter overflatebehandling.

7.5.3 Bjelker – variasjoner i kloridinnhold

Fra bjelkene er det tatt ut et relativt lite antall kloridprøver før igangsetting av rehabiliteringsarbeidene. Det finnes kun stedgitte prøver fra bjelker i akse 44 og 45. For de øvrige prøver er det ikke angitt spesifisert lokalitet (aksenr m.m.).

Fra bjelke i akse 44 er det tatt ut 6 prøver, alle lokalisert innenfor et areal på 0,3 m x 0,3 m (hhv 0,5 m og 0,8 m fra bakvegg og hhv 0,15 m, 0,30 m og 0,45 m fra uk bjelke). Den korte avstanden mellom prøvepunktene gjør at prøvene på mange måter kan betraktes som parallelle. På den annen side kan det i dette området av bjelken være lokale forskjeller i kloridbelastningen, f eks ved kloridsprut fra bakvegg. Kloridprofilene fra de ulike lokaliteter (Figur 12) viser avvikende fasong i ytre 40-50 mm, deretter er helningen på kurvene relativt lik, med de to prøvene uttatt 0,45 m fra uk bjelke som ytterlinjer. De to nederste prøvene (uttatt 0,15 m fra uk) har en fasong (avtagende, stigende og avtagende) som er forenlig med at prøvene er boret ut gjennom reparasjonsmørtel (fra 1983?) og inn i underbetong.

Fra bjelke i akse 45 er det tatt ut 3 prøver med ulik avstand i bjelkens lengderetning, hhv 3 m fra bakvegg (innerst), midt på (midt) og 2 m fra kaifront (ytterst). Resultatene i Figur 13 viser at kloridprofilene for de 3 lokalitetene er relativt like. Det er heller ikke store forskjeller mellom kloridprofilene i akse 45 og profilene i akse 44.

8 UTFØRELSE AV INITIELT ARBEID I FELT/LAB

8.1 Mekanisk reparasjon

Rehabiliteringsarbeidene i 1998 ble utført ved tradisjonell mekanisk reparasjon, etter at også katodisk beskyttelse var vurdert som alternativ utbedringsmetode.

Kloridinfisert betong ble fjernet ved vannmeisling til dybde ca 30 mm bak armeringen både på bjelker og i underside dekke (i praksis 100-110 mm dybde).

I prosjektets startfase ble det gjennomført en utprøving av ulike reparasjonsbetonger (resepter) og støpemetoder (våtspøyting kontra støping i form). Hvilke materialkombinasjoner og støpemetoder som er benyttet i de ulike deler av kaia fremgår av Tabell 2 (dekkefelt) og Tabell 3 (bjelker). FoU-prosjektet omhandler kun bjelke-/dekkefelt 39-48. Materialbruk i øvrige felt er også vist i tabellene (skyggelagte felt). Det bemerkes spesielt at utstøping og påføring av diverse spesialprodukter i disse feltene er utført av entreprenør, uten deltagelse av produktleverandører og uten spesifiserte utførelsesprosedyrer.

Tabell 2 Utprøvede materialkombinasjoner i de ulike dekkefelt

Dekkefelt nr	Sprøytebetong, resept 2, jfr Figur 19	Inhibitor, Sika Ferrogard 903, påført sprøytet flate	Alkalifri akselerator	PP-fiber	Cur-Cl	Betokem sprøyterep T4 (tørresprøytet)
1-4	X	X	-	X	X	-
5-10	X	-	X	X	X	-
11-38	X	X	X	X	-	-
39-46	X	-	X	X	-	-
47	-	-	-	-	-	X
48	X	-	X	X	-	-

Tabell 3 Utprøvede materialkombinasjoner/utstøpingsmetoder i de ulike bjelker

Bjelke, akse nr	Sprøytebetong, resept 2, jfr Figur 19, med pp-fiber. Sprøytet flate påført Rescon Cur-Cl og Sika Ferrogard 903	Støpt C35,	Støpt C45, resept 1, jfr Figur 19	Inhibitor, Sika Ferrogard 901, iblandet betongen	Rescon Silimp 100	Støpt C45 med slaggsement, resept 1, jfr Figur 19
1-5	X	-	-	-	-	-
6-7	-	X	-	-	-	-
8-9	-	X	-	-	X	-
10	-	X	-	-	-	-
11-12	-	X	-	-	X	-
13-38	-	-	X	X	-	-
39-43	-	-	X	-	-	-
44	-	-	-	-	-	X ^{*)}
45-48	-	-	X	-	-	-

*) De innerste 2 m av bjelken inngår i delprosjekt B og er påført sprøytebetong direkte på ikke vannmeislet underbetong.

- Sika Norge, Rescon og Mursto (Sto Norge) sine prøvofelt, samt alle referansefelt ble utbedret ved:
 - o Våtspøyting av betong med polypropylenfiber og alkalifri akselerator på underside dekke
 - o Utstøping i forskaling med pumpear C45 MA-betong på bjelkene

- Optiroc sitt prøvefelt ble utbedret ved:
 - o Tørrsprøyting med Betokem Sprøyterep T4 på underside dekke
 - o Utstøping i forskaling med pumpbar C45 MA-betong på bjelken

Betongreseptene er vist i Figur 19.

Resept nr:	1	2	4
	På kaia: Pumpebetong for reparasjon av bjelker	På kaia: Sprøytebetong for reparasjon av platefelt	På lab.: Rød underlagsbetong i prøveklosser
Sementtype	Anlegg- eller Slaggsement	Anleggsement	Standardsement
Sementmengde	485	485	300
Silika	25	25	0
Sand	930	930	970
Pukk	750	750	850
P-stoff	-	-	1
SP-stoff	10	10	-
Sika Ferroguard 901	varierer	varierer	-
Bayer fargepulver, Rød 130	-	-	11
v/c+s	0,39	0,39	0,60

Figur 19 Betongresepter for utførte reparasjoner på kai, samt utstøpte betongklosser i laboratorium /1/

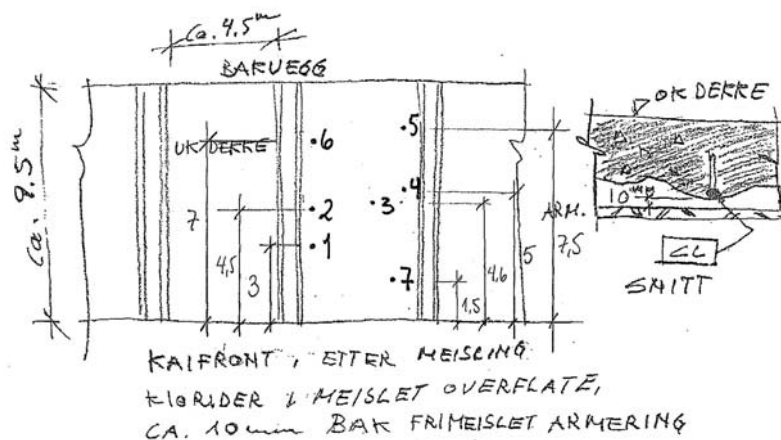
Datablad for den nederlandske slaggsementen finnes i VEDLEGG 2.

Alle gjenstøpingsarbeider ble utført av Entreprenørservice AS i perioden juni-juli 1999.

8.2 Kloridmålinger utført etter meisling (av Selmer Skanska i 1999)

Selmer har også målt kloridinnholdet i underbetongen (meislet overflate) etter at dekkearmeringen (uk) er frilagt til 10 mm bak armering. Prøvenes lokalitet i dekkfeltet fremgår av Figur 20-a. Hvilket dekkfelt prøvene er tatt fra er ikke oppgitt.

Målt kloridinnhold i ulike sjikt fremgår av Tabell 5 i VEDLEGG 1.

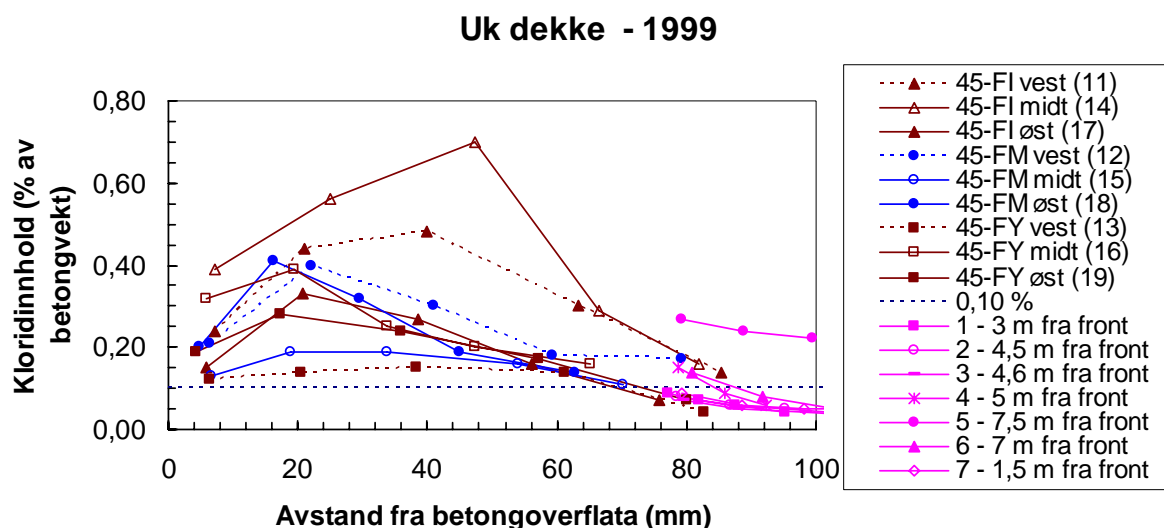


Figur 20-a Lokalitet av prøvepunkter i vilkårlig dekkfelt etter meisling til ca 10 mm bak armering /1/

I Figur 20-b er kloridverdiene plottet sammen med kloridprofilene fra dekkefelt 45 (Figur 9). Ved korrigering av verdiene på x-aksen for å relatere kloridverdiene til opprinnelig overflate er det lagt til grunn følgende verdier:

- Overdekning = 50 mm
- Armeringsdiameter = 16 mm
- Meislingsdybde bak armering = 10 mm

Altså et fast tillegg på ca 75 mm til de oppgitte sjiktdybder fra meislet overflate.



Figur 20-b Kloridprofiler fremstilt fra vilkårlig dekkefelt etter meisling til 10 mm bak armering (dvs anslått fra 75 mm dybde fra opprinnelig overflate). Kloridprofilene (rosa linjer) er sammenstilt med kloridprofiler fremstilt fra dekkefelt 45 før meisling, se Figur 9.

Det er god overensstemmelse mellom kloridprøvene tatt etter vannmeisling (i ukjent dekkefelt) og kloridprøver tatt før oppstart meisling i dekkefelt 45.

Resultatene viser at underbetongen i tre av lokalitetene har et kloridinnhold over 0,10 % ved gjenstøping.

8.3 Delprosjekt A – Kloridbremsende effekt av ulike overflatebehandlinger

8.3.1 Innledning

Materialleverandørene fikk tildelt hver sine dekke-/ bjelkefelt hvor de skulle påføre sine selvvalgte produkter i egen regi. Arbeidet ble utført i perioden juli-august 1999.

8.3.2 Mursto (nå: Sto Norge AS)

Mursto (Sto Norge) stilte krav om at underbetongen skulle ha minimum 28 døgns alder før påføring av deres produkter. Overflatebehandlingen ble utført 8.-10. august 1999, vel én måned etter at sprøytebetongen var påført (ferdig ca 1. juli) /4/. Det er rapportert /D13/ om godt vær, sol og ca 20-25 °C under utførelsen.

Mursto (Sto Norge) benyttet to ulike overflateprodukter:

- StoCryl HG 200 (bjelke/dekkefelt 41). En silanbasert gel som ble påsprøytet overflatene med en malersprøyte av typen Strobl, i ett strøk med tykkelse ca 0,8 mm.

- StoCrete FB (bjelke/dekkefelt 42). En elastisk, sementbasert slemmemasse som ble påsprøytet overflatene med samme sprøyte som nevnt over. Materialforbruk er oppgitt til 3-4 kg/m².

8.3.3 Sika

Overflatebehandlingen ble utført 6.-7. juli 1999, ca 1 uke etter at reparasjonsbetongen var påført. Det er rapportert /D10/ om fint sommervær, ca 20 °C under utførelsen. Arbeidene ble utført av Per Frode Rismark og Arne Vinorum.

I sin utførelsesrapport /D10/ har Sika påpekt at overflatene på underside dekke var svært ujevnt sprøytet, med grov overflatestruktur. Det ble også påpekt at det var problemer med sementslam på overflatene, spesielt på dragerne. De valgte derfor å prime overflatene med Sikagard 552 W Aquaprimer før påføring av SikaTop 106 Elastocem. I mangel på høytrykkspyleutstyr ble overflatene rengjort med en brannslange før overflatebehandling.

Sika benyttet tre ulike kombinasjoner av overflateprodukter:

- SikaTop 120 + Conservado 201 (bjelke/dekkefelt 45). Overflatene ble slemmet med SikaTop 120 i ett strøk. På bjelke og mindre deler av dekket ble produktet påført med kost (ca 3-4 kg/m²), på størsteparten av dekket med traktesprøyte og etterfølgende kosting (ca 5 kg/m²). 1-2 dager etter slemming ble bjelke og dekkefelt påført ett strøk Conservado 201 (ca 0,5 kg/m²), en silan-/siloksanbasert hydrofobierende impregnering (krem).
- SikaTop 106 Elastocem (bjelke 46). En sementbasert, elastisk slemmemasse som ble påført i 2 strøk (å ca 1,2 kg/m²). Første strøk ble sprøytet på og deretter kostet inn i overflaten, andre strøk påført med kost. Som nevnt over ble det påført en primer (Sikagard 552 W Aquaprimer) før slemming (ca 0,15 kg/m²).
- Conservado 201 (dekkefelt 46). Dekkefeltet var opprinnelig tiltenkt samme overflatebehandling som bjelke 46 (SikaTop 106 Elastocem), men pga problemer med å få kostet ut produktet på den ujevne overflaten ble det i stedet besluttet å påføre ett strøk Conservado 201 (ca 0,8 kg/m²), en silan-/siloksanbaserte hydrofobierende impregneringskrem.

8.3.4 Rescon

Overflatebehandlingen ble utført ca 16. juli 1999, vel én uke etter avsluttet betongsprøyting /4/. Det er rapportert /D12/ om en lufttemperatur på 22 °C under utførelsen.

I sin utførelsesrapport /D12/ har Rescon påpekt at den ujevne/grove overflatestrukturen på underside dekkefelt medførte problemer med påføring av slemmemassene, og at glattede flater hadde vært å foretrekke.

Rescon benyttet to ulike overflateprodukter:

- Rescon Murtett (bjelke/dekkefelt 40). Overflatene ble forvannet til svakt sugende før påsprøyting av Murtett med Tumac sprøyte. Slemmemørtelen ble blandet med drill og visp etter tilsetning av ca 10 liter vann pr 25 kg sekk. Det ble tilsatt luft i sprøytemunnstykket for å fordele massen. Forbruk ca 3 kg/m².
- Rescon CemElastic (bjelke/dekkefelt 43). Overflatene ble primet med Rescon E10 primer, påført med lavtrykkssprøyte ca 30 minutter før videre behandling. CemElastic ble påført med Tumac sprøyte. Det ble tilsatt luft i sprøytemunnstykket for å fordele massen. Forbruk ca 4 kg/m².

8.3.5 Optiroc

Overflatebehandlingen ble utført 7. juli 1999 /4/. Det er rapportert /D11/ om godt og varmt vær under utførelsen.

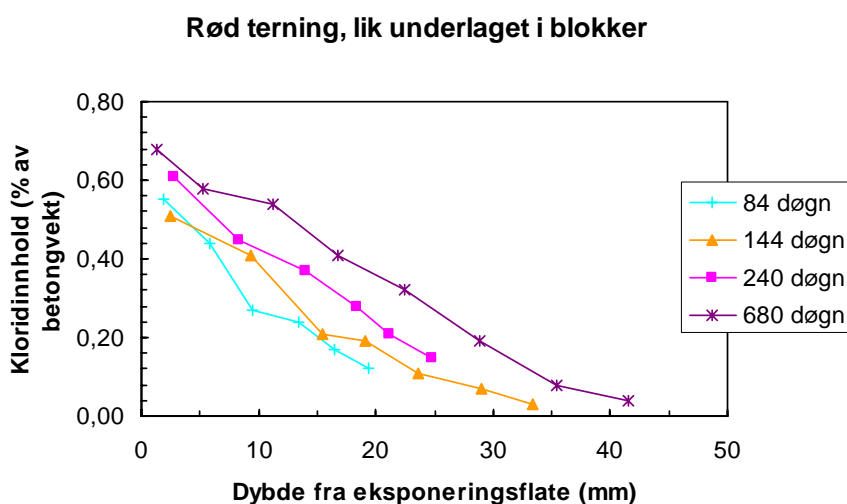
I sin utførelsesrapport /D11/ har Optiroc redegjort for reparasjons- og overflatebehandlingsprosedyren som følger:

- Utfylling av reparasjonssår utført med tørrsprøyting av Betokem T4 i to lag. Første lag ble påført slik at armeringen ble dekket. Dagen etter ble andre lag påført, etter forvanning av overflatene, slik at overdekningen ble minimum 50 mm. Det er opplyst at det ble tilført 1-2% vann før betongen gikk ned i sprøyta. Dette for å unngå problemer med støving og for å redusere prelltapet. Arbeidene ble utført av Entreprenørservice AS.
- Dagen etter fullført utstøping ble hydrofoberingsmidlene påført:
 - Silimp 240 (100% silan, tidligere Scancem sitt produkt) på halve dekkefelt 47 (høyre halvdel sett fra kaifront). Produktet ble påført i 2 omganger, totalt forbruk ca 0,6 liter/m².
 - Optiroc Impr. Cream på venstre halvdel av dekke felt 47 og bjelke i akse 47. Forbruk ca 0,8 liter/m².

8.4 Delprosjekt B – Kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsmørtel

8.4.1 Laboratorieprøving

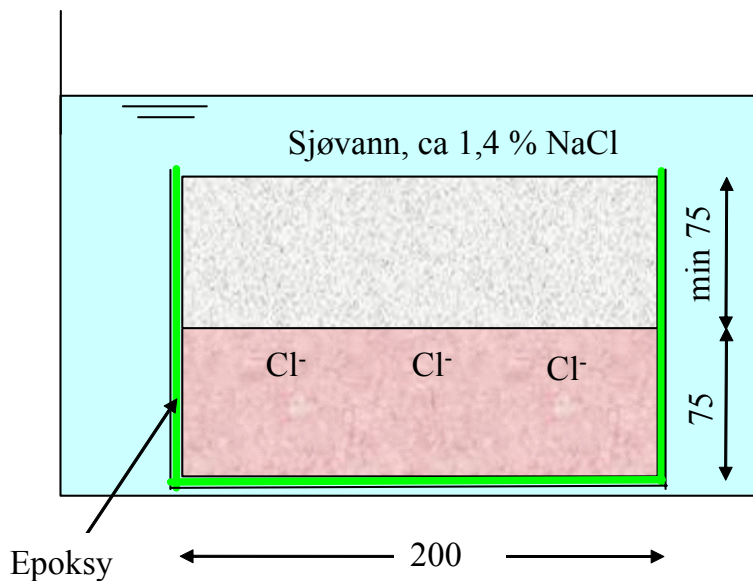
På Selmer Skankas laboratorium ble det iht /1/ støpt ut 6 stk prøvestykker av rødfarget C35-betong ($v/c = 0,60$), med dimensjon $200 \times 200 \times 75 \text{ mm}^3$. Betongresepten er gitt i Figur 19, resept nr 4. Etter utstøping ble prøvestykkene herdet 2 døgn i vannbad, deretter 80 døgn i 4 % NaCl-vann /5/ for å oppnå inntrenging av klorider i betongen. Initiell kloridinntrenging i prøvestykkene ble bestemt på en parallelt utstøpt og kloridlagret terning med samme betong som prøvestykkene /1/. Kloridinntrengingen i den utstøpte terningen er bestemt etter hhv 84, 144, 240 og 680 døgn lagring i 4 % NaCl-løsningen, se Figur 21-a.



Figur 21-a Kloridinntrenging i utstøpt rød terning etter lagring i 4% NaCl-løsning /1/

Etter 80 døgn lagring i kloridløsning ble blokkene påstøpt minimum 75 mm tykkelse av ulike reparasjonsbetonger. Deretter ble alle flater unntatt avstrykningsflata påført epoksy, før prøvene ble herdet i 40 døgn i ferskvann. Prøvene ble så eksponert i tanker med sjøvann fra Oslo-fjorden (ca 1,4 % NaCl-innhold), se Figur 21-b.

Tankene med prøvene ble lagret i Skankas laboratorier på Kjeller, ved temperatur ca 20 °C. For å holde kloridkonsentrasjonen rimelig stabil ble sjøvannet i tankene skiftet ut regelmessig (detaljerte prosedyrer ikke oppgitt). Datoer for start eksponering er ikke rapportert /1/.



Figur 21-b Prinsippskisse som viser tildannede prøvestykker med rød kloridholdig underbetong påstøpt reparasjonsbetong, lagret i saltvannstank.

De ulike mørtelkvalitetene var som følger:

- Blokk 11 og 12: Våtspøytet reparasjonsbetong C45 MA (resept 2 i Figur 19)
- Blokk 13 og 14: Påstøpt reparasjonsbetong C45 MA (resept 1 i Figur 19, med anleggssement)
- Blokk 15 og 16: Påstøpt reparasjonsbetong C45 MA (resept 1 i Figur 19, med nederlandsk slaggsement)

Kloridprofiler er fremstilt fra utboret betongstøv/utborede kjerner etter eksponering i sjøvann i hhv 1, 2 og 5 år.

8.4.2 Feltprøving

Som del av delprosjekt A ble bjelke i akse 44 reparert ved gjenstøping med betong med slaggsement, se Tabell 3. Den innerste delen av bjelken (ca 2 m fra bakplate) ble imidlertid ikke vannmeislet og dette partiet ble påsprøytet betong (resept 2 i Figur 19) direkte på opprinnelig betongoverflate, for oppfølging av kloriddiffusjon fra underbetong til reparasjonsbetong.

Før påsprøyting ble det gjort målinger av kloridinnholdet i betongen, se Figur 10 og 12.

9 PRØVINGSPROGRAM OG MERKESYSTEM

9.1 Generelt

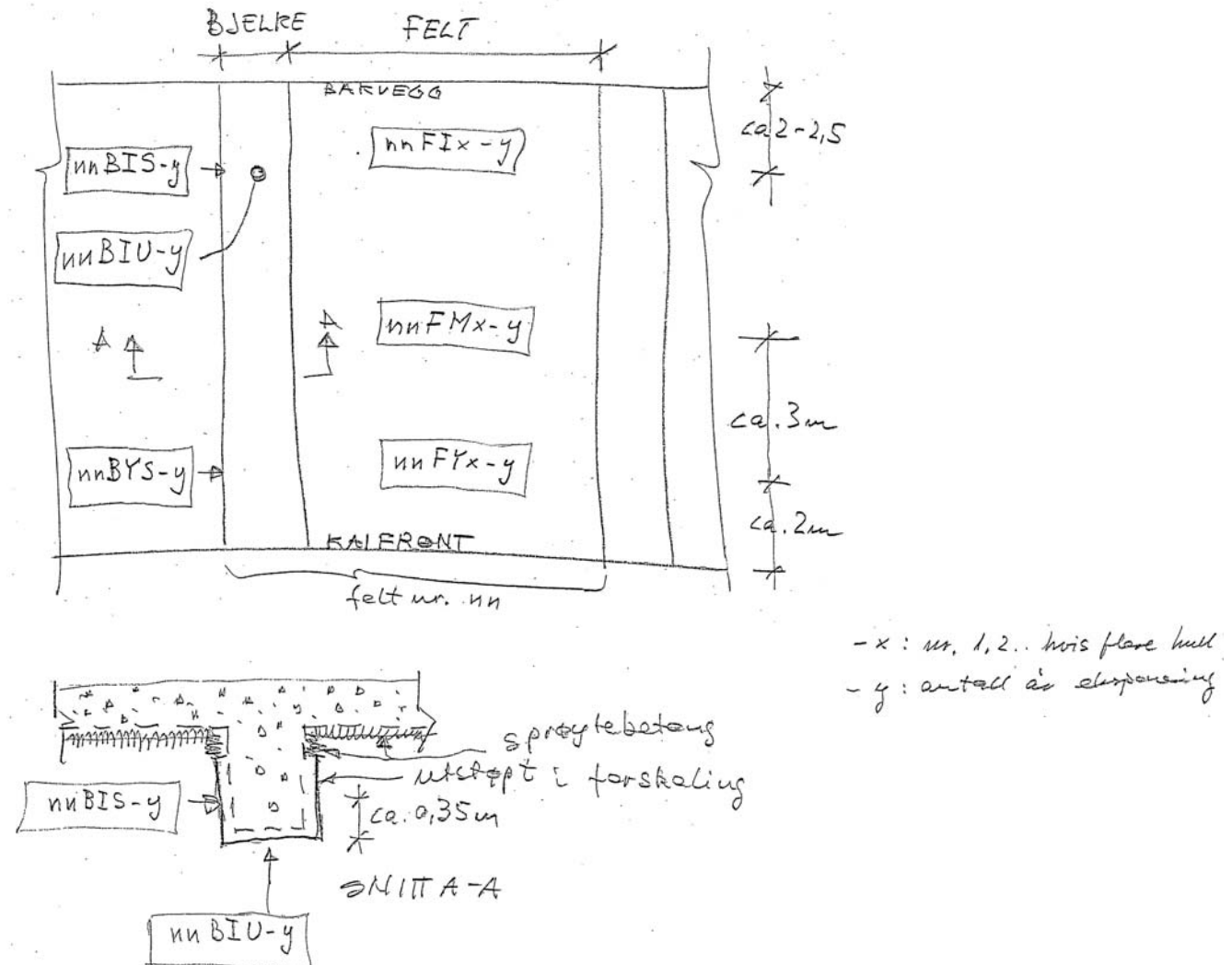
Ved oppstart av prøveprosjektet ble det lagt opp til å dokumentere kloridinntrengingen i betongen etter hhv 1, 2, 5, 10 og 15 år. Dette er fulgt opp frem til nå, med 5 års-prøving i 2004 og planlagt 10-årsprøving i 2009.

I tillegg til dokumentasjon av kloridinntrengingen er det utført undersøkelser av overflatebeleggenes heftfasthet, impregneringenes inntrengingsdybde og sprøytebetongens porøsitet ved ulike aldrer.

Hvilke typer/omfang av prøving som er utført ved de ulike prøvealdrer fremgår mer detaljert i kapittel 10, 11 og 12.

9.2 Prøvelokalitet og merkesystem

I forbindelse med første prøveuttak, etter 1 års eksponering, ble det etablert et system for prøveuttak med anvisning av prøvelokaliteter og merking av prøver. Lokalitet av prøver og merkesystem fremgår av Figur 22.



Figur 22 Lokalitet og merking av prøver i bjelker og dekkfelt /1/

Systemet innebærer merking iht følgende koder:

nnXYZ-y:

nn	angir felt-/aksenr, fra 39-48
X	angir konstruksjonsdel B: bjelke F: Felt (uk dekke)
Y	angir lokalitet på aktuell konstruksjonsdel I: Innerst, avstand 2-2,5 m fra bakvegg M: Midt, avstand midt mellom kaifront og bakvegg Y: Ytterst, avstand 2-2,5 m fra kaifront
Z	angir bjelkeflate eller prøvenummer i dekket S: Sideflate av bjelken, ca 0,35 m fra uk bjelke U: Undersiden av bjelken
y	siffer: angir prøvenummer innenfor hver prøvelokalitet i dekket angir eksponeringstiden i antall år

9.3 Resultatpresentasjon og produktkoding

De overflateproduktene som er inkludert i delprosjekt A kan deles inn i 3 ulike produktkategorier:

1. Vannavvisende (hydrofoberende) impregneringer (silan- eller silan-/siloksanbaserte produkter)
2. Elastiske, sementbaserte slemmemasser
3. Ikke-elastiske, sementbaserte slemmemasser

Hvilken kategori de ulike produktene hører innunder fremgår av Tabell 1.

Ved utarbeidelsen av denne rapporten ble det i forbindelse med resultatpresentasjonen innført fargekoding for de ulike produktkategorier:

Brun – Ikke-elastiske slemmemasser

Blå – Elastiske slemmemasser

Rosa – Vannavvisende impregneringsmidler

Svart – er benyttet for de ubehandlede referansefeltene

Turkis – er benyttet for bjelke i akse 44, reparert med betong med slaggsement

I tillegg til de overflatebehandlede feltene er det i regi av Oslo Havnevesen og Statens vegvesen også tatt ut prøver og fremstilt kloridprofiler fra bjelker i akse 4, 6, 12, 13 og 14, utstøpt med ulike betongvarianter (både betongresept og påføringsmetode), jfr Tabell 3. Disse kloridprofilene er presentert med **stiplede linjer**. Disse resultatene inngår formelt ikke i FoU-prosjektet og er derfor ikke gjort til gjenstand for vurderinger i kapittel 14. Resultatene er inkludert i hovedsak fordi de gir verdifull tilleggsinformasjon om kloridinntrengingen i ubehandlet betong.

10 1-ÅRS PRØVING UTFØRT 2000

10.1 Delprosjekt A – Kloridbremsende effekt av ulike overflatebehandlinger

10.1.1 Prøveprogram

Første prøveuttak etter overflatebehandling ble utført etter 1 års eksponering i august 2000.

Følgende prøveuttak og etterfølgende undersøkelser ble utført:

- Utboring av støvprøver for kloridanalyse (Selmer Skanska)
- Utboring av betongkjerner for fresing og kloridanalyser (Statens vegvesen, Vegdirektoratet)
- Utboring av kjerner og måling av inntrengingsdybde av ulike impregneringsprodukter
- Måling av heftfasthet i felt

Måling av inntrengingsdybde og heftfasthet er utført av Statens vegvesen (SVV), Vegdirektoratet.

Prøvingsomfanget fremgår av Tabell 4. Skyggelagte felt angir prøvesteder utenfor FoU-prosjektet.

Tabell 4 Oversikt over prøvingsomfang i 2000. Tall angir antall parallelle prøver pr lokalitet, bokstaver angir prøvingsmetode, se underskrift

Felt-/aksenr	Lokalitet							
	Dekkefelt				Bjelker			
	Selmer Skanska			SVV	Selmer Skanska			SVV
	FY	FM	FI	Udef. lokalitet	BYS	BIS	BIU	Udef. lokalitet
12								1K
13								1K
39	1K	3K	2K	4K	1K	1K	1K	-
40	1K	2K	1K	1K	1K	1K	1K	1H
41	1K	2K	1K	1K+1I	-	-	1K	-
42	-	-	1K	1K	1K	1K	1K	1H
43	-	-	1K	1K	-	-	1K	1H
44	-	-	1K	1K	1K	1K	1K	-
45	-	-	1K	1K	-	-	1K	1H
46	-	-	1K	1K+1I	-	-	1K	-
47					-	-	1K	-
47V	-	-	1K	1K+1I				
47H	1K	2K	1K	1K+1I				
48	-	-	-	4K				

K = kloridprofil

H = heftfasthet

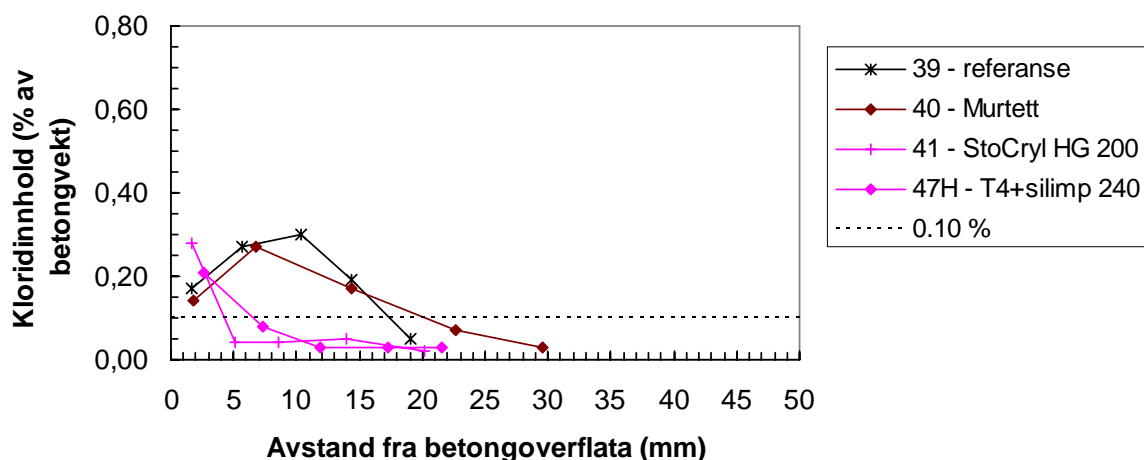
I = inntrengingsdybde

10.1.2 Kloridprofiler – Selmer Skanska

Selmer Skanska foretok utboring av betongstøv og analyse av kloridinnhold med minimum én prøve (profil á 4-7 sjikt) pr bjelke/dekkefelt. Hovedtyngden av prøvene fra bjelkene ble tatt ut fra lokalitet BIU (Bjelke Innerst Under), mens hovedtyngden av prøvene fra dekkefeltene ble tatt ut fra lokalitet FI (Felt Innerst). Fra enkelte bjelker/dekkefelt er det imidlertid også tatt ut prøver fra de andre lokalitetene, hhv BYS, BIS og FY, FM. I enkelte dekkefelt er det tatt ut flere profiler (parallelle prøver) pr lokalitet.

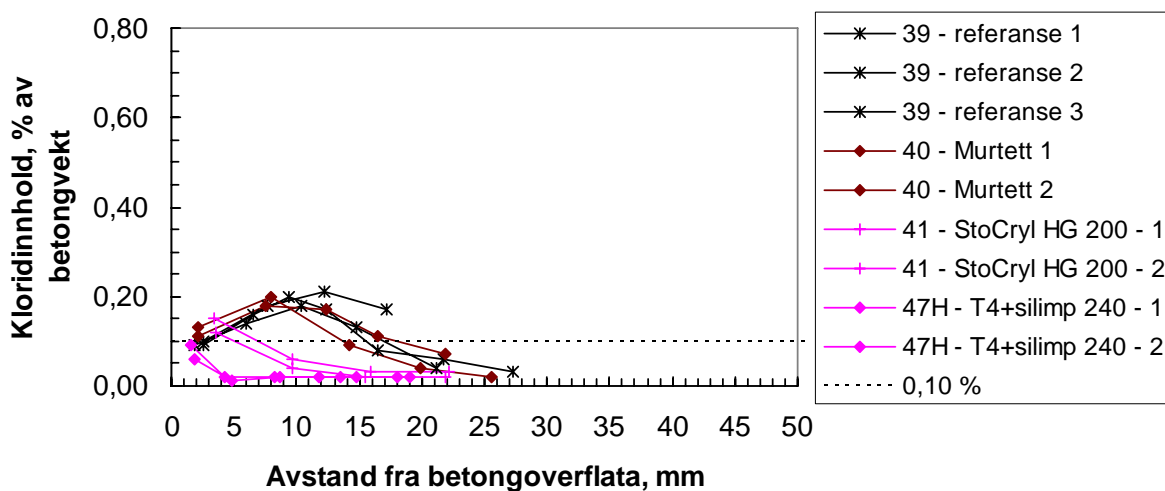
Målte kloridinnhold i de ulike prøvelokaliteter er gjengitt i Tabell 1 og 2 i VEDLEGG 3 og fremstilt grafisk i Figur 23-28.

Uk dekke ytterst (FY) - 2000

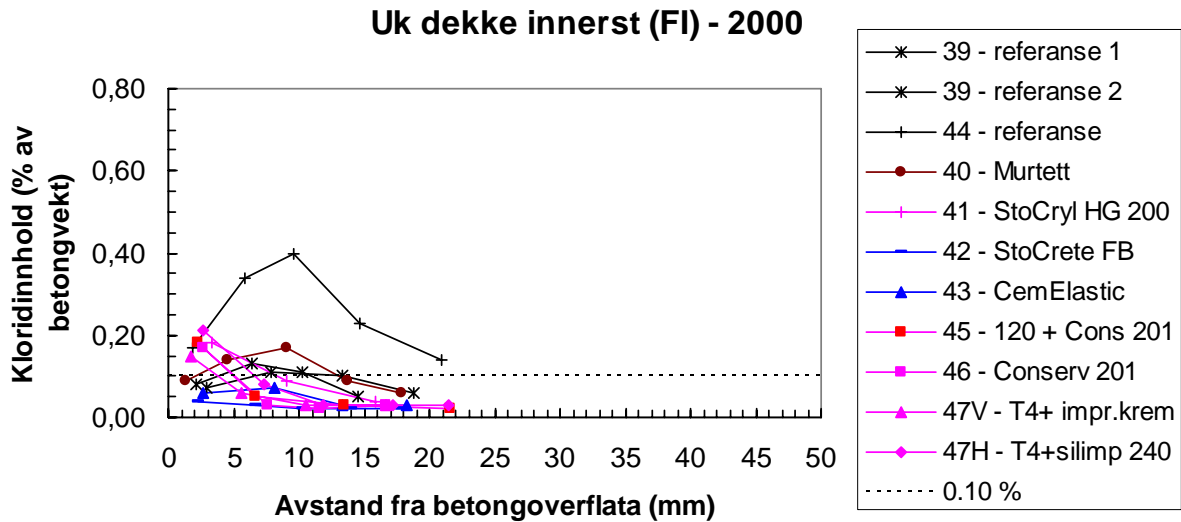


Figur 23 Kloridprofiler fremstilt fra dekkefelt 39, 40, 41 og 47H, lokalitet FY (ca 2 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

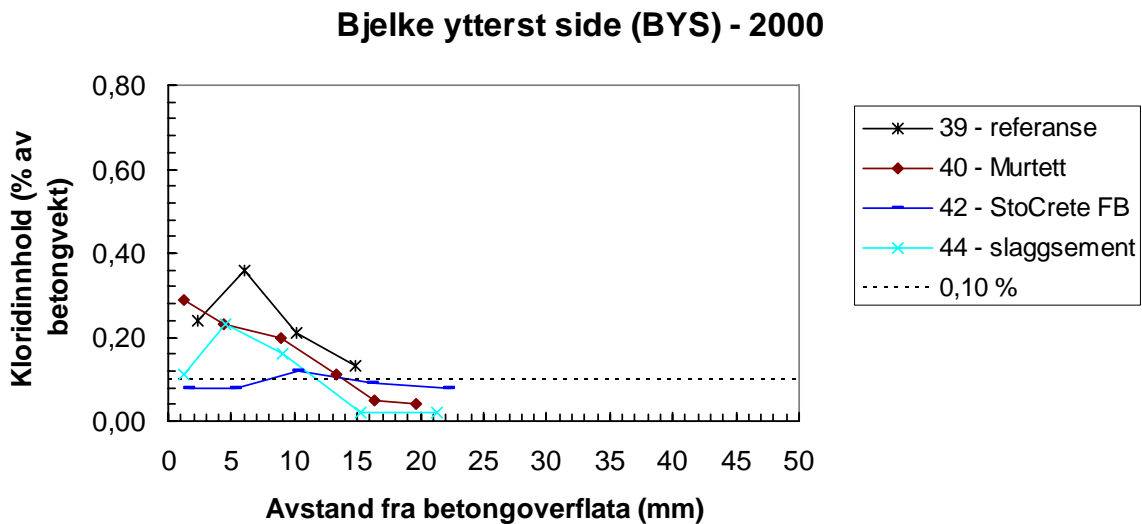
Uk dekke midt (FM) - 2000



Figur 24 Kloridprofiler fremstilt fra dekkefelt 39, 40, 41 og 47H, lokalitet FM (ca 5 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren. Det er fremstilt parallelle profiler fra alle dekkefelt.

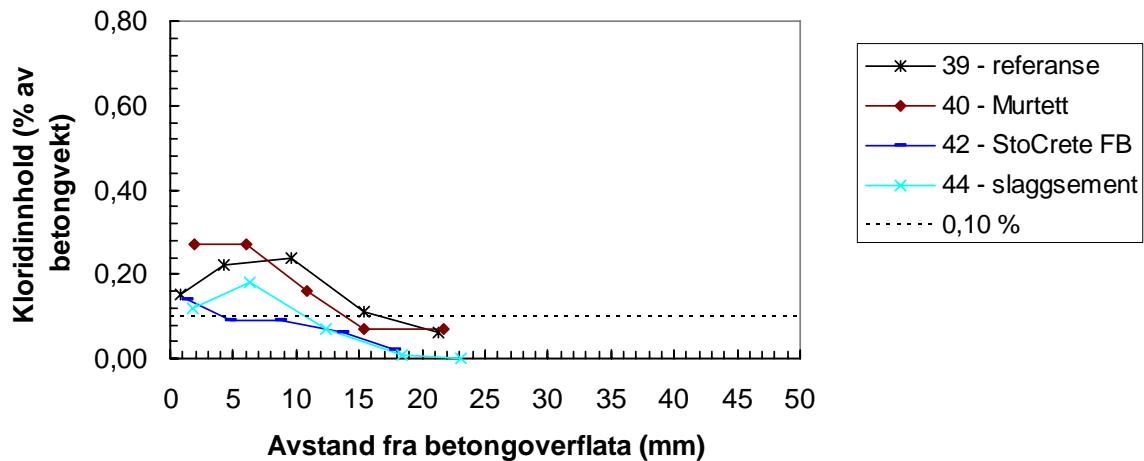


Figur 25 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige dekkefelt, lokalitet FI (ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.



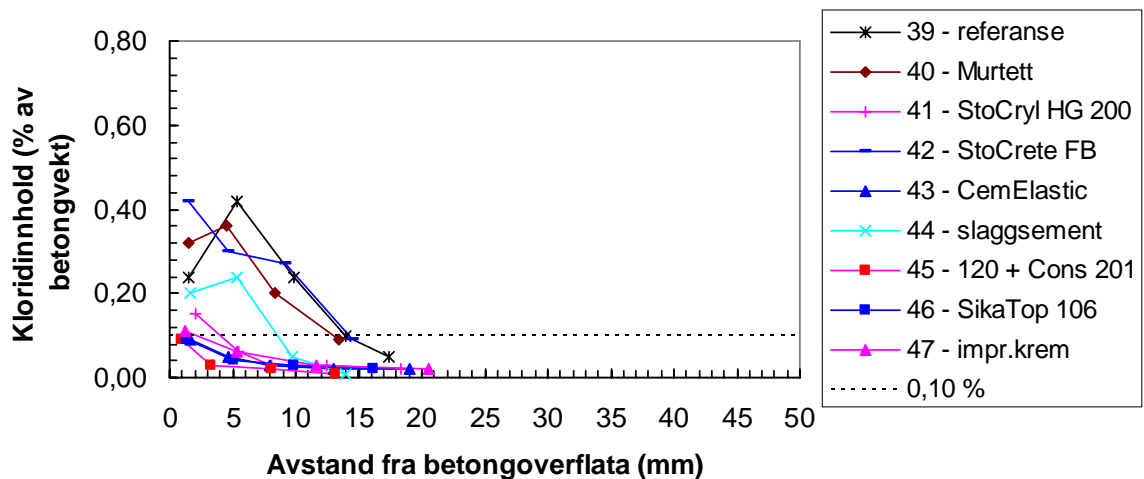
Figur 26 Kloridprofiler fremstilt fra bjelke 39, 40, 42 og 44, lokalitet BYS (ca 2 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

Bjelke innerst side (BIS) - 2000



Figur 27 Kloridprofiler fremstilt fra bjelke 39, 40, 42 og 44, lokalitet BIS (sideflate, ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

Bjelke innerst under (BIU) - 2000

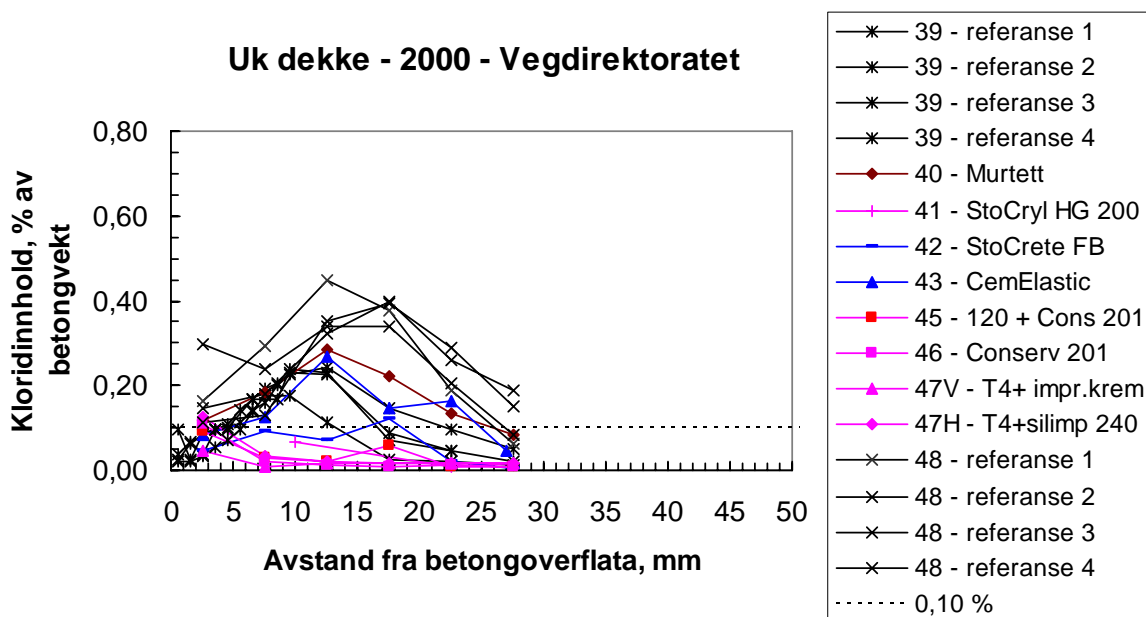


Figur 28 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige bjelker, lokalitet BIU (underside, ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

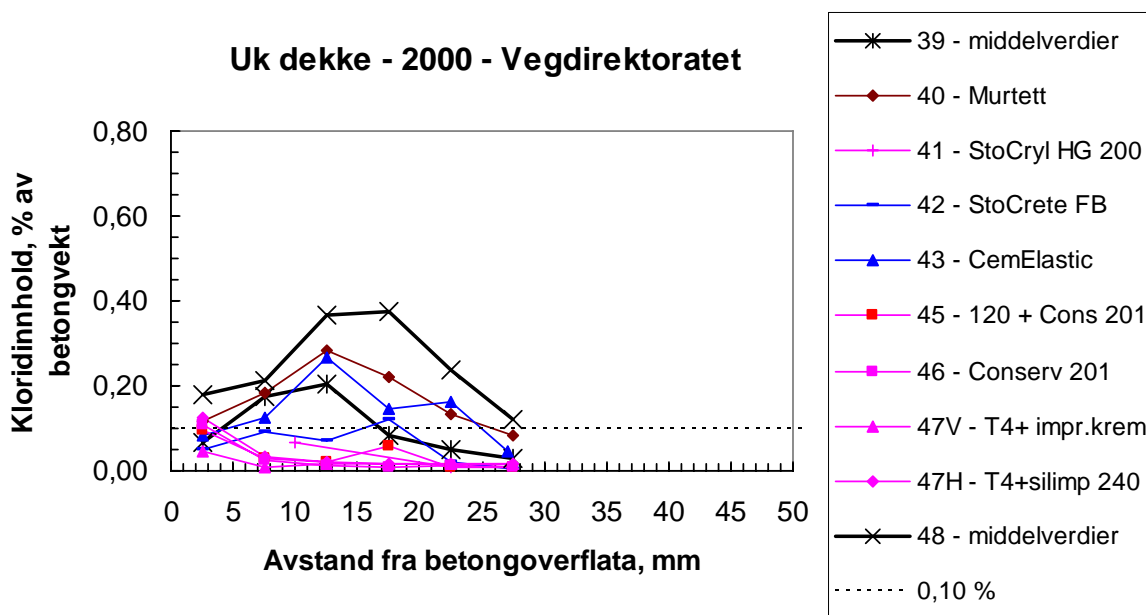
10.1.3 Kloridprofiler – Vegdirektoratet

Vegdirektoratet foretok utboring av én betongkjerne (ø 50 mm) pr dekkefelt for bestemmelse av kloridinntrenging. Nøyaktig lokalitet av kjernene innenfor hvert dekkefelt er ikke rapportert. Det ble i tillegg boret ut én kjerne fra hver av bjelke 12 og 13. Nøyaktig lokalitet av disse kjernene er heller ikke rapportert. Kjernene ble frest i 5 mm sjikt inn til 30 mm dybde og kloridinnholdet i hvert sjikt bestemt ved titrering.

Målte kloridinnhold i de ulike prøvelokaliteter er gjengitt i Tabell 3 i VEDLEGG 3 og fremstilt grafisk i Figur 29 (a og b) og 30.

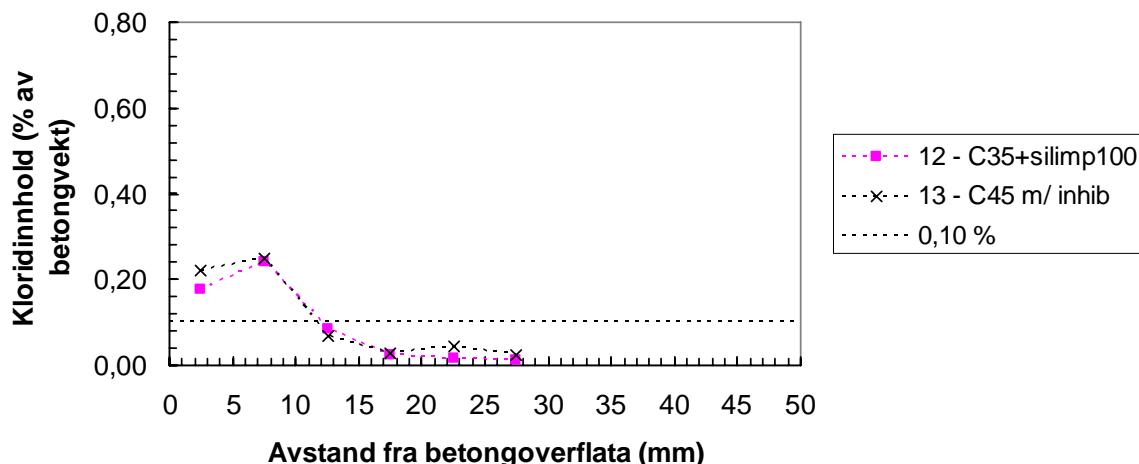


Figur 29a Kloridprofiler fremstilt fra samtlige dekkefelt. Detaljert lokalitet ikke kjent. Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.



Figur 29b Samme som Figur 29a, men her er presentert profiler basert på middelveier av 4 profiler for hhv referansefelt 39 og referansefelt 48

Bjelker - 2000 - Vegdirektoratet



Figur 30 Kloridprofiler fremstilt fra bjelker i akse 12 og 13 (utenfor FoU-prosjektet). Det er benyttet 2 ulike betongresepter i bjelkene (hhv C35 og C45). Bjelke i akse 12 har overflatebehandling i form av Rescon Silimp 100, mens bjelke i akse 13 har innblandet korrosjonsinhibitor i form av Sika Ferroguard 901

10.1.4 Heftfasthet – Vegdirektoratet

Heftfastheten mellom de ulike belegg og underbetongen ble undersøkt på bjelker i akse:

- 40 (Rescon Murtett)
- 42 (StoCrete FB)
- 43 (Rescon CemElastic)
- 45 (SikaTop 120, impregnert med Conservado 201)

Detaljert lokalitet av prøvested på hver bjelke er ikke rapportert.

Det bemerkes at det i /D22/ er oppgitt feil produkt på bjelke i akse 45. Iht Sikas utførelsesrapport /D10/ er bjelke i akse 45 påført SikaTop 120 + Conservado 201, og ikke SikaTop 106 som det står oppgitt i flere av de tidlige dokumentene fra prosjektet. SikaTop 106 er påført bjelke i akse 46.

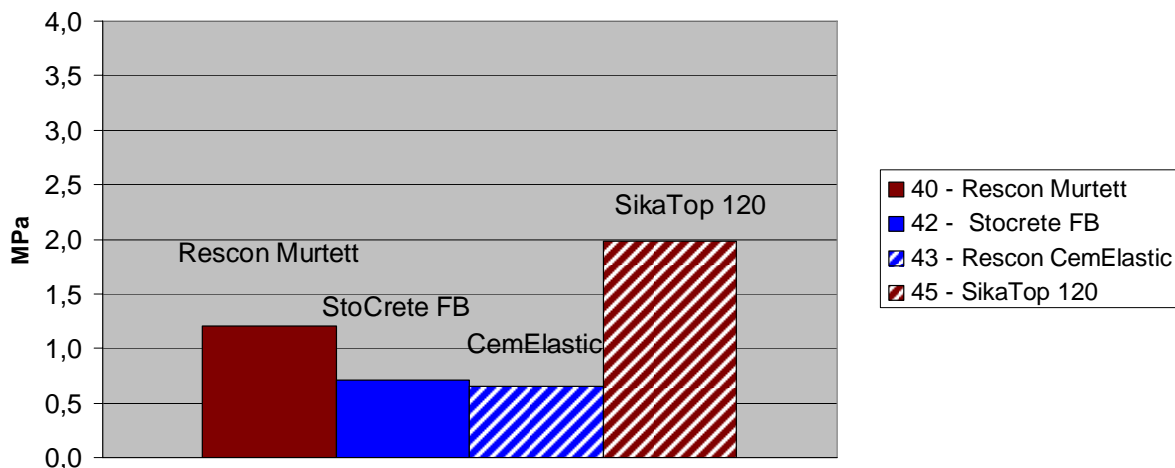
Prøvingen er utført ved at 4 stk sirkulære ø50 mm prøvekopper er limt til bjelkens overflate med epoksy. Det er foretatt boring rundt prøvekoppen og ca 15 mm inn i underbetongen. Prøvekoppen er påført en last vinkelrett på bjelkeflaten, økende til det oppsto brudd i underlaget. Bruddlasten dividert på arealet av prøvekoppen er oppgitt som heftfastheten i det aktuelle prøvepunktet. Bruddflaten er inspisert og det er beskrevet hvilke materialsjikt bruddet har gått mellom.

Hvert prøveresultat, middelverdien av 4 enkeltverdier, er gitt i Tabell 5 og fremstilt grafisk i Figur 31.

Alle enkeltresultater og observasjoner vedr bruddflaten er gitt i Tabell 4 i VEDLEGG 3.

Tabell 5 Målt heftfasthet på bjelker i 2000

Akse	Produkt	Heftfasthet, MPa	
		min-maks	middelerverdi
40	Rescon Murtett	0,9-1,6	1,2
42	StoCrete FB	0,5-0,8	0,7
43	Rescon CemElastic	0,5-0,8	0,7
45	Sika Top 120	1,6-2,2	2,0

Heftfasthet - bjelker 2000**Figur 31 Målt heftfasthet (middelerverdier) for ulike belegg. Blå stolper = elastiske slemmemasser, brune stolper = ikke-elastiske**

10.1.5 Inntrengingsdybder - Vegdirektoratet

Vegdirektoratet foretok utboring av betongkjerner (ø75 mm) for måling av inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringsmidler. Kjernene er boret ut fra dekkefelt 41, 46, 47V og 47H.

Målingene er utført iht SINTEFs metodebeskrivelse MB 71 127. Metoden gjennomføres ved at utborede kjerner splittes i to deler i lengderetningen og bruddflatene dyppes i vann. Impregnert sone av bruddflaten beholder den lyse fargen, mens ikke impregnert betong trekker vann og blir mørk grå. Avstanden fra den behandlede overflaten til fargeomslaget måles og bruddflaten fotografieres.

Resultater fra måling av inntrengingsdybder er vist i Tabell 6 og presentert grafisk i Figur 32.

Fotografier av bruddflatene etter dypping i vann er vist i Tabell 5 i VEDLEGG 3.

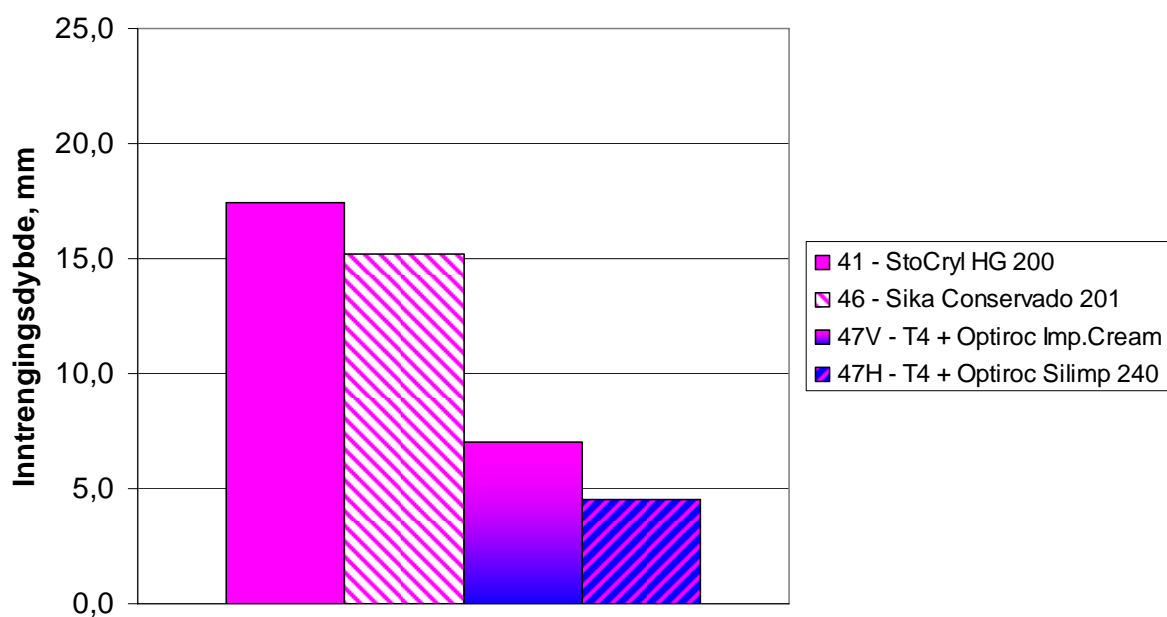
Tabell 6 Målt inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringer i 2000

Akse/ dekkefelt	Produkt	Inntrengingsdybde, mm
12 ^{*)}	C35 + Rescon Silimp 100	0
41	StoCryl HG 200	17,4
46	Sika Conservado 201	15,2
47V	T4 ^{**)} + Optiroc Impr.krem	7,0
47H	T4 ^{**)} + Optiroc Silimp 240	4,5

*) Prøvested utenfor FoU-prosjektet

**)Underbetongen er av tørrsprøytet betong Betokem T4. Øvrige dekkefelt er av våtsprøytet betong

Inntrengingsdybder - dekkefelt 2000



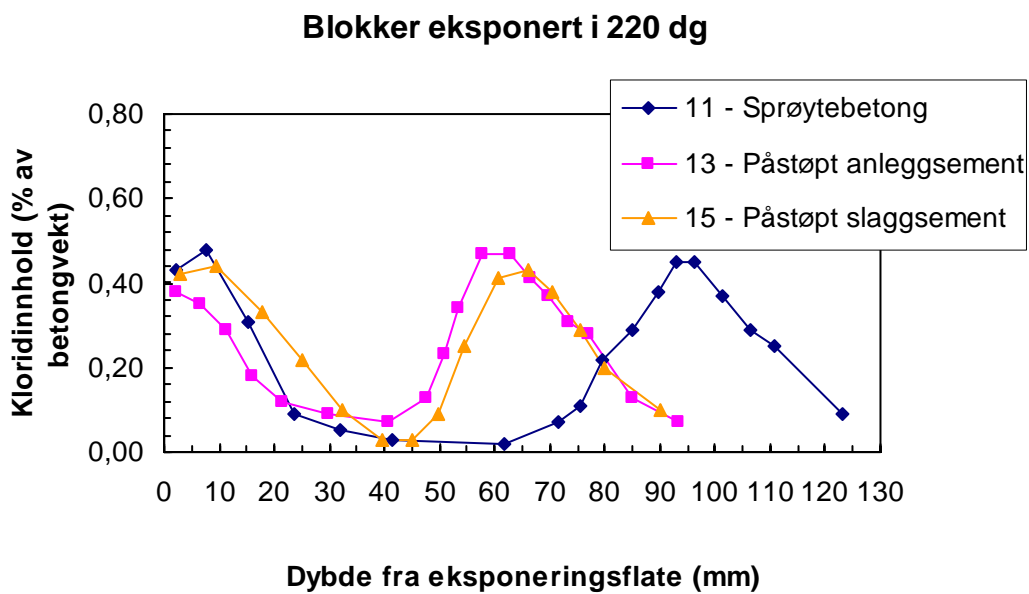
Figur 32 Målte inntrengingsdybder av vannavvisende impregnering på kjerner utboret fra dekkefelt 41, 46 og 47. Merk at dekkefelt 47 har avvikende underbetong (Betokem T4) i forhold til øvrige dekkefelt.

10.2 Delprosjekt B – Kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsmørtel

10.2.1 Kloridprofiler - laboratorium

Selmer Skanska foretok utboring av betongstøv og analyse av kloridinnhold med én prøve (profil) pr reparasjonsbetongvariant, hhv blokk 11, 13 og 15.

Målte kloridinnhold i de ulike blokkene er gjengitt i VEDLEGG 4 og fremstilt grafisk i Figur 33.



Figur 33 Kloridprofiler fremstilt fra laboriøstøpte blokker med reparasjonsbetong, etter 220 døgn eksponering i sjøvann i laboratorium

10.2.2 Kloridprofiler – felt

I 2000 ble det ikke tatt prøver fra sprøytet del av bjelke i akse 44. Første prøverunde ble gjennomført i 2001 etter 2 års eksponering i felt.

11 2-ÅRS PRØVING UTFØRT 2001

11.1 Delprosjekt A – Kloridbremsende effekt av ulike overflatebehandlinger

11.1.1 Prøveprogram

Andre prøveuttak etter overflatebehandling ble utført etter 2 års eksponering sommeren 2001. Følgende prøveuttak og etterfølgende undersøkelser ble utført:

- Utboring av støvprøver for kloridanalyse (Selmer Skanska)

En oversikt over antall prøver uttatt fra de ulike lokaliteter i 2001 er gitt i Tabell 7. Skyggelagte felt ligger utenfor FoU-prosjektet.

Tabell 7 Oversikt over Selmer Skanskas prøveuttak i 2001, antall parallelle prøver pr lokalitet

Felt-/aksenr	Lokalitet					
	Dekkefelt			Bjelker		
	FY	FM	FI	BYS	BIS	BIU
39	-	1K	1K	-	1K	1K
40	1K	1K	1K	1K	1K	1K
41	1K	1K	1K	-	-	1K
42	-	-	1K	1K	1K	1K
43	-	-	1K	-	-	1K
44	1K	1K	2K	1K	1K	1K
45	-	-	1K	-	-	1K
46	-	-	1k	-	-	1K
47				-	-	1K
47V	-	-	1K			
47H	1K	1K	1K			

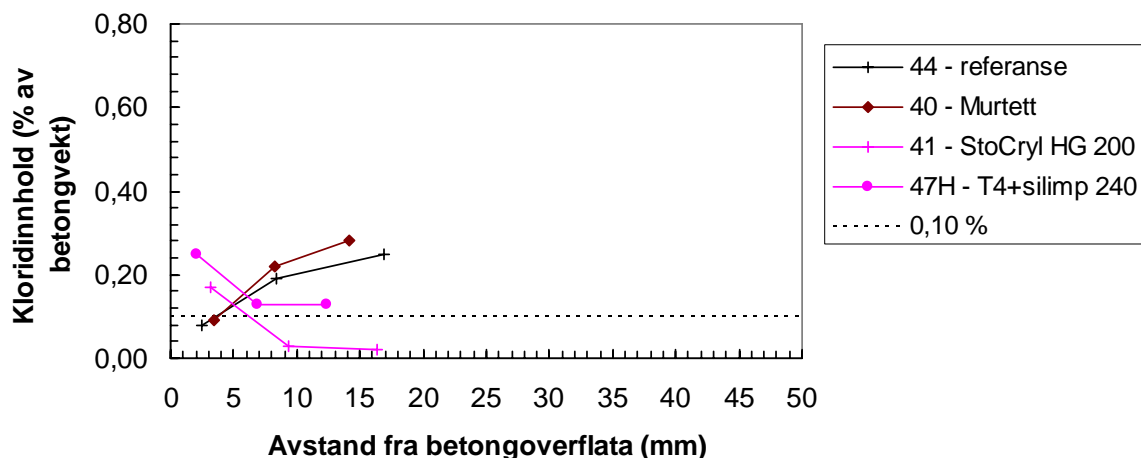
K = kloridprofil

11.1.2 Kloridprofiler – Selmer Skanska

Selmer Skanska foretok utboring av betongstøv og analyse av kloridinnhold med minimum én prøve (profil) pr bjelke/dekkefelt. Hovedtyngden av prøvene fra bjelkene ble tatt ut fra lokalitet BIU (Bjelke Innerst Under), mens hovedtyngden av prøvene fra dekkefeltene ble tatt ut fra lokalitet FI (Felt Innerst). Fra enkelte bjelker/dekkefelt er det imidlertid også tatt ut prøver fra de andre lokalitetene, hhv BYS, BIS og FY, FM. I ett dekkefelt (44) er det tatt ut to parallelle profiler i lokalitet FI.

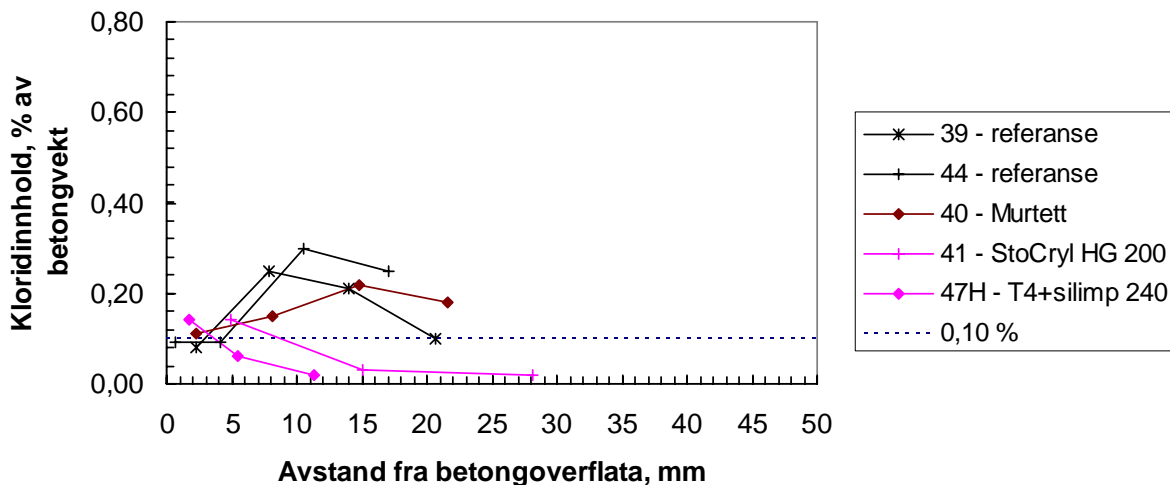
Målte kloridinnhold i de ulike prøvelokaliteter er gjengitt i Tabell 1-2 i VEDLEGG 5 og fremstilt grafisk i Figur 34-39 .

Uk dekke ytterst (FY) - 2001

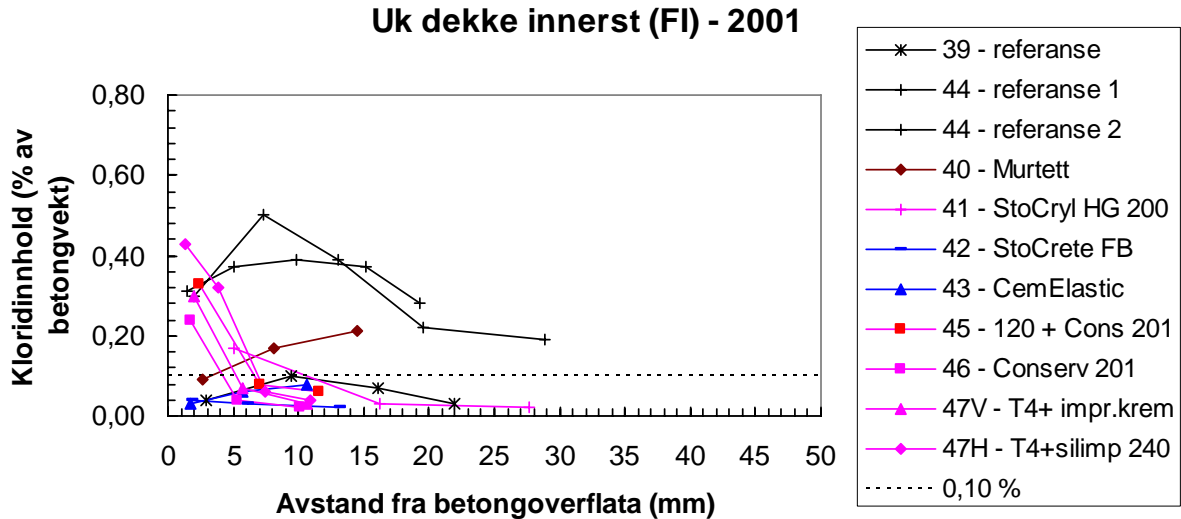


Figur 34 Kloridprofiler fremstilt fra dekkefelt 44, 40, 41 og 47H, lokalitet FY (ca 2 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

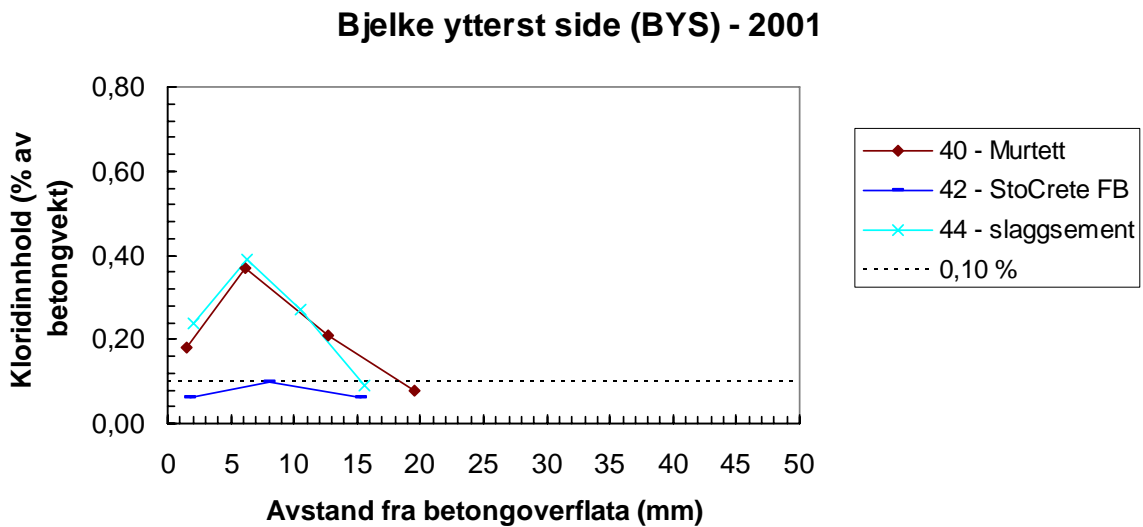
Uk dekke midt (FM) - 2001



Figur 35 Kloridprofiler fremstilt fra dekkefelt 39, 44, 40, 41 og 47H, lokalitet FM (ca 5 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren. Det er fremstilt parallelle profiler fra alle dekkefelt.

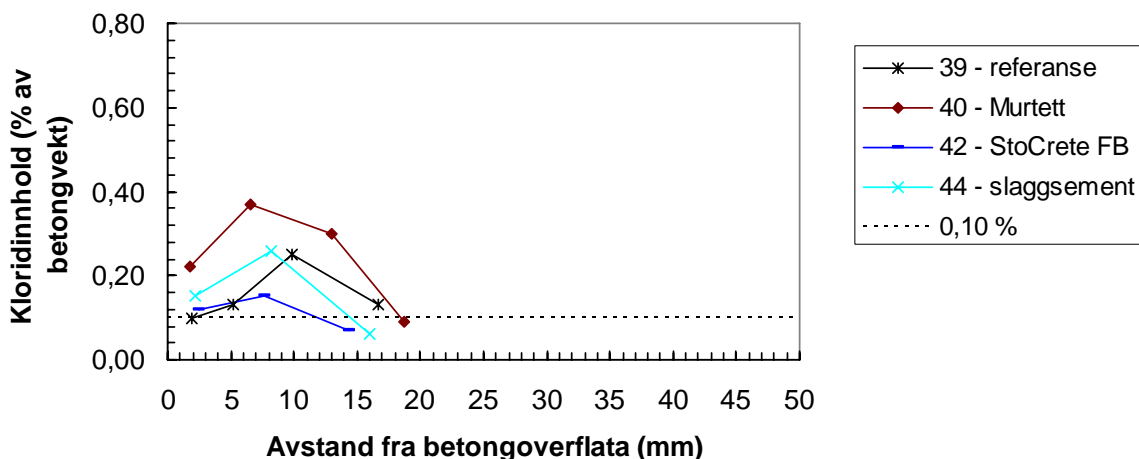


Figur 36 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige dekkefelt, lokalitet FI (ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren



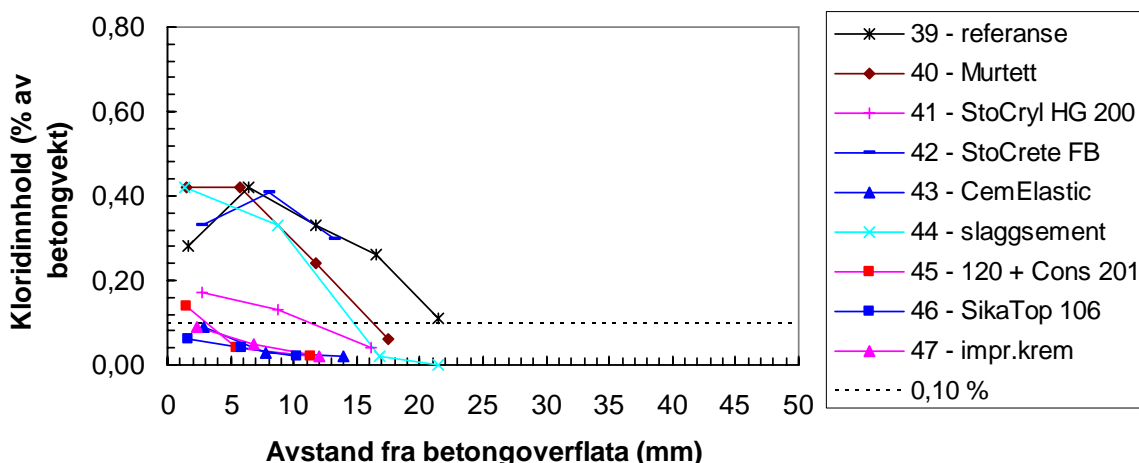
Figur 37 Kloridprofiler fremstilt fra bjelke 40, 42 og 44, lokalitet BYS (ca 2 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

Bjelke innerst side (BIS) - 2001



Figur 38 Kloridprofiler fremstilt fra bjelke 39, 40, 42 og 44, lokalitet BIS (sideflate, ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

Bjelke innerst under (BIU) - 2001



Figur 39 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige bjelker, lokalitet BIU (underside, ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

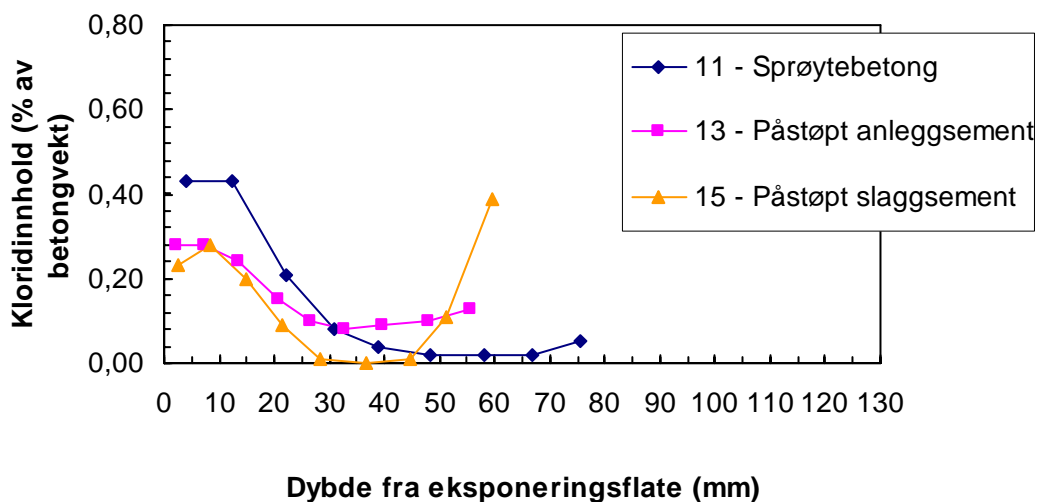
11.2 Delprosjekt B – Kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsmørtel

11.2.1 Kloridprofiler - laboratorium

Selmer Skanska foretok utboring av betongstøv og analyse av kloridinnhold med én prøve (profil) pr reparasjonsbetongvariant, hhv blokk 11, 13 og 15.

Målte kloridinnhold i de ulike blokkene er gjengitt i Tabell 1 i VEDLEGG 6 og fremstilt grafisk i Figur 40. Det er analysert flere sjikt enn de oppgitt i figuren, men resultatene fra disse analysene er ikke rapportert i /1/.

Blokker eksponert i 545 dg



Figur 40 Kloridprofiler fremstilt fra laboratoriestøpte blokker med reparasjonsbetong, etter 545 døgns eksponering i sjøvann i laboratorium.

11.2.2 Kloridprofiler – felt

Samtidig med utboring av betongstøv i delprosjekt A ble det foretatt utboring av betongstøv og analyse av kloridinnhold i to prøvelokaliteter i indre del av bjelke i akse 44. Denne delen av bjelken er påsprøytet betong uten foregående vannmeisling.

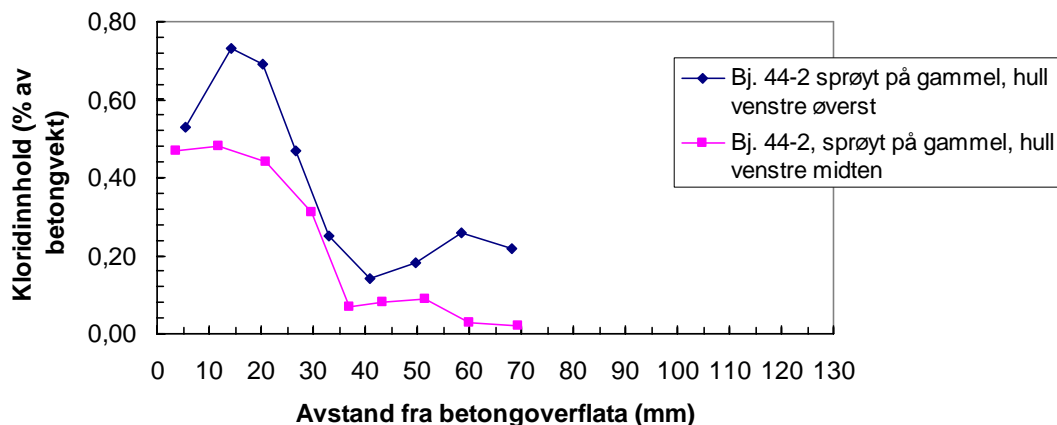
Prøvelokalitetene er benevnt hhv:

- hull venstre øverst
- hull venstre midten

Det antas at dette henspiller til lokalitet merket 24 og 25 i skisse i Figur 10.

Målte kloridinnhold i prøvelokalitetene er gjengitt i Tabell 2 i VEDLEGG 6 og fremstilt grafisk i Figur 41.

Profiler fra bjelke i akse 44 (påsprøytet direkte) - 2001



Figur 41 Kloridprofiler fremstilt fra indre del av bjelke i akse 44, etter 2 års eksponering

12 5-ÅRS PRØVING UTFØRT 2004

12.1 Delprosjekt A – Kloridbremsende effekt av ulike overflatebehandlinger

12.1.1 Prøveprogram

Tredje prøveuttak etter overflatebehandling ble utført etter 5 års eksponering i september-november 2004. Følgende prøveuttak og etterfølgende undersøkelser ble utført:

- Visuell inspeksjon i felt
- Utboring av betongkjerner (Entreprenørservice) for fresing og kloridanalyser (SINTEF)
- Utboring av betongkjerner og måling av inntrengingsdybde av ulike impregneringsprodukter
- Måling av heftfasthet i felt
- Utsaging av betongprismer og bestemmelse av vanninnhold og porøsitet

Visuell inspeksjon, måling av inntrengingsdybde, heftfasthet og vanninnhold/porøsitet er utført av Statens vegvesen.

En oversikt over prøvingsomfanget er vist i Tabell 8. Det er tatt kun én prøve pr metode/lokalitet (for heftfasthet er én prøveverdi definert som middelverdien av fire enkeltresultater). Prøvesteder utenfor FoU-prosjektet (akse 4-14, skyggelagt i tabellen) er utført i regi av Oslo Havnevesen.

Tabell 8 Oversikt over utført prøving i 2004. Tall angir antall parallelle prøver pr lokalitet, bokstaver angir prøvingsmetode, se underskrift

Felt-/aksenr	Lokalitet					
	Dekkefelt			Bjelker		
	FY	FM	FI	BYS	BIS	BIU
4	-	-	-	1K	1K	1K
6	-	-	-	1K	1K	1K
12	-	-	-	1K	1K	1K
14	-	-	-	1K	1K	1K
39	1K	1K+1P	1K	1K	1K	1K
40	1K	1K+1P	1K	1K+1H	1K+1H	1K+1H
41	1K+1I	1K+1I+1P	1K+1I	1K+1I	1K+1I	1K+1I
42	1K	1K+1P	1K	1K+1H	1K+1H	1K+1H
43	1K	1K+1P	1K	1K+1H	1K+1H	1K+1H
44	-	-	-	-	-	-
45	1K	1K+1P	1K	1K+1H	1K+1H	1K+1H
46	1K+1I	1K+1I+1P	1K+1I	1K	1K	1K
47				1K+1I	1K+1I	1K+1I
47V	1K+1I	1K+1I+1P	1K+1I			
471H	1K+1I	1K+1I+1P	1K+1I			
48	1K	1K+1P	1K	1K	1K	1K

K = kloridprofil

H = heftfasthet

I = inntrengingsdybde

P = porøsitet og vanninnhold

12.1.2 Visuell inspeksjon - Vegdirektoratet

Det ble gjennomført en visuell inspeksjon av hele prøvefeltet, samt bjelker i akse 4, 6, 12 og 14, i november 2004. Inspeksjonen ble gjennomført i november 2004 av Robert Dahl fra Vegdirektoratet og Jan Lindland fra Stærk & Co.

Alle registreringer er tegnet inn på skisser i /D28/ og oppsummert i Tabell 9.

Tabell 9 Oppsummering av visuelle registreringer i 2004 /D28/

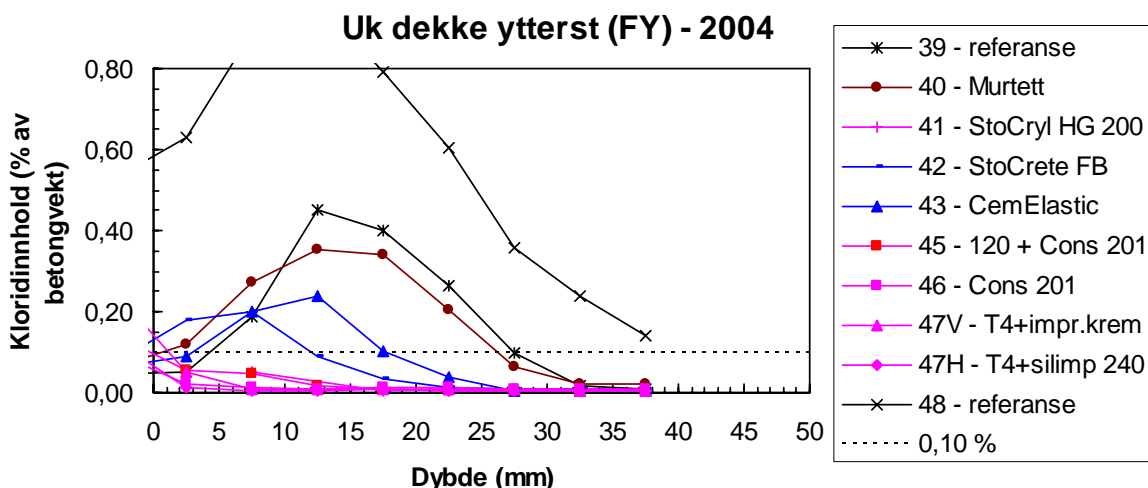
Akse/ dekkefelt	Kommentar
4	Ett skråriss på begge bjelkesider samt et par riss i underkant bjelke. Noe utluting i riss underkant bjelke. Ingen bom registrert.
6	Et par vertikale og horisontale riss på den ene bjelkesiden, ett mindre horisontalt riss i forkant bjelke, samt noe krakelering i underkant bjelke. Noe utluting i rissene. Ingen bom registrert.
12	Tre riss på bjelkesidene med noe utlutning langs ett riss.
14	Seks riss – tre riss på den ene bjelkesiden samt ett riss på øvrige tre bjelkeflater
39	Svært mye langsgående riss i underkant dekke samt enkelte (4) riss på bjelkeflatene. Utluting langs rissene.
40	Sprekker i overgangen bjelke/dekke med avskallingsskader, rustutslag, bom og utluting. Noe krakelering på den ene bjelkesiden. Støpesår ett sted. Ett riss i dekket. Noe bom i overgangen mot dekket.
41	Betydelig med riss både i dekket og på bjelkeflatene. Kalkutfelling langs en del riss. Noe lekkasje og misfarging/begroing.
42	Overflatebehandling dekker noe dårlig. Ellers er det lite riss – et par i dekket og ett på den ene bjelkesiden. Tegn til noe utlutning.
43	Betydelig med riss i dekket samt fire riss på den ene bjelkesiden og ett riss i forkant bjelke. Kalkutfelling/utluting langs rissene. Overflatebehandlingen dekker godt.
44	Et par riss i dekket med kalkutfelling. På bakre del av bjelken er det sprekker med kraftig rustutslag og bom – ikke reparert.
45	Ett riss i underkant dekke med kalkutfelling samt to mindre riss på bjelkeflatene.
46	Tre riss i underkant bjelke samt fire mindre riss på øvrige bjelkeflater. To mindre riss i underkant dekke. Kalkutfelling langs en del riss.
47	Betydelig med riss i underkant dekke og på bjelkeflatene. Kalkutfelling/utluting langs rissene. Fuktig langs overgangen mellom utstøping og sprøytebetong. I tillegg er det tegn til armeringskorrosjon i underkant bjelke.
48	Fire riss i underkant dekke samt betydelig med riss på bjelkeflatene – spesielt på den ene bjelkesiden. Kalkutfelling/utluting langs rissene. Noe lekkasje og misfarging/begroing.

12.1.3 Kloridprofiler – SINTEF

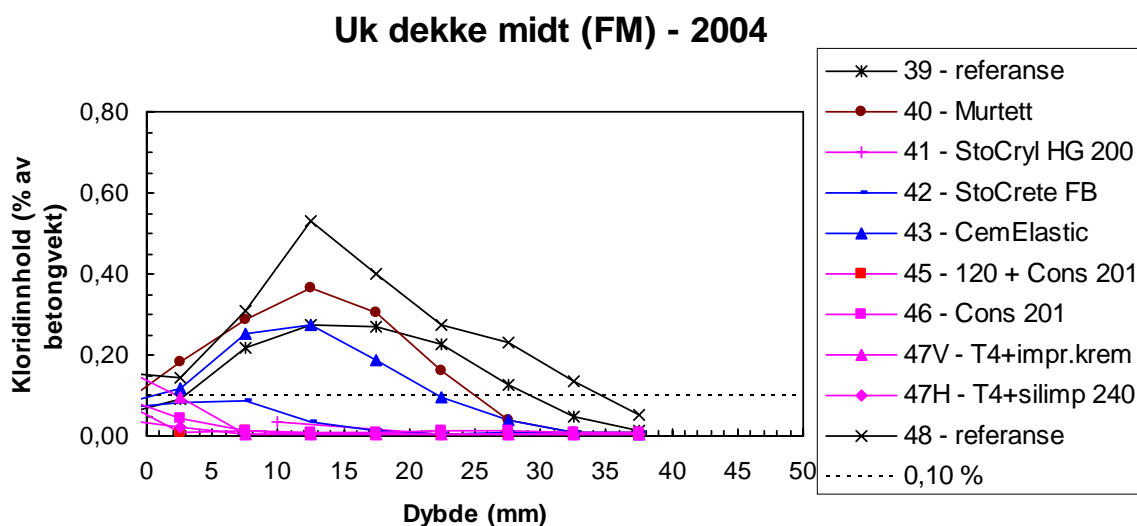
Entreprenørservice foretok utboring av betongkjerner med diameter 70 mm for fremstilling av kloridprofiler hos SINTEF. Det ble boret ut én betongkerne fra hver bjelke/dekkefelt i forsøksfeltet. I tillegg er det boret ut kjerner fra bjelker i akse 4, 6, 12 og 14. Kjernene ble mottatt hos SINTEF i september 2004. Fresing av støv ble utført fra 2 - 7 uker etter mottak av kjerner. I perioden mellom mottak av prøver og fresing ble prøvene oppbevart innpakket i plast ved + 5 °C.

Fotografier av alle utborede kjerner, prosedyre for fresing/kloridanalyser og alle kloridresultater finnes i SINTEF prøvingsrapport nr 70218 i VEDLEGG 7-1. Kloridprofilene fra de ulike lokaliteter er fremstilt grafisk i Figur 42-47.

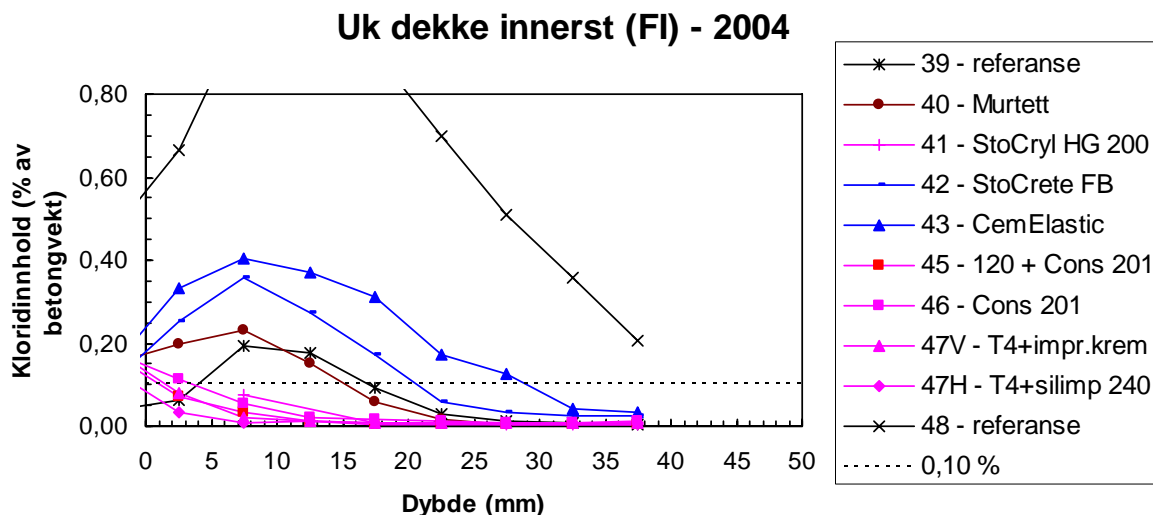
Mange kjerner, spesielt de med sprøytebetong, hadde en ujevn overflate. Ved fresing ble ”overflatenivå” (0-punktet på x-aksen) definert som den jevne flaten som fremkom etter at sprøytetapper/belegg/evt skjevheter var fjernet. Gjennomsnittlig tykkelse av dette sjiktet ble bestemt og kloridinnholdet analysert. I tabeller og figurer i VEDLEGG 7-1 fremstår sjiktet med negativ avstand fra 0-punktet. I etterfølgende figurer starter x-aksen på 0.



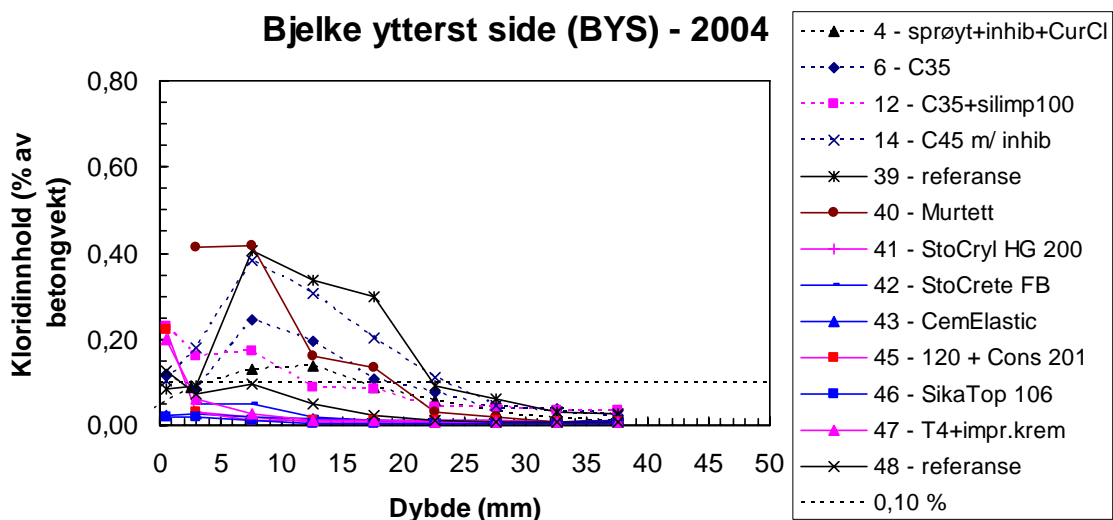
Figur 42 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige dekkefelt, lokalitet FY (ca 2 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren



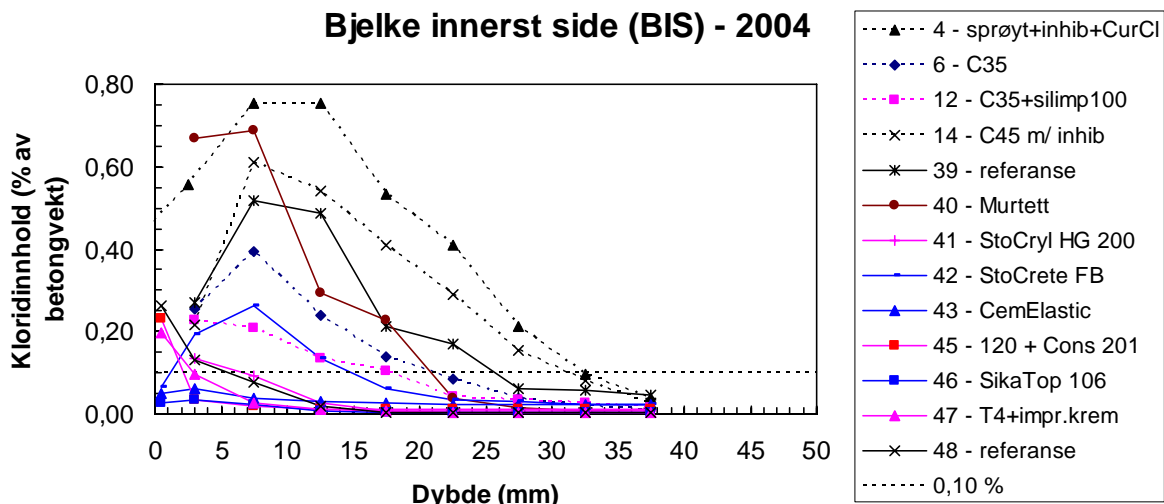
Figur 43 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige dekkefelt, lokalitet FM (ca 5 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren



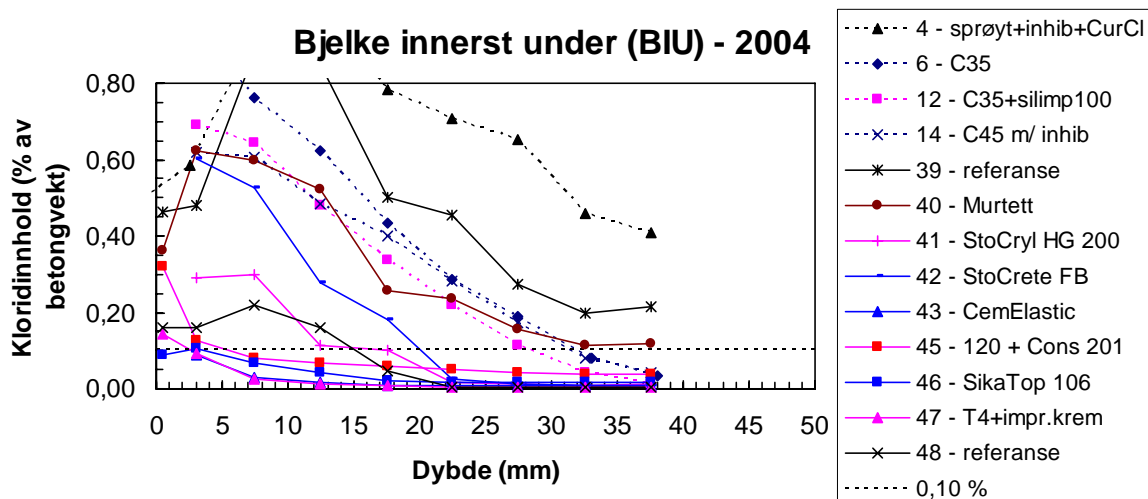
Figur 44 Kloridprofiler fremstilt fra samtlige dekkefelt, lokalitet FI (ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren



Figur 45 Kloridprofiler fremstilt fra bjelker i akse 4, 6, 12 og 14 (utenfor FoU-prosjektet) og samtlige bjelker innenfor prøvefeltet, lokalitet BYS (sideflate, ca 2 m fra kaifront). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.



Figur 46 Kloridprofiler fremstilt fra bjelker i akse 4, 6, 12 og 14 (utenfor FoU-prosjektet) og samtlige bjelker innenfor prøvelfeltet, lokalitet BIS (sideflate, ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.



Figur 47 Kloridprofiler fremstilt fra bjelker i akse 4, 6, 12 og 14 (utenfor FoU-prosjektet) og samtlige bjelker innenfor prøvelfeltet, lokalitet BIU (underside, ca 2 m fra bakvegg). Hvilke produkttyper som er påført de ulike felt fremgår av forklaringsboksen i figuren.

12.1.4 Heftfasthet - Vegdirektoratet

Heftfastheten mellom de ulike belegg og underbetongen ble undersøkt i oktober 2004, på bjelker i akse:

- 40 (Rescon Murtett)
- 42 (StoCrete FB)
- 43 (Rescon CemElastic)
- 45 (SikaTop 120, impregnerert med Conservado 201)

For hver bjelke er det tatt heftprøver i hver av lokalitetene BYS, BIS og BIU.

Prøvingen er utført ved at 4 stk sirkulære $\varnothing 50$ mm prøvekopper er limt til bjelkens overflate med epoksy. Det er foretatt boring rundt prøvekoppen og ca 15 mm inn i underbetongen. Prøvekoppen er påført en last vinkelrett på bjelkeflaten, økende til det oppstår brudd i underlaget. Bruddlasten dividert på arealet av prøvekoppen er oppgitt som heftfastheten i det aktuelle prøvepunktet. Bruddflaten er inspisert og det er beskrevet hvilke materialsjikt bruddet har gått mellom.

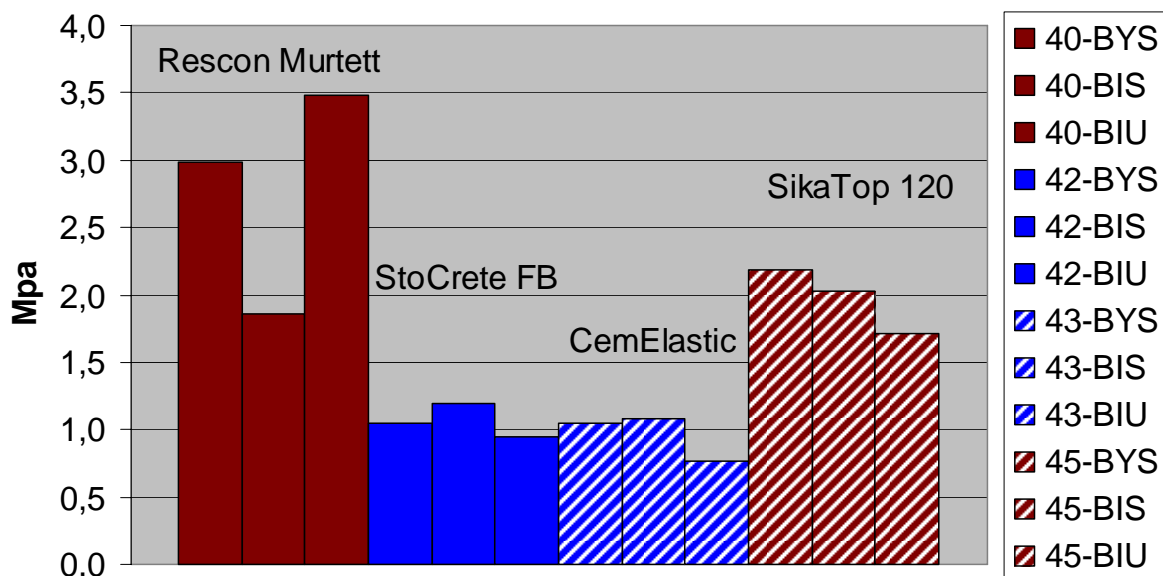
Hvert prøveresultat, dvs middelværdien av 4 enkeltverdier pr lokalitet, er gitt i Tabell 10 og framstilt grafisk i Figur 48. Middelværdien for hver bjelke er også gitt i Tabell 10.

Alle enkeltresultater og beskrivelser av bruddflatene er gitt i Tabell 1 i VEDLEGG 7-2. En relativt stor andel av prøvestykkene har delvis brudd mellom prøvekopp/epoksy og belegg, og for om lag halvparten av prøvestykkene er $\geq 50\%$ av bruddet gått mellom prøvekopp/epoksy og belegg (det er ingen store forskjeller mellom produktene). Det er ikke tatt hensyn til dette ved beregning av middelværdier (alle enkeltprøver er inkludert), og heftfasthetene for enkelte produkter/lokalteter kan således være underestimert.

Tabell 10 Målt heftfasthet av belegg på bjelker, middelværdier pr lokalitet og pr bjelke

Akse	Produkt	Lokalitet	Heftfasthet, MPa		
			Pr lokalitet		Middel pr bjelke
			min-maks	middel	
40	Rescon Murtett	BYS	2,7-3,2	3,0	2,8
		BIS	1,1-3,3	1,9	
		BIU	3,2-3,8	3,5	
42	StoCrete FB	BYS	0,7-1,5	1,1	1,1
		BIS	1,1-1,4	1,2	
		BIU	0,8-1,1	0,9	
43	Rescon CemElastic	BYS	0,8-1,3	1,1	1,0
		BIS	0,6-1,3	1,1	
		BIU	0,5-1,0	0,8	
45	Sika Top 120	BYS	1,8-2,6	2,2	2,0
		BIS	1,8-2,2	2,0	
		BIU	1,3-2,1	1,7	

Heftfasthet - bjelker 2004



Figur 48 Målt heftfasthet (middelverdier) for ulike belegg. Blå stolper = elastiske slemmemasser, brune stolper = ikke-elastiske

12.1.5 Inntrengingsdybder - Vegdirektoratet

Vegdirektoratet foretok utboring av betongkjerner (ø75 mm) i oktober 2004 for måling av inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringsmidler. Kjernene er boret ut fra dragere i akse 41 og 47 og dekkefelt 41, 46, 47V og 47H.

Målingene er utført iht SINTEFs metodebeskrivelse MB 71 127. Metoden gjennomføres ved at utborede kjerner splittes i to deler i lengderetningen og bruddflatene dyppes i vann. Impregnerert sone av bruddflaten beholder den lyse fargen, mens ikke impregneret betong trekker vann og blir mørk grå. Avstanden fra den behandlede overflaten til fargeomslaget måles og bruddflaten fotograferes.

Resultater fra måling av inntrengingsdybder er vist i Tabell 11 og 12 og presentert grafisk i Figur 49 og 50.

Fotografier av bruddflatene etter dypping i vann er vist i Tabell 2 i VEDLEGG 7-2.

Tabell 11 Målt inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringer, uk dekke, 2004

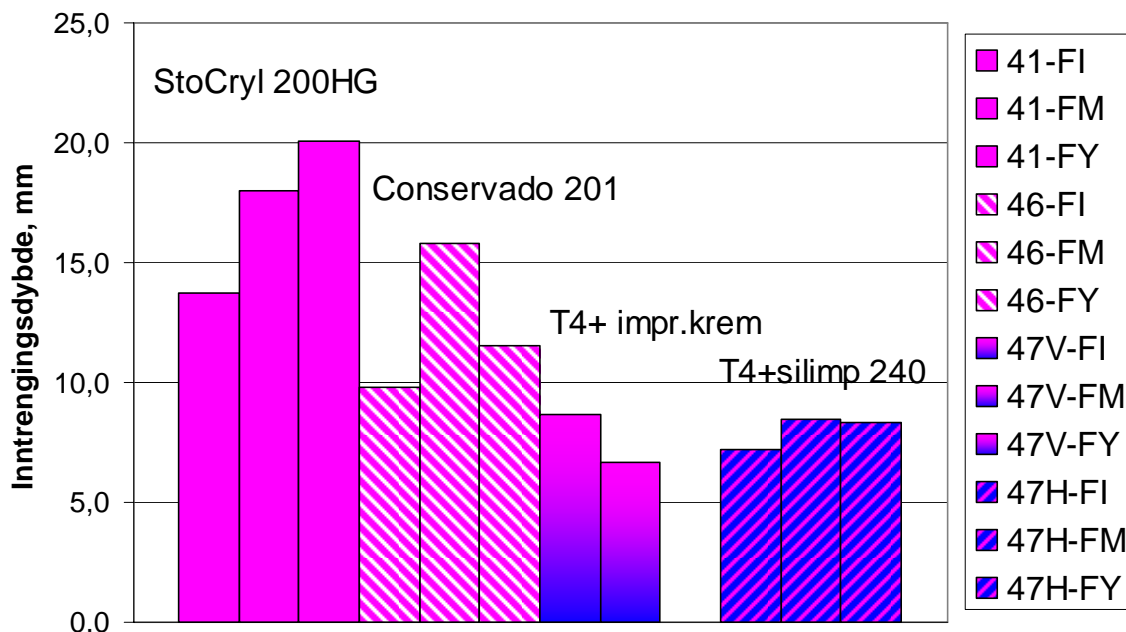
Dekkefelt	Produkt	Lokalitet	Inntrengingsdybde, mm	
			Middel pr lokalitet	Middel pr dekkefelt
41	StoCryl HG 200	FY	20,1	17,3
		FM	18,0	
		FI	13,8	
46	Conservado 201	FY	11,5	12,4
		FM	15,8	
		FI	9,8	
47V	T4 ^{*)} + Optiroc Impr.krem	FY	0	5,1
		FM	6,7	
		FI	8,6	
47H	T4 ^{*)} + Optiroc Silimp 240	FY	8,3	8,0
		FM	8,5	
		FI	7,2	

*) Underbetongen er av tørrsprøytet betong Betokem T4. Øvrige dekkefelt er av våtsprøytet betong

Tabell 12 Målt inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringer, bjelker, 2004

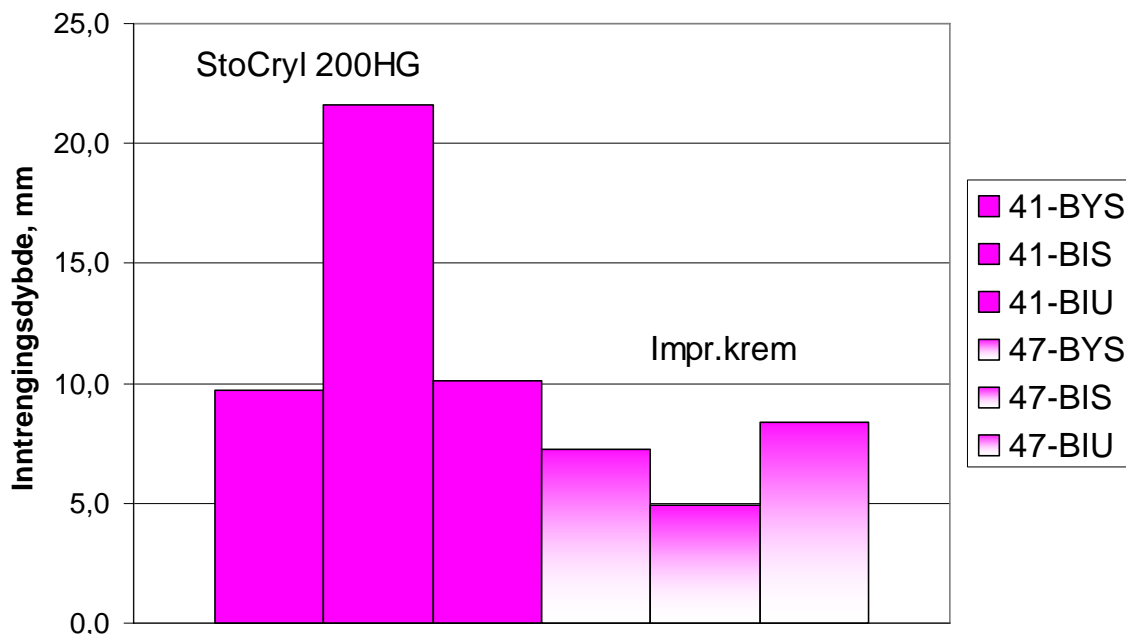
Bjelke akse	Produkt	Lokalitet	Inntrengingsdybde, mm	
			Middel pr lokalitet	Middel pr bjelke
41	StoCryl HG 200	BYS	9,7	13,8
		BIS	21,6	
		BIU	10,1	
47	Optiroc Impr.krem	BYS	7,2	6,8
		BIS	4,9	
		BIU	8,4	

Inntrengingsdybder - dekkefelt 2004



Figur 49 Målte inntrengingsdybder av impregnering på kjerner utboret fra dekkefelt 41, 46 og 47 (V+H), hhv i lokaliteter FI, FM og FY. Merk at dekkefelt 47 har avvikende underbetong (Betokem T4) i forhold til øvrige dekkefelt.

Inntrengingsdybder - bjelker 2004



Figur 50 Målte inntrengingsdybder av impregnering på kjerner utboret fra bjelker i akse 41 og 47, hhv i lokaliteter BYS, BIS og BIU

12.1.6 Bestemmelse av kapillær vannmetningsgrad, porøsitet av sprøytebetong - Vegdirektoratet

Fra dekkefelt 39-43 og 45-48 ble det i november 2004 sagt ut prismer for bestemmelse av kapillær vannmetningsgrad og porøsitet og estimering av v/b-forhold.

Utsaging ble utført ved å sage 3-4 parallelle spor i betongen med intern avstand ca 25-35 mm og gjennomsnittsdypde ca 40-55 mm. Etter saging ble prismene tatt ut ved forsiktig meisling langs sagsporene. Prismene ble umiddelbart etter utsaging merket, pakket inn i 2 lag tett plast og sendt til laboratoriet for videre veiing/prøving. For hvert dekkefelt er det tatt 2 eller 3 parallelle prismer. Enkelte prismer er igjen delt i flere deler under uttak.

Verdier for kapillær vannmetningsgrad og porøsitet er beregnet med utgangspunkt i prøvestykkenes vekt etter følgende behandling: 1) Umiddelbart etter utpakking, 2) Vannmetning ved neddykking i vann, 3) Trykkmetning ved neddykking i vann i trykktank ved 50 atm og 4) Tørring ved 105 °C

Følgende verdier er bestemt:

- Sugporøsitet = (vekt etter neddykking-tørrvekt)/volum
- Makroporøsitet/luftinnhold = (vekt etter trykkmetning-vekt etter neddykking)/volum
- Kapillær vannmetningsgrad = (vekt etter utpakking-tørrvekt)/(vekt etter neddykking-tørrvekt)
- Betongens densitet etter vannmetning

Betongens masseforhold er estimert med bakgrunn i beregnede sugporøsiteter og følgende antatte verdier om betongsammensetningen (jfr resept i Figur 19):

- sementmengde 485 kg/m³
- silikainnhold 5 %
- hydratasjonsgrad 0,85

Prøvestykkene lå i dette tilfellet vannlagret i 12 uker før trykkmetning og tørring. Prosedyren tilsier vannlagring til vektstabil tilstand (definert som vektendring mindre enn 0,01 % pr time eller 0,1 % pr døgn). Ved så små prøvestykker er dette erfaringsmessig oppnådd med god margin etter 1 ukes neddykking, selv om det fortsatt vil skje en mindre vektøkning etter dette. Vekt etter 1 ukes neddykking er derfor også benyttet ved ovenstående beregninger. Unntak gjelder selvsagt bestemmelse av makroporøsitet (luft), som er basert på veiing etter trykkmetning utført etter 12 ukers neddykking.

På grunn av til dels svært varierende tykkelse av prøvestykkene (dybde fra betongoverflata) må de beregnede verdier for kapillær vannmetningsgrad vurderes med forsiktighet.

Resultatene er presentert i Tabell 13, som middelverdier for alle prismer i samme dekkefelt.

Tabell 13 Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet, samt estimert masseforhold, 2004

Dekkefelt	Tykkelse av prøvestykkene, mm	Kapillær vannmetningsgrad, %	Sugporøsitet, %	Makroporøsitet (luft), %	Densitet, kg/m ³	Estimert masseforhold
39 FM	52-55	83	21,1	2,0	2250	0,57
40 FM	39-44	69	22,3	2,6	2240	0,59
41 FM	38-110	75	19,9	3,1	2240	0,54
42 FM	39-50	73	20,1	2,4	2180	0,55
43 FM	42-54	71	20,9	2,8	2230	0,56
45 FM	22-54	53	21,2	2,9	2200	0,57
46 FM	36-48	70	17,7	4,0	2220	0,50
47V FM	57-59	80	13,0	1,3	2330	0,40
47H FM	32-56	82	12,2	2,6	2320	0,39
48 FM	45-53	71	21,3	2,7	2240	0,57

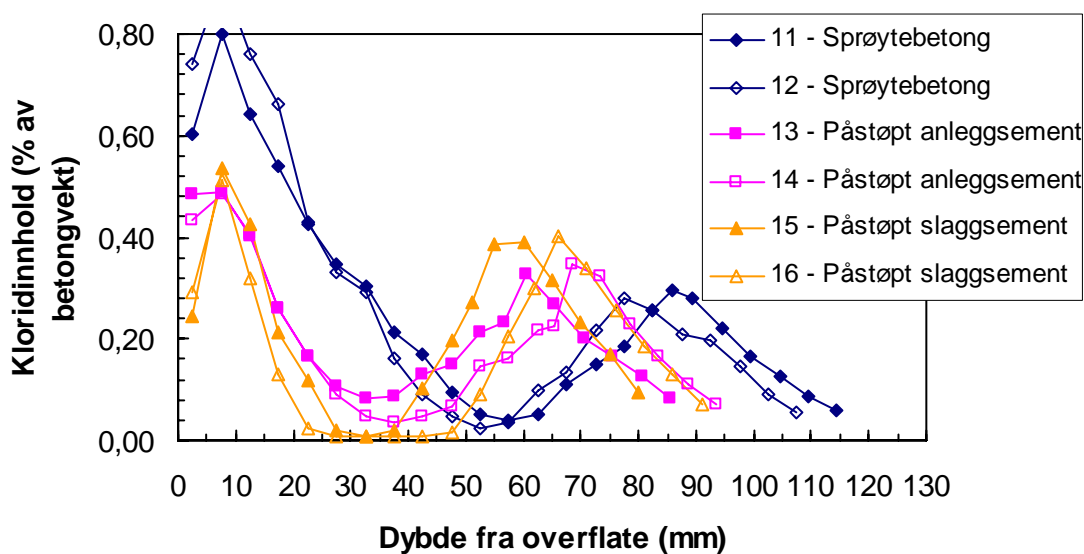
12.2 Delprosjekt B – Kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsmørtel

12.2.1 Kloridprofiler - laboratorium

Alle blokkene 11-16 ble sendt til SINTEF i oktober 2004 for utboring av kjerner og fresing av betongstøv og analyse av kloridinnhold. Det ble boret ut én betongkjerne fra hver blokk. I perioden mellom mottak av prøver og fresing ble prøvene oppbevart innpakket i plast ved + 5 °C. Maksimum tid fra mottak prøver til fresing var 7 uker.

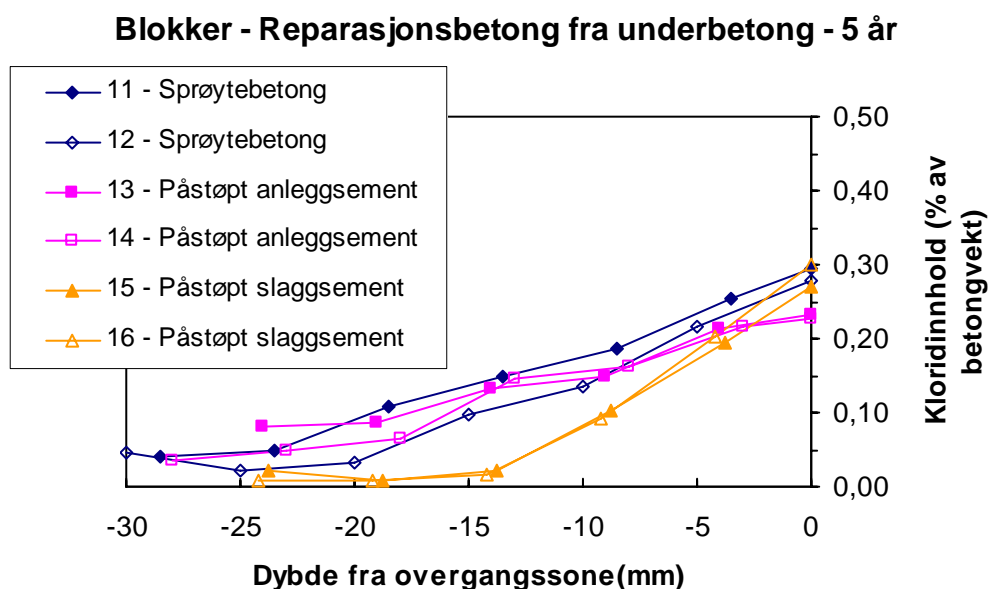
Fotografier av alle utborede kjerner, prosedyre for fresing/kloridanalyser og alle kloridresultater finnes i SINTEF prøvingsrapport nr 70218 i VEDLEGG 7-1. Kloridprofilene fra de ulike lokaliteter er fremstilt grafisk i Figur 51.

Kjerner utboret fra blokker av reparasjonsbetong/betong

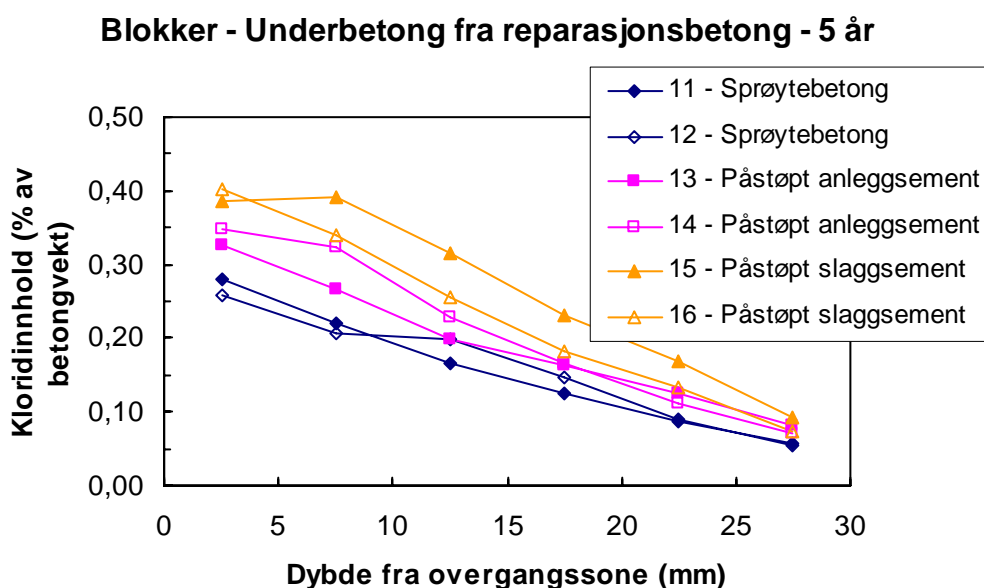


Figur 51 Kloridprofiler fremstilt fra laboratoriestøpte blokker med reparasjonsbetong, etter 5 års eksponering i sjøvann i laboratorium. Tykkelsen av reparasjonssjiktet varierer mellom blokkene, fra ca 55 mm for blokk 15 til ca 85 mm for blokk 11.

På grunn av ulik tykkelse av reparasjonsbetongen er overgangssonen mellom reparasjonsbetong og underbetong i ulike dybder fra overflata (ca 55-85 mm). For lettere å kunne sammenligne kloriddiffusjonen i de ulike reparasjonsbetongs-kvaliteter er det fremstilt kloridprofiler fra overgangssonen mellom reparasjonsbetong/underbetong (definert som 0-nivå langs x-aksen) og hhv i reparasjonsbetong og i underbetong, se Figur 52 og 53. I figurene er også y-aksen justert til en maks-verdi på 0,50 %.



Figur 52 Kloridprofiler i reparasjonsbetong eksponert mot kloridholdig underbetong. 0-punkt på x-aksen definert i overgangssonene mellom reparasjonsbetong og underbetong

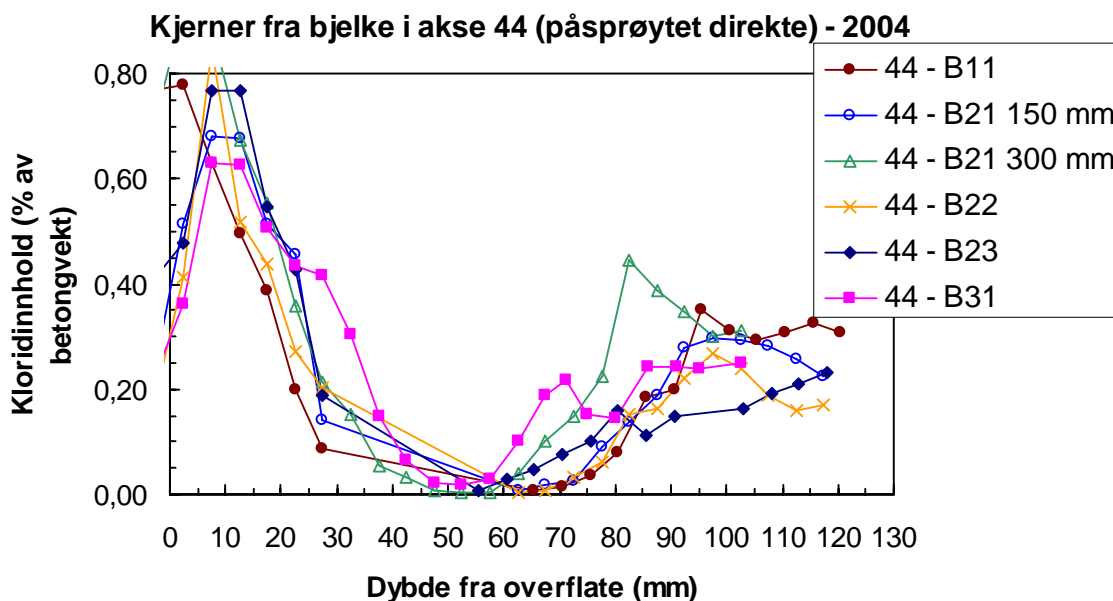


Figur 53 Kloridprofiler i underbetong etter 5 år. 0-punkt på x-aksen definert i overgangssonene mellom reparasjonsbetong og underbetong

12.2.2 Kloridprofiler – felt

Samtidig med utboring av betongkjerner i delprosjekt A ble det foretatt utboring av fire betongkjerner fra indre del av bjelke i akse 44. Denne delen av bjelken er påsprøytet betong uten foregående vannmeisling. Kjernene var merket B11, B21 150 mm fra uk, B21 300 mm fra uk, B22, B23 og B31. Detaljert lokalitet av kjernene er ikke oppgitt.

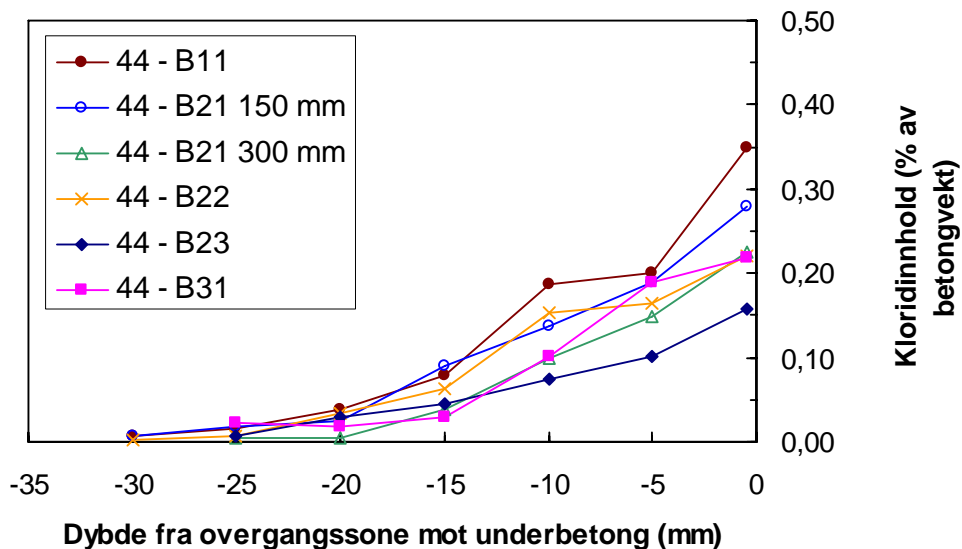
Kjernene ble sendt (sammen med øvrige kjerner fra DP A, se avsnitt 12.1.3) til SINTEF for fresing av betongstøv og analyse av kloridinnhold. Fotografier av kjernene, prosedyre for fresing/kloridanalyser og alle kloridresultater finnes i SINTEF prøvingsrapport nr 70218 i VEDLEGG 7-1. Kloridprofilene er fremstilt grafisk i Figur 54.



Figur 54 Kloridprofiler fremstilt fra indre del av bjelke i akse 44, etter 5 års eksponering. Tykkelsen av reparasjonssjiktet varierer mellom kjernene, fra ca 70 mm for kjerne B31 til vel 90 mm for kjerne B11.

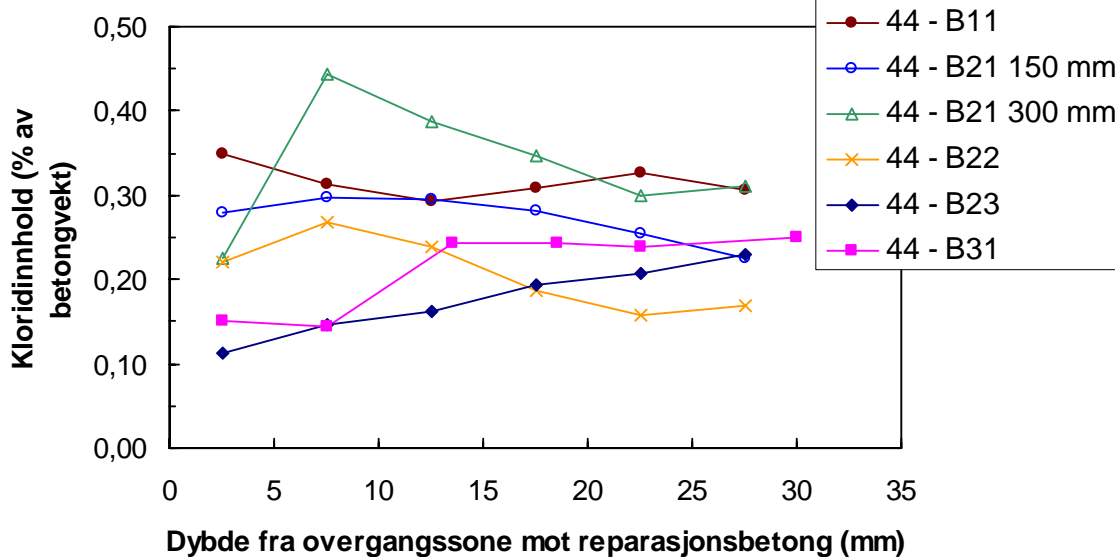
Også i felt er det noe ulik tykkelse av reparasjonsbetongen, samtidig som de opprinnelige kloridprofiler i underbetongen (Figur 12) er svært ulike og ujevne. For lettere å kunne sammenligne kloriddiffusjonen i de ulike kjerner er det fremstilt kloridprofiler fra overgangssonen mellom reparasjonsbetong/underbetong (definert som 0-nivå langs x-aksen) og hhv i reparasjonsbetong og i underbetong, se Figur 55 og 56. I figurene er også y-aksen justert til en maks-verdi på 0,50 %.

Bjelke i akse 44 - Reparasjonsbetong (fra underbetong) - 2004



Figur 55 Kloridprofiler i reparasjonsbetong eksponert mot kloridholdig underbetong, bjelke i akse 44. 0-punkt på x-aksen definert i overgangssonene mellom reparasjonsbetong og underbetong

Bjelke i akse 44 - Underbetong - 2004



Figur 56 Kloridprofiler i underbetong etter 5 år. 0-punkt på x-aksen definert i overgangssonene mellom reparasjonsbetong og underbetong.

13 OBSERVASJONER UNDER BEFARING I APRIL 2008

I forbindelse med en studentoppgave ved HiO, hvor FoU-prosjektet ved Kai Sjursøya var et mulig objekt, ble det gjennomført en befaring under kaia i april 2008. Hensikten med befaringen var å gi studentene en oversikt over forholdene i felt. Tilstede ved befaringen var blant andre Børre Berntsen fra Oslo Havnevesen og Eva Rodum fra Statens vegvesen. Det ble ikke gjennomført systematiske registreringer av noen art, men følgende forhold ble tilfeldigvis observert:

- Bjelke i akse 40 har ca 30 cm større høyde enn de øvrige bjelker
- Bjelke i akse 48 har ca 20-25 cm mindre høyde enn de øvrige bjelker
- Deler av påsprøytet betong innerst på bjelke i akse 44 er falt av

Observasjonene gjengis her fordi de har betydning for vurdering av de til dels store forskjeller i kloridinntrengning som er observert mellom referansebjelke-/felt 39 og 48 og planleggingen av prøveprogrammet i 2009. Observasjonene må verifiseres i forbindelse med undersøkelsene i 2009.

14 VURDERING AV RESULTATER ETTER 1, 2 OG 5-ÅRSPRØVING

14.1 Delprosjekt A – Kloridbremsende effekt av ulike overflatebehandlinger

14.1.1 Vurdering av resultatene fra 1-årsprøvingen i 2000

Målt kloridinntrenging i dekkefeltene viser at:

- Alle vannavvisende produkter i prøvefeltet har hatt en kloridbremsende effekt. Det bemerkes at to av produktene er påført en annen underbetong (tørresprøytet) enn referansebetongen (våtsprøytet).
- De to elastiske beleggene har vist varierende kloridbremsende effekt, fra registrerbar i den ene lokaliteten til ingen effekt i den andre lokaliteten.
- Det ikke-elastiske belegget har ikke evnet å bremse kloridinntrengingen .
- Det er godt sammenfall mellom to og to parallelle kloridprofiler.
- Det er en markert mindre kloridinntrenging i referansefelt 39 enn i referansefelt 44, målt innerst i dekkefeltet.
- Det er en markert mindre kloridinntrenging i referansefelt 39 enn i referansefelt 48

Målt kloridinntrenging i bjelkene viser at:

- Alle vannavvisende produkter i prøvefeltet har hatt en kloridbremsende effekt, målt innerst på undersiden av bjelken.
- To av de tre elastiske beleggene har hatt en kloridbremsende effekt, mens det tredje har hatt fra liten til ingen effekt.
- Det ikke-elastiske belegget har ingen kloridbremsende effekt. Det bemerkes imidlertid at denne bjelken har noe større høyde, og dermed noe mer kloridpåkjent, enn de øvrige bjelkene.

Målinger av heftfasthet på bjelker viser at:

- De ikke-elastiske beleggene har større heftfasthet enn de elastiske. For de elastiske beleggene uttrykker måleverdiene normalt produktenes (lave) strekkfasthet.
- Med unntak av de elastiske beleggene tilfredsstiller resultatene det alminnelige kravet på 1,2 MPa

Målinger av inntrengingsdybde av impregneringer i dekkefeltene viser at alle produktene har oppnådd svært god inntrenging, fra 4,5 til 17 mm.

14.1.2 Vurdering av resultatene fra 2-årsprøvingen i 2001

Målt kloridinntrenging i dekkfeltene viser at:

- Alle vannavvisende produkter i prøvemarket har hatt en kloridbremsende effekt. Det bemerkes at to av produktene er påført en annen underbetong (tørresprøytet) enn referansebetongen (våtsprøytet).
- Begge de elastiske beleggene har hatt kloridbremsende effekt sammenlignet med referanse 44, målt innerst i dekket.
- Det ikke-elastiske belegget har ikke evnet å bremse kloridinntrengingen
- Det er godt sammenfall mellom referanse 39 og 44 midt i feltet, men stort avvik innerst i feltet hvor kloridinntrengingen er mye større i felt 44.

Målt kloridinntrenging i bjelkene viser at:

- Alle vannavvisende produkter i prøvemarket har hatt en kloridbremsende effekt.
- To av de tre elastiske beleggene har hatt kloridbremsende effekt, mens det tredje har hatt fra liten til ingen effekt.
- Det ikke-elastiske belegget har ingen kloridbremsende effekt. Det bemerkes imidlertid at denne bjelken har noe større høyde, og dermed hardere eksponeringsbetingelser, enn de øvrige bjelkene.

14.1.3 Vurdering av resultatene fra 5-årsprøvingen i 2004

Visuelle undersøkelser på undersiden av kaia viser at det er et relativt stort omfang av riss, både på bjelker og i underside dekke. Det er gjort enkelte observasjoner av pågående armeringskorrosjon, både korrosjonsutslag på betongoverflaten/i riss og blottlagt armering. Omfanget av bom og løs betong er lite.

Målt kloridinntrenging i dekkfeltene viser at:

- Dekkefelt 48, som er inkludert som referansefelt ved denne prøvingen, har mye større kloridinntrenging enn referansefelt 39 (også observert i 2000). Dette kan ha sammenheng med avvikende geometri for bjelke/dekkefelt 48 i forhold til de øvrige, blant annet lavere bjelkehøyde i akse 48. Samtidig er det også i tidligere år registrert mindre kloridinntrenging i deler av referansefelt 39 enn i referansefelt 44. Referansefelt 39 kan således være mindre eksponert enn øvrige pga større bjelkehøyde i akse 40. Ved vurdering av resultatene er det, etter en samlet vurdering, valgt å legge mest vekt på dekkfelt 39 som referanse.
- Alle vannavvisende produkter i prøvemarket har hatt svært god kloridbremsende effekt. Det bemerkes at to av produktene er påført en annen underbetong (tørresprøytet) enn referansebetongen (våtsprøytet).
- De to elastiske beleggene har fra liten til ingen kloridbremsende effekt. Unntak gjelder for det ene produktet som har hatt en betydelig mindre kloridinntrenging enn referansene midt i dekket.
- Det ikke-elastiske belegget har ingen kloridbremsende effekt.

Målt kloridinntrenging i bjelkene viser at:

- Bjelke 48, som er inkludert som referansefelt ved denne prøvingen, har mye mindre kloridinntrenging enn referansebjelke 39. Dette har sannsynlig sammenheng med at denne bjelken har mindre høyde, og dermed mindre klorideksponering, enn de øvrige. At kloridbelastningen på bjelke 48 er mindre enn de øvrige underbygges også av kloridprofilene for ubehandlede bjelker utenfor forsøksfeltet, samt at kloridinntrengingen i bjelke 48 er mindre enn i flere av de overflatebehandlede bjelkene i forsøksfeltet. Ved vurdering av overflateproduktenes effekt er det derfor valgt å legge mest vekt på bjelke 39 som referanse.
- To av tre vannavvisende produkter i prøvemarket har hatt svært god kloridbremsende effekt, mens det tredje har noe mindre effekt.
- To av de tre elastiske beleggene har hatt svært god kloridbremsende effekt, mens det tredje produktet har fra liten til ingen effekt innerst på bjelken.

- Det ikke-elastiske belegget har ingen kloridbremsende effekt. Det bemerkes imidlertid at denne bjelken har noe større høyde, og dermed er noe mer kloridutsatt enn de øvrige bjelkene.

Målinger av heftfasthet på bjelker viser at:

- De ikke-elastiske beleggene har større heftfasthet enn de elastiske. Dette er naturlig ettersom måleverdiene normalt uttrykker de elastiske produktenes strekkfasthet, her målt til ca 1 MPa.
- Med unntak av de elastiske beleggene tilfredsstiller resultatene det alminnelige kravet på 1,2 MPa med god margin

Målinger av inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringer viser at alle produktene har oppnådd svært god inntrenging i både underside dekke og bjelker, fra 5 til 17 mm. Det er imidlertid registrert tegn på at den vannavvisende effekten i yttersjiktet (ca 1-2 mm) har tapt seg for flere produkter.

Målinger av porøsitet viser at den våtsprøytete betongen i dekket har svært høy sugporøsitet og dermed sannsynligvis et mye høyere v/b-forhold enn forutsatt (ca 0,55). Tørrsprøytet betong i dekket har mye lavere sugporøsitet enn våtsprøytet og estimert v/b-forhold er her i henhold til det teoretiske. Teoretisk v/b-forhold for begge betongvarianter er 0,40.

14.1.4 Sammenstilte resultater fra 1-5-årsprøving og samlet vurdering

I Tabell 14 og 15 er gitt en vurdering av den kloridbremsende effekten av hvert produkt basert på en visuell vurdering av kloridprofilene. Effekten er vurdert i etterfølgende skala:

- Ingen
- Registrerbar
- Tydelig
- Svært tydelig

Enkelte produkter har ulike effekt i ulike deler av bjelken/dekkefeltet. I slike tilfeller er vurderingen av effekten delt, f eks ”tydelig-svært tydelig”.

Tabell 14 Vurdering av de ulike produkters kloridbremsende effekt på underside dekke etter hhv 1, 2 og 5 år

Produkt-kategori	Akse/felt	Overflateprodukt	Kloridbremsende effekt etter		
			1 år	2 år	5 år
Impregnering	41	StoCryl HG200	Registrerbar-tydelig	Tydelig	Svært tydelig
	45	SikaTop 120+ Conservado 201	Registrerbar-tydelig	Tydelig	Svært tydelig
	46	Sika Conservado 201	Registrerbar-tydelig	Tydelig	Svært tydelig
	47V	T4 ^{*)} + Optiroc impr.krem	Registrerbar-tydelig	Tydelig	Svært tydelig
	47H	T4 ^{*)} + Optiroc silimp 240	Registrerbar-tydelig	Registrerbar-tydelig	Svært tydelig
Elastiske belegg	42	StoCrete FB	Registrerbar-ingen	Registrerbar	Tydelig-ingen
	43	Rescon CemElastic	Registrerbar-ingen	Registrerbar	Registrerbar-ingen
Ikke-elastisk belegg	40	Rescon Murtett	Ingen	Ingen	Ingen

*) Underbetongen er av tørrsprøytet betong Betokem T4. Øvrige dekkefelt er av våtsprøytet betong

Tabell 15 Vurdering av de ulike produkters kloridbremsende effekt på bjelker etter hhv 1, 2 og 5 år

Produkt-kategori	Akse/felt	Overflateprodukt	Kloridbremsende effekt etter		
			1 år	2 år	5 år
Impregnering	41	StoCryl HG200	Tydelig	Tydelig	Tydelig-svært tydelig
	45	SikaTop120+ Conservado 201	Tydelig	Svært tydelig	Svært tydelig
	47	Optiroc impregneringskrem	Tydelig	Svært tydelig	Svært tydelig
Elastiske belegg	42	StoCrete FB	Ingen-registrerbar	Ingen-tydelig	Registrerbar-svært tydelig
	43	Rescon CemElastic	Tydelig	Svært tydelig	Svært tydelig
	46	SikaTop 106	Tydelig	Svært tydelig	Svært tydelig
Ikke-elastisk belegg	40	Rescon Murtett	Ingen	Ingen	Ingen

Alle dekkfeltene med vannavvisende impregneringsprodukter (StoCryl HG, Sika Conservado 201, Optiroc impregneringskrem og Optiroc silimp 240) har hatt svært liten kloridinntrenging i alle år. Sika Conservado 201 og Optiroc impregneringskrem har også hatt en vedvarende svært god kloridbremsende effekt på bjelkene (her bemerkes at bjelke 45 er slemmet med ett strøk SikaTop 120 før impregnering med Sika Conservado 201, hvilket også kan ha bidratt til økt kloridbestandighet). StoCryl HG 200 har imidlertid siden 2-årsprøvingen hatt en noe dårligere effekt enn de øvrige produktene innerst på bjelken, men effekten er fortsatt god. Ved vurdering av den kloridbremsende effekten av Optirocs impregneringsprodukter på underside dekke må det tas i betraktning av disse er påført en annen, og tettere, underbetong enn de øvrige felt, inkl referansene. Med bakgrunn i porositetsverdiene i de to betongvariantene er det rimelig å anta at kloridinntrengingen i ubehandlet tørrsprøytet betong ville ha vært noe mindre enn i ubehandlet våtsprøytet betong (referansene). Kloridinntrengingen i Optiroc-feltet er imidlertid svært liten etter 5 års eksponering, og det anses som usannsynlig at dette i sin helhet kan tilskrives underbetongens kvalitet. Vi mener derfor at det er grunnlag for å si at også de to Optiroc-produktene har hatt en svært god kloridbremsende effekt på underside dekke.

Det ikke-elastiske belegget (Rescon Murtett) har ikke vist signifikante tegn på kloridbremsende effekt på noe tidspunkt, verken på bjelker eller underside dekke.

Av de elastiske beleggene har Rescon CemElastic og SikaTop 106 hatt en svært god kloridbremsende effekt på bjelkene i hele perioden, mens StoCrete FB tilsvarende har hatt problemer med å beskytte de indre deler av betongbjelken, spesielt undersiden, hvor kloridbelastningen er størst. Hvorvidt dette skyldes produkttegenskapene eller lokale forhold knyttet til utførelsesprosessen/eksponeringsforholdene kan ikke vurderes. De elastiske beleggene hadde tendenser til effekt på underside dekke de første 2 årene, men etter 5 år er denne i hovedsak tapt. Dette skyldes mest sannsynlig problemer med påføring av produktene på den ujevne sprøyteflaten, og at produktene ikke har greid å danne en kontinuerlig film på overflaten.

Målte inntrengingsdybder av vannavvisende impregneringer er sammenstilt i Tabell 16. Det er ikke forventet at produktenes inntrengingsdybde vil endres over tid, så det er ikke relevant å sammenligne resultatene etter 1 år med resultatene etter 5 år med dette for øye. Eventuelle forskjeller i inntrengingsdybde målt etter hhv 1 og 5 år skyldes heller lokale variasjoner i initiell inntrengingsdybde enn endringer over tid.

Tabell 16 Målt inntrengingsdybde av vannavvisende impregneringer etter hhv 1 og 5 år

Felt/ Akse	Overflateprodukt	Inntrengingsdybde (mm) målt etter	
		1 år	5 år ^{**)}
Dekke			
41	StoCryl HG200	17,4	17,3
46	Sika Conservado 201	15,2	12,4
47V	T4 ^{*)} + Optiroc impregneringskrem	7,0	5,1
47H	T4 ^{*)} + Optiroc silimp 240	4,5	8,0
Bjelker			
41	StoCryl HG200	-	13,8
47	Optiroc impregneringskrem	-	6,8

*) Underbetongen er av tørrsprøytet betong Betokem T4. Øvrige dekkfelt er av våtsprøytet betong

***) middelveier for tre ulike lokaliteter på bjelke/i dekkfelt. Flere av prøvene viser at det ytterste sjiktet (ca 1-2 mm) ikke lenger har vannavvisende effekt

Alle produktene har svært god inntrenging i betongen, både i dekke (hhv våt- og tørrsprøytet betong) og bjelker (støpt betong). Produktene har opprettholdt sin vannavvisende evne i de indre deler av den behandlede sonen, dog er det en tendens til at den vannavvisende effekten er redusert i det ytterste sjiktet (ca 1-2 mm).

Alle de målte inntrengingsdybder ligger langt over dagens krav i Statens vegvesens håndbok 026, på 1 mm. Produkter påført tørrsprøytet underbetong har imidlertid en god del mindre inntrengingsdybde enn de produktene som er påført våtsprøytet betong. Den våtsprøytete betongen er dokumentert å ha en mye større sugporøsitet enn den tørrsprøytete og det kan ikke utelukkes at dette kan ha en viss betydning for resultatene, i tillegg til eventuelle produktforskjeller..

Målte heftfastheter på bjelker er sammenstilt i Tabell 17.

Tabell 17 Målt heftfasthet av belegg på bjelker etter hhv 1 og 5 år

Akse	Overflateprodukt	Heftfasthet ^{*)} (MPa) målt etter	
		1 år	5 år ^{**)}
40	Rescon Murtett	1,2	2,8
42	StoCrete FB	0,7	1,1
43	Rescon CemElastic	0,7	1,0
45	SikaTop 120	2,0	2,0

*) middelveier inkl alle enkeltmålinger, også prøver med stor andel bruddflate i overgang prøvekopp/belegg. Enkelte resultater er således underestimert.

***) middelveier for tre ulike lokaliteter på bjelken

Heftfastheten for de ikke-elastiske slemmemassene er svært god, over det alminnelige kravet på 1,2 MPa.

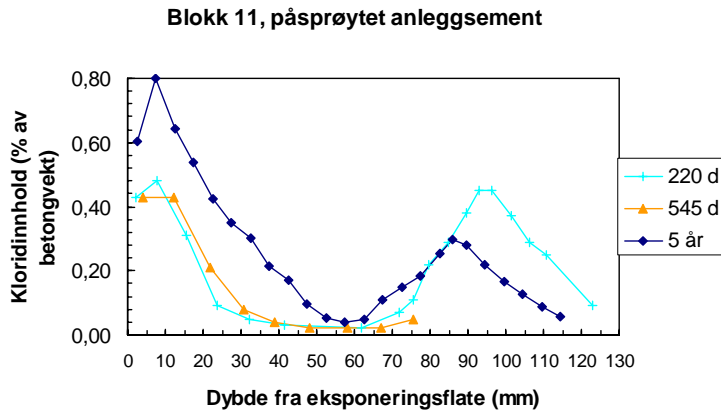
Heftfastheten for de elastiske beleggene er lavere, ca 1,0 MPa etter 5 år. Dette er naturlig ettersom disse verdiene representerer de elastiske produktenes (lave) strekkfasthet.

Det bemerkes at de rapporterte middelveier er basert på alle enkeltmålinger, også de med stor andel bruddflate i overgang prøvekopp/belegg. Enkelte resultater kan dermed være underestimert.

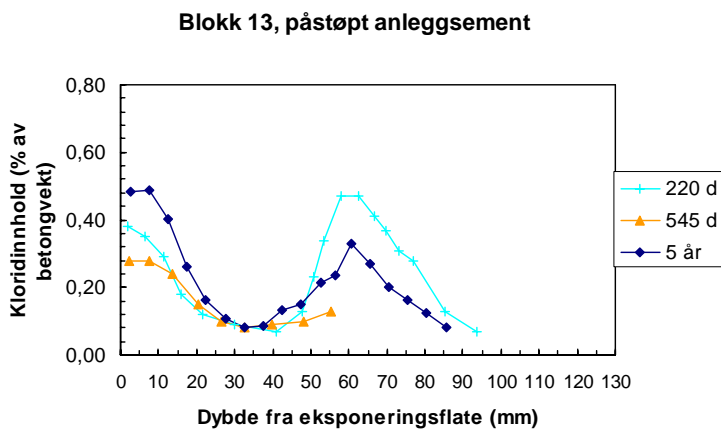
Det er ikke registrert en reduksjon i heftfasthet fra 1 til 5 år.

14.2 Delprosjekt B – Kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsmørtel

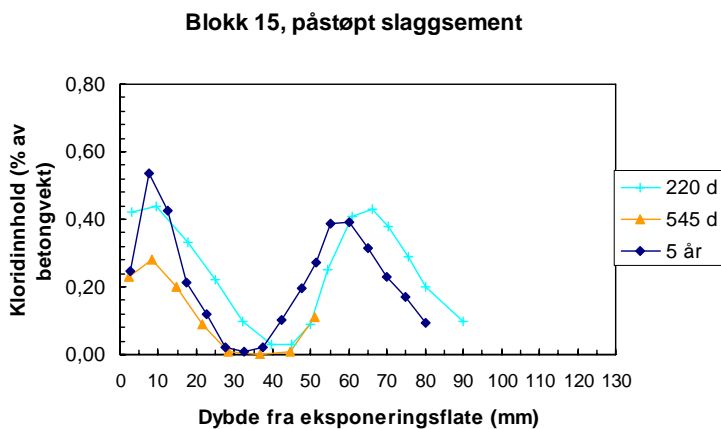
Målt kloridinntrenging i de laboratoriestøpte blokkene nr 11, 13 og 15, etter hhv 220 døgn, 545 døgn og 5 år er sammenstilt i Figur 57-59.



Figur 57 Kloridprofiler målt på blokk 11 etter hhv 220 døgn, 545 døgn og 5 år



Figur 58 Kloridprofiler målt på blokk 13 etter hhv 220 døgn, 545 døgn og 5 år



Figur 59 Kloridprofiler målt på blokk 15 etter hhv 220 døgn, 545 døgn og 5 år

Figurene avdekker følgende ulogiske forhold:

- Kloridinntrengingen fra sjøvannet er tilnærmet uendret fra 220 til 545 døgn for blokk nr 11 og 13
- Kloridinntrengingen fra sjøvannet er mindre etter 545 døgn enn etter 220 døgn for blokk nr 15
- Kloridinntrengingen fra sjøvannet er mindre etter 5 år enn etter 220 døgn for blokk nr 15

Prøvematerialet er tatt ut av betongblokker støpt under kontrollerte laboratorieforhold. Det er derfor rimelig å anta at det er relativt små variasjoner i kvalitet innenfor hver blokk, og at avvikene vanskelig kan skyldes slike forhold. De påpekte avvik i måleresultatene skyldes heller trolig unøyaktigheter i støvuttak og analysemetoder. Forholdene gjør det vanskelig å trekke konklusjoner vedr kloridutviklingen i blokkene over år, og det legges derfor hovedvekt på resultatene etter 5 år. Disse resultatene er fremkommet etter nøyaktig fresing av støv i 5 mm sjikt i laboratorium og kloridanalyser ved spektrofotometrisk analysemetode. I tillegg er det etter 5 års eksponering gjennomført parallell prøving av 2 blokker pr reparasjonsbetongvariant, og disse resultatene viser godt sammenfall.

5-årsresultatene gir mulighet for beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter og overflatekonsentrasjon av klorider for følgende to eksponeringsbetingelser:

- Eksponering fra sjøvann
- Eksponering fra kloridholdig underbetong

Beregningene er basert på Fick's 2. lov for ren diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right)$$

Løsningen av ligningen uttrykkes oftest på følgende måte:

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right)$$

hvor:

- C_0 : Kloridkonsentrasjonen på betongoverflata, % av betongvekt
- C_i : Initielt kloridinnhold (bakgrunnsverdi), % av betongvekt
- x : Avstand fra betongoverflata, m
- t : eksponeringstiden, s
- D : kloriddiffusjonskoeffisienten, m^2/s
- erf: den komplementære feilfunksjonen

Diffusjonskoeffisienten, D , og overflatekonsentrasjonen, C_0 , bestemmes ved å tilpasse ligningen til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse ved minste kvadratots metode /6/.

Ved beregning av diffusjonskoeffisienter er det for blokk 13 benyttet en bakgrunnsverdi på 0,05 %, i motsetning til 0,01 % for de øvrige blokker. Dette fordi det laveste målte kloridinnholdet i denne blokka, etter 220 dg var 0,07 %, se også Figur 58. Hvorfor denne blokka skulle ha høyere bakgrunnsnivå er ikke mulig å ha noen formening om.

Resultatene er presentert i Tabell 18.

Tabell 18 Laboratoriestøpte blokker, beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter, D_5 år lab (10^{-12} m²/s) og ”overflate”konsentrasjon, C_0 (% av betongvekt)

Type reparasjonsbetong	Blokk nr	Fra sjøvann		Fra underbetong	
		D_5 år lab	C_0	D_5 år lab	C_0
Sprøytebetong	11	2,63	0,983	0,99	0,299
	12	1,91	1,230	0,51	0,307
	middel	2,27	1,107	0,75	0,303
Påstøpt betong med anleggssement	13	0,87	0,747	0,67	0,253
	14	1,02	0,743	0,91	0,253
	middel	0,95	0,745	0,79	0,253
Påstøpt betong med slaggsement	15	0,65	0,930	0,20	0,307
	16	0,39	1,028	0,17	0,358
	middel	0,52	0,979	0,19	0,333

Kloridinnholdet i underbetongen ved påstøping av reparasjonsbetonger er opplyst målt, men ikke rapportert, verken i /1/ eller dokumentene /D1-D28/. Det eneste som er rapportert av relevante resultater i så måte er kloridinntrengingen i en terning utstøpt med samme betong som underbetongen, og eksponert i samme 4 % NaCl-løsningen (Figur 21-a). Kloridprofilene i Figur 53 tilsier imidlertid at situasjonen har vært ganske lik i de 6 blokkene, og det bør dermed være mulig å sammenligne de ulike reparasjonsbetongenes kloridmotstand.

5-årsresultatene viser at betongen med slaggsement har best langtids motstand mot kloridinntrenging både fra sjøvannet og den kloridholdige underbetongen. Sprøytebetongen har betydelig bedre kloridbestandighet mot underbetongen enn mot sjøvannet. Mot sjøvannet har den påstøpte betongen med anleggssement bedre kloridmotstand enn sprøytebetongen, mens motstanden er lik mot underbetongen.

Feltprøvene etter 5 års eksponering gir også grunnlag for beregning av kloriddiffusjonskoeffisienter fra både sjøvannsekspontert overflate og underbetong. Resultatene fra disse beregningene er vist i Tabell 19.

Tabell 19 Felteksponert betong, beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter, D_5 år felt (10^{-12} m²/s) og ”overflate”konsentrasjon, C_0 (% av betongvekt)

Type reparasjonsbetong	Kjerne mrk	Fra sjøvann		Fra underbetong	
		D_5 år felt	C_0	D_5 år felt	C_0
Sprøytebetong	B11	1,06	0,956	0,56	0,308
	B21 150 mm	1,99	0,979	0,53	0,278
	B21 300 mm	1,56	1,196	0,33	0,240
	B22	1,11	1,167	0,53	0,255
	B23	1,80	1,117	0,55	0,145
	B31	2,40	1,001	0,25	0,326
	middel	1,65	1,069	0,46	0,259

Kjernene skal iht plan være boret ut iht skisse i Figur 10, dvs med tre ulike avstander fra uk bjelke (150, 300 og 450 mm), men hvilke kjerner som er boret ut hvor er ikke rapportert.

Det er vanskelig å vurdere de beregnede kloriddiffusjonskoeffisientene uten å kjenne de eksakte lokaliteter (og dermed opprinnelig kloridinnhold i underbetongen for hver kjerne). Verdiene har uansett relativt liten spredning innenfor hver eksponeringstype, og kan således betraktes som parallelle prøver.

15 PLANLAGT 10-ÅRS PRØVING I 2009

Med bakgrunn i resultatene fram til 5-årsprøving er det lagt foreløpige planer for gjennomføring av 10-årsprøving i 2009.

Delprosjekt B er forslått avsluttet pr 2004. De laboratoriestøpte blokkene eksisterer ikke lenger og sprøytebetongen i felt (innerst på bjelke 44) har pr april 2008 delvis falt av.

Innenfor delprosjekt A er følgende prøving foreslått utelatt i 2009:

- Kloridprofiler fra dekkefelt med sementbaserte belegg (40, 42 og 43). Disse hadde etter 5 års prøving ingen dokumenterbar effekt.
- Kloridprofiler fra bjelke/dekkefelt 48. Kloridprofilene fra disse konstruksjonsdelene avviker i svært stor grad fra referansefelt 39. Det antas at dette har sammenheng med avvikende geometri på både bjelke og dekkefelt, og bjelke/dekkefeltet anses uegnet som referanse.
- Kloridprofiler fra bjelke 40. Bjelken har avvikende geometri (større høyde) og dermed hardere klorideksponering enn de øvrige. I tillegg har belegget ikke vist noen tegn på kloridbremsende effekt.

Følgende prøving foreslås som tillegg (i forhold til 2004-prøving):

- Kloridprofiler fra dekkefelt 44. Dekkefeltet er ubehandlet og gjenopptas som referansefelt til erstatning for felt 48. I tillegg til at felt 48 er ansett uegnet som referanse, er bjelke i akse 40 påvist å ha større høyde enn de øvrige, hvilket kan innvirke på eksponeringsbetingelsene i referansefelt 39. I motsetning til referansefelt 39 og 48 inngikk felt 44 i forundersøkelsene av kaia, og feltet anses derfor som svært viktig å inkludere i 10-årsprøvingen.
- Kloridprofiler fra ytre del av bjelke 44. Denne delen av bjelken er utstøpt med slaggsement og er inkludert i 1- og 2-årsprøvingen, men ble ikke undersøkt etter 5 år
- Kloridprofiler fra en bjelke innenfor akse 13-38. Bjelkene i dette området er utstøpt med samme betong som i akse 39-48, men har i tillegg en korrosjonsinhibitor iblandet. Korrosjonsinhibitoren forventes imidlertid ikke å påvirke kloriddiffusjonshastigheten, og bjelkene kan således benyttes som referansebjelke til erstatning for bjelke 48. Bjelke 14 var inkludert i 5-årsprøvingen og foreslås derfor som referansebjelke ved 10-årsprøvingen.
- Bestemmelse av porøsitetsverdier/v/b-estimat for bjelkebetong.

Det vurderes videre om bjelker i akse 4, 6 og 12 skal inkluderes i prøvingsprogrammet (utført i 2004) og om det skal gjennomføres parallell prøving av kloridprofiler i enkelte lokaliteter (ikke utført siden 2000).

Dersom ovenstående forslag legges til grunn for prøvingsomfanget i 2009, vil dette innebære en prøvingsplan som vist i Tabell 20.

Det er utarbeidet et budsjett og en finansieringsplan for arbeidene med utgangspunkt i foreliggende prøvingsplan.

Tabell 20 Oversikt over foreslått prøving i 2009. Tall angir antall parallelle prøver pr lokalitet, bokstaver angir prøvingsmetode, se underskrift

Felt-/aksenr	Lokalitet					
	Dekkefelt			Bjelker		
	FY	FM	FI	BYS	BIS	BIU
4	-	-	-			
6	-	-	-		vurderes	
12	-	-	-			
14	-	-	-	1K+1P	1K+1P	1K+1P
39	1K	1K	1K	2K+1P	2K+1P	2K+1P
40	-	-	-	1H	1H	1H
41	1K+1I	1K+1I	1K+1I	1K+1I+1P	1K+1I+1P	1K+1I+1P
42	-	-	-	1K+1H+1P	1K+1H+1P	1K+1H+1P
43	-	-	-	1K+1H+1P	1K+1H+1P	1K+1H+1P
44	2K	2K	2K	1K+1P	1K+1P	1K+1P
45	1K+1I	1K+1I	1K+1I	1K+1H+1I+1P	1K+1H+1I+1P	1K+1H+1I+1P
46	1K+1I	1K+1I	1K+1I	1K+1H+1P	1K+1H+1P	1K+1H+1P
47				2K+1I+1P	2K+1I+1P	2K+1I+1P
47V	1K+1I	1K+1I	1K+1I			
471H	1K+1I	1K+1I	1K+1I			
48	-	-	-	-	-	-

K = kloridprofil

H = heftfasthet

I = inntrengingsdybde

P = porøsitet og vanninnhold

16 OPPSUMMERING OG FORELØPIGE KONKLUSJONER

Oslo Havnevesen gjennomførte en andre gangs rehabilitering av kai Sjursøya i 1999. Både bjelker og undersiden av kaidekket ble utbedret ved mekanisk reparasjon. Før utbedringsarbeidene ble igangsatt ble kloridinntrengingen i konstruksjonen kartlagt ved utstrakt prøvetaking og kloridanalyser.

I forbindelse med gjennomføringen av rehabiliteringsarbeidene ble det etablert et FoU-prosjekt med hovedmål å dokumentere den kloridbremsende effekten av ulike overflateprodukter (delprosjekt A). I tillegg ble det bestemt å undersøke omfanget av kloriddiffusjon fra gammel kloridholdig betong til ny reparasjonsmørtel (delprosjekt B).

Entreprenørservice AS initierte prosjektet og inviterte andre firma og miljøer i bransjen til å delta. Det ble etablert en prosjektgruppe bestående av representanter fra:

- Entreprenørservice AS
- Oslo Havnevesen
- Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- Selmer Skanska AS
- Stærk & Co a.s.

I tillegg deltok Kystdirektoratet og Norsk Forening for Betongrehabilitering (NFB) som observatører i en tidlig fase av prosjektet.

Fire materialleverandører har deltatt i prosjektet:

- Sika Norge AS
- Optiroc AS (nå: maxit a.s.)
- Rescon AS
- Mursto a/s (nå: Sto Norge AS)

Hver av leverandørene fikk tildelt sine prøvefelt på kaia og anledning til å komme med egne løsningsforslag. Både vannavvisende impregneringsprodukter (krem og væske) og belegg (elastiske og ikke-elastiske) er inkludert i prosjektet. Ved ett tilfelle er vannavvisende impregnering benyttet i kombinasjon med et ikke-elastisk belegg.

I tillegg til ulike overflateprodukter er også ulike typer reparasjonsbetonger undersøkt, f eks betong med ulike sementtyper (anlegg- kontra slaggsement), ulike fasthetsklasser (C35 kontra C45) og ulike utstøpingsteknikker (utstøpt betong kontra sprøytet, våtsprøytet kontra tørrsprøytet). Dette ligger i utgangspunktet utenfor den definerte målsetningen og det definerte prøvefeltet, men er spesielt etter ønske fra Oslo Havnevesen, inntatt i deler av prøvingsprogrammet.

Den kloridbremsende effekten av de ulike produkter/produkttyper og materialløsninger er dokumentert etter 1, 2 og 5 år. 10-årsprøving er planlagt utført i 2009.

Etter 5 års eksponering kan resultatene fra **delprosjekt A** oppsummeres som følger:

- Fire ulike vannavvisende impregneringsprodukter er påført underside dekke (to av disse på en annen underbetong enn referansene). Alle disse vurderes å ha hatt en svært god kloridbremsende effekt.
- To av tre impregneringsprodukter påført bjelkene har også hatt en vedvarende svært god kloridbremsende effekt (ett av disse er påført i kombinasjon med sementbasert slemming). Det siste produktet har siden 2-årsprøvingen hatt en noe dårligere effekt enn de øvrige produktene innerst på bjelken, men effekten er fortsatt god.
- Alle impregneringsproduktene har svært god inntrenging i betongen, både i dekke (hhv våt- og tørrsprøytet betong) og bjelker (støpt betong). Produktene har opprettholdt sin vannavvisende evne i de indre deler av den behandlede sonen, dog er det en tendens til at den vannavvisende effekten er redusert i det ytterste sjiktet (ca 1-2 mm) etter 5 år.
- Ett ikke-elastisk belegg har ikke vist signifikante tegn på kloridbremsende effekt på noe tidspunkt, verken på bjelker eller underside dekke.
- To av tre elastiske belegg har hatt en svært god kloridbremsende effekt på bjelkene i hele perioden, mens det tredje har hatt problemer med å beskytte de indre deler av betongbjelken, spesielt undersiden, hvor kloridbelastningen er størst.
- De to elastiske beleggene som ble påført på underside dekke hadde en viss kloridbremsende effekt de første 2 årene, men etter 5 år er denne tapt. Dette skyldes mest sannsynlig problemer med påføring av produktene på den ujevne sprøyteflaten, og at produktene ikke har greid å danne en kontinuerlig film på overflaten.
- Målte heftfastheter etter 1 og 5 år er tilfredsstillende iht gjeldende krav.
- Målinger av porøsitet viser at den våtsprøytete betongen i dekket har svært høy sugporøsitet og dermed sannsynligvis et mye høyere v/b-forhold enn forutsatt (ca 0,55). Tørrsprøytet betong i dekket har mye lavere sugporøsitet enn våtsprøytet og estimert v/b-forhold er her i henhold til det teoretiske. Teoretisk v/b-forhold for begge betongvarianter er 0,40.

Alle vurderinger av kloridbremsende effekt er basert på visuell vurdering av kloridprofilene. Alle data finnes imidlertid tilgjengelig for bruk i forbindelse med mer avanserte levetidsberegninger. Dette bør vurderes etter at 10-årsprøvingen er gjennomført. Det må da tas hensyn til at eksponeringsbetingelsene kan være endret som følge av utvidelsen av kaia som ble utført i 2006-2007.

Resultatene fra **delprosjekt B** kan oppsummeres som følger:

- Kloridprofilene viser at det skjer en betydelig kloridtransport fra underbetongen til reparasjonsbetongen.
- Diffusjonshastigheten er avhengig av type reparasjonsbetong. Reparasjonsbetong med slaggsement har best motstand mot kloridinntrenging fra den kloridholdige underbetongen, mens sprøytebetong og påstøpt betong med anleggssement har relativt lik motstand.

Også resultatene fra delprosjekt B kan med fordel viderebehandles i levetidsmodeller. Dataene bør også vurderes i forhold til andre erfaringer med kloriddiffusjon fra kloridholdig betong til reparasjonsbetong.

17 REFERANSER

- 1 Carlsen, J.E.: ”Rapport nr 10. Restlevetid – Kai Sjursøya. Aktivitet DP2 A3”, Betongkonstruksjoners livsløp, Statens vegvesen, ISBN: 82-91228-15-9, Oslo 2006
- 2 COIN: Concrete Innovation Centre. <http://sintef.no/coin>
- 3 Angst, U. og Vennesland, Ø.: ”COIN P4: Operational service life design. SP4.2: Critical chloride content. Critical chloride content – state of the art”, SINTEF-rapport SBF BK A07037, Trondheim 2007
- 4 E-post fra Jan Lindland av 2009-01-29 med opplysninger fra E-service vedr støpedatoer og påføringstidspunkt for diverse overflateprodukter
- 5 Referat A1
- 6 Nordtest: NT Build 443, Finland 1995