



Overflatebehandling av betongkonstruksjoner

Feltforsøk Skarnsundet bru
Sluttrapport

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 116



Tittel

Overflatebehandling av
betongkonstruksjoner

Undertittel

Feltforsøk Skarnsundet bru
Sluttrapport

Forfatter

Jan-Magnus Østvik og Claus K. Larsen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelin-
gen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer**Rapportnummer**

Nr. 116

Prosjektleder

Jan-Magnus Østvik

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Overflatebehandling, betong, klorid, bru

Sammendrag

For å dokumentere ulike produkters klorid-
bremsende effekt og oppførsel under reelle
feltforhold, ble 10 leverandører invitert til å
overflatebehandle prøvefelt på Skarnsundet
bru i Nord-Trøndelag. Leverandørene valgte
selv produkt for utprøving, forbehandlingsme-
tode og påføringsmetode.

Overflatebehandlingene ble påført som-
meren 1993, og er undersøkt siden med
ujevne mellomrom til den siste omfattende
feltundersøkelsen ble gjennomført i 2005.
Denne rapporten oppsummerer alle under-
søkelsene og erfaringene vi har gjort i dette
prosjektet, og gir konklusjoner basert på de
resultatene som foreligger.

Title

Surface treatment of concrete structures

Subtitle

Field investigations Skarnsundet Bridge
Final report

Author

Jan-Magnus Østvik and Claus K. Larsen

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelin-
gen

Section

Tunnel og betong

Project number**Report number**

No. 116

Project manager

Jan-Magnus Østvik

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Surface treatment, concrete, chloride, bridge

Summary

In 1993 ten suppliers of surface treatment
systems were invited to apply their best prod-
uct to reduce chloride ingress on test areas
on Skarnsundet Bridge. The suppliers chose
product and cleaning procedure and applied
the product themselves.

This report summarises all investigations and
results obtained in the field trial from 1993 until
the final investigation was ended in 2005.

Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer alle feltundersøkelser og resultater fra et feltforsøk med overflatebehandling av betong på Skarnsundet bru i perioden 1993-2005. Prosjektets opprinnelige målsetning var å få oversikt over hvilke produkter og produkttyper som kunne benyttes til overflatebehandling av betongkonstruksjoner i marint miljø.

10 leverandører ble invitert til å overflatebehandle prøvefelt på et av tårnene til Skarnsundbrua i Nord-Trøndelag. Leverandørene valgte selv sitt beste kloridbremsende produkt for utprøving, forbehandlingsmetode og påføringsmetode. Overflatebehandlingene ble påført sommeren 1993, og er undersøkt siden med ujevne mellomrom til den siste omfattende sluttundersøkelsen gjennomført i 2005.

Generelt er kloridbelastningen lav på Skarnsundbrua, og konklusjonene må baseres i all hovedsak på mest eksponerte sideflater; søndre side av søndre tårnben samt søndre side av nordre tårnben.

Hovedinntrykket er at det er stort sett positiv effekt på kloridinntrenging av alle behandlingene. Unntakene er en epoxy som feiler etter all sannsynlighet på grunn av mange porer i behandlingen og et kombinasjonsprodukt hydrofobering/lasur som etter ett år så ut til å være mer eller mindre forsvunnet.

To elastiske slemmemasser ser begge ut til å gi god beskyttelse mot kloridinntrengning. Basert på visuelle observasjoner kan det se ut som om et rebehandlingsintervall på mellom 10-15 år kan være nødvendig.

Fortynnede silanprodukter ser ut til å ha meget gode kloridbremsende effekter på tross av at den synlige effekten (ved vannpåsprøyting) ser ut til å forsvinne etter kort tid. Dette er svært oppløftende resultater for moderne produkter som i større grad baseres på rene og ufortynnede silaner.

To ikke-fleksible slemmemasser ser ut til å ha svært god effekt på kloridinntrengningen. Dette skyldes nok delvis at selve slemmingen danner et beskyttende lag som kan se ut til å akkumulere klorider og dermed beskytte underliggende betong.

1	INNLEDNING	1
2	BESKRIVELSE AV SKARNSUND-PROSJEKTET	1
2.1	ORGANISERING.....	1
2.2	BESKRIVELSE AV SKARNSUNDBRUA	1
2.3	MILJØBELASTNING	2
2.4	OVERSIKT OVER DE FORSKJELLIGE FELTENE	3
2.5	PRODUKTER SOM INNGIKK I PROSJEKTET.....	5
2.6	PRØVEPROGRAM	8
3	RESULTATER OG DISKUSJON	9
3.1	VISUELLE OBSERVASJONER	9
3.1.1	<i>Produkt 1 Felt 1SS/1NS (Tett maling/epoksy)</i>	9
3.1.2	<i>Produkt 2 Felt 2SS/2NS (Elastisk slemmемasse)</i>	9
3.1.3	<i>Produkt 3 Felt 3SS/3NS (Hydrofobering, 13,4 % silan)</i>	9
3.1.4	<i>Produkt 4 Felt 4SS/4NS (Hydrofobering, 40 % silan)</i>	10
3.1.5	<i>Produkt 5 Felt 5VS/5ØS (Slemmemasse)</i>	11
3.1.6	<i>Produkt 6 Felt 6SN/6NN (Slemmemasse og maling/lasur)</i>	11
3.1.7	<i>Produkt 7 Felt 7SN/7NN (Hydrofobering/lasur)</i>	11
3.1.8	<i>Produkt 8 Felt 8SN/8NN (Slemmemasse)</i>	12
3.1.9	<i>Produkt 9 Felt 9SN/9NN (Elastisk slemmемasse)</i>	12
3.1.10	<i>Produkt 10 Felt 10ØN/10VN (Maling)</i>	12
3.1.11	<i>Referansefelt Søndre Tårnben RSS/RNS RVS/RØS (Referansefelt)</i>	13
3.1.12	<i>Referansefelt Nordre Tårnben RSN/RNN RVN/RØN (Referansefelt)</i>	13
3.2	KLORIDINNTREGNING.....	15
3.2.1	<i>Utvikling i kloridinnhold for alle feltene – analyser av utboret betongstøv</i>	15
3.2.2	<i>Utvikling i kloridinnhold for alle feltene – analyser av frest betongstøv</i>	20
3.3	VEDHEFT FOR FILMDANNENDE PRODUKTER	29
3.4	VANNMETNINGSGRAD	30
3.5	ERFARINGER FRA PROSJEKTET.....	30
4	KONKLUSJONER	31
5	REFERANSER	32
6	VEDLEGG	32

1 Innledning

Prosjektet ”Overflatebehandling av betong” ble igangsatt på starten av 90-tallet, som del av det forskningsrådsstøttede REPCON-prosjektet. På dette tidspunktet var det flere mer eller mindre seriøse aktører på markedet med mer eller mindre effektive overflatebehandlingssystemer der selgerne overbydde hverandre med sine respektive produkters fortreffelighet og unike egenskaper. Prosjektets opprinnelige målsetning var å få oversikt over hvilke produkter og produkttyper som kunne benyttes til overflatebehandling av betongkonstruksjoner i marint miljø.

For å dokumentere ulike produkters kloridbremsende effekt og oppførsel under reelle feltforhold inviterte daværende Nord-Trøndelag vegkontor (nå tilhørende Region Midt) 10 leverandører til å overflatebehandle prøvefelt på et av tårnene til Skarnsundbrua i Nord-Trøndelag [1]. Leverandørene valgte selv produkt for utprøving, forbehandlingsmetode og påføringsmetode. Feltforsøkene ble del av prosjektet Overflatebehandling av betong i REPCON. Overflatebehandlingene ble påført sommeren 1993, og er undersøkt siden med ujevne mellomrom til den siste omfattende sluttundersøkelsen gjennomført i 2005. Denne rapporten oppsummerer disse undersøkelsene og de erfaringene vi har gjort i dette prosjektet, og gir konklusjoner basert på de resultatene som foreligger.

2 Beskrivelse av Skarnsund-prosjektet

2.1 Organisering

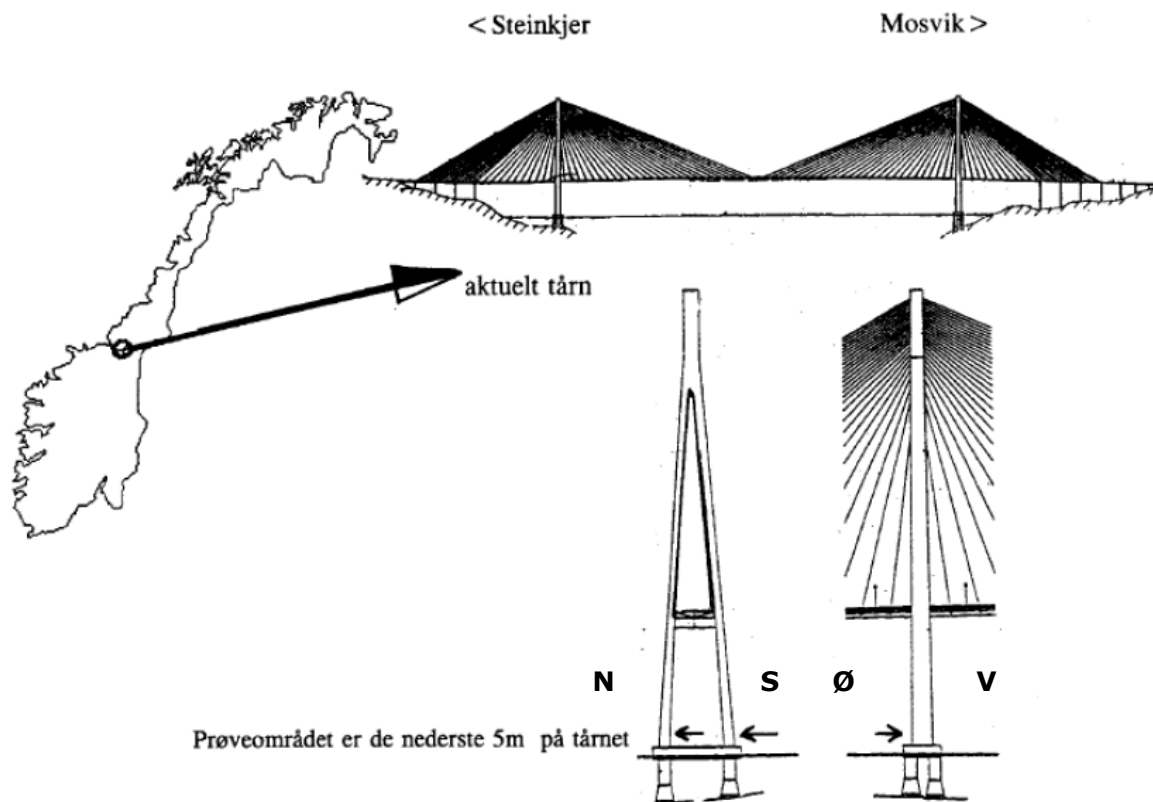
Feltprosjektet på Skarnsundbrua ble initiert av Nord-Trøndelag vegkontor, og er dokumentert og fulgt opp av Vegdirektoratet. Intern rapport 1926 [1] dokumenterer forhåndskartlegging og påføring av de ulike overflatebehandlingsproduktene.

I prosjektets driftsfase har Claus K. Larsen vært prosjektleder og gjennomført oppfølgninger i 1994, 1995, 1996, 1997 og 1998. Det er gjennomført studentprosjekter i forbindelse med prosjektet av Kaasa (1996) og Kjøs (2004 og 2005).

I slutfasen av prosjektet har Jan-Magnus Østvik fungert som prosjektleder for sluttundersøkelsene utført i 2005 samt rapporteringen som slutføres med denne rapporten.

2.2 Beskrivelse av Skarnsundbrua

Skarnsundbrua (Brunr. 17-1400) er ei skråkabelbru med total lengde på 1010m med hovedspenn på 530m. Tårnbena er utført som glidestøp. Brua ligger langs Rv 755 i Nord-Trøndelag og forbinder Inderøy og Mosvik kommune. Brua er bygd i perioden 1989-1991 av Aker Entreprenør. Geografisk beliggenhet, lengde og tverrsnitt er vist i Figur 1.



Figur 1 Figuren viser byggeprinsipp, geografisk plassering og plassering av prøvefeltene på tårnbena.

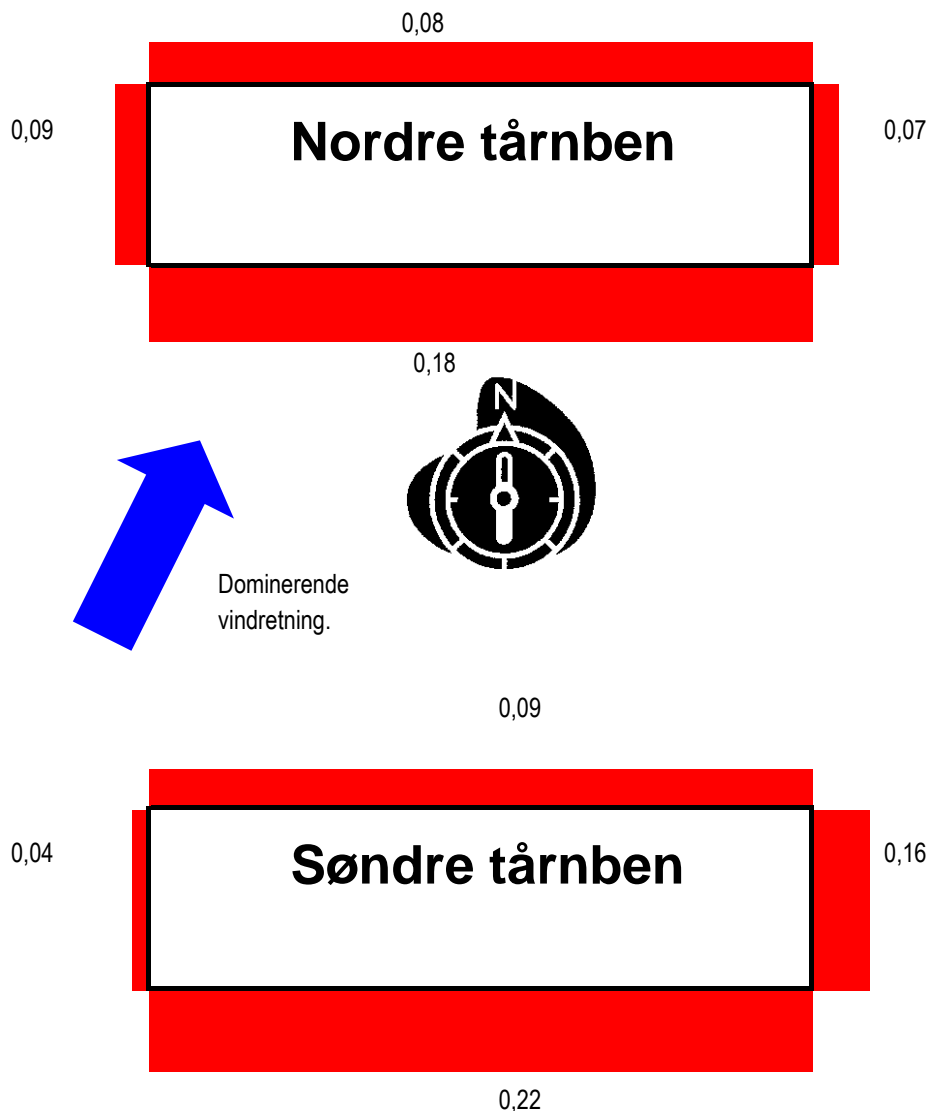
En fylldig beskrivelse av byggeprosjektet er gjengitt i "Rv755 Skarnsundbrua, Rapport nr. 1: Planlegging, Prosjektering og Bygging" september 1994. Denne rapporten oppsummerer alle vesentlige momenter i forbindelse med prosjektet. Rapporten, som er ført i hånden av Svein Hovland, finnes på Statens vegvesens Erfaringsoverføringssystem.

2.3 Miljøbelastning

Skarnsundbrua er plassert i indre kystklima. Brua krysser et sund i Trondheimsfjorden, og er dermed utsatt for både strøm og vind. I og med at denne delen av Trondheimsfjorden har stor tilgang på ferskvann fra blant annet Verdalselva er vannet deler av året å regne som brakkevann. Målinger av kloridinnholdet i sjøvannet ved Skarnsundbrua viste 0,95 % Cl⁻ (1,57 % NaCl) i mai 1993, mens det i november 1993 var 1,73 % Cl⁻ (2,85% NaCl) [1].

Brua er plassert i et område med mye vær. Det er til dels store nedbørsmengder i området i tillegg til at den ligger eksponert for kraftige vinder, spesielt fra sør og sørvestlig retning.

Kloridinnholdet i dybde 2-5 mm for referansefeltene, målt i frest støv fra utboret kjerne i 2005, er fremstilt i Figur 2. Dette indikerer kloridbelastning i forhold til himmelretning og dominerende vindretning.



Figur 2 *Kloridinnholdet (av betongvekt) i ytterste sjikt (2-5 mm) av betongen i referansefeltene*

Som det kommer frem av Figur 2 er det til en viss grad en «omvendt lo/le-effekt» på tårnbena etter 12 års eksponering. Dataene er basert på respektive sides referansefelt i høyde 1m over fundament. Vanligvis er lo/le-effekten knyttet til at høyest kloridbelastning er på le-side fordi regn i kombinasjon med dominerende vindretning vasker klorider bort fra lo-side. Bruas geometri med to store tårnben relativt tett plassert, gir tydeligvis helt spesielle lokale miljøbelastninger.

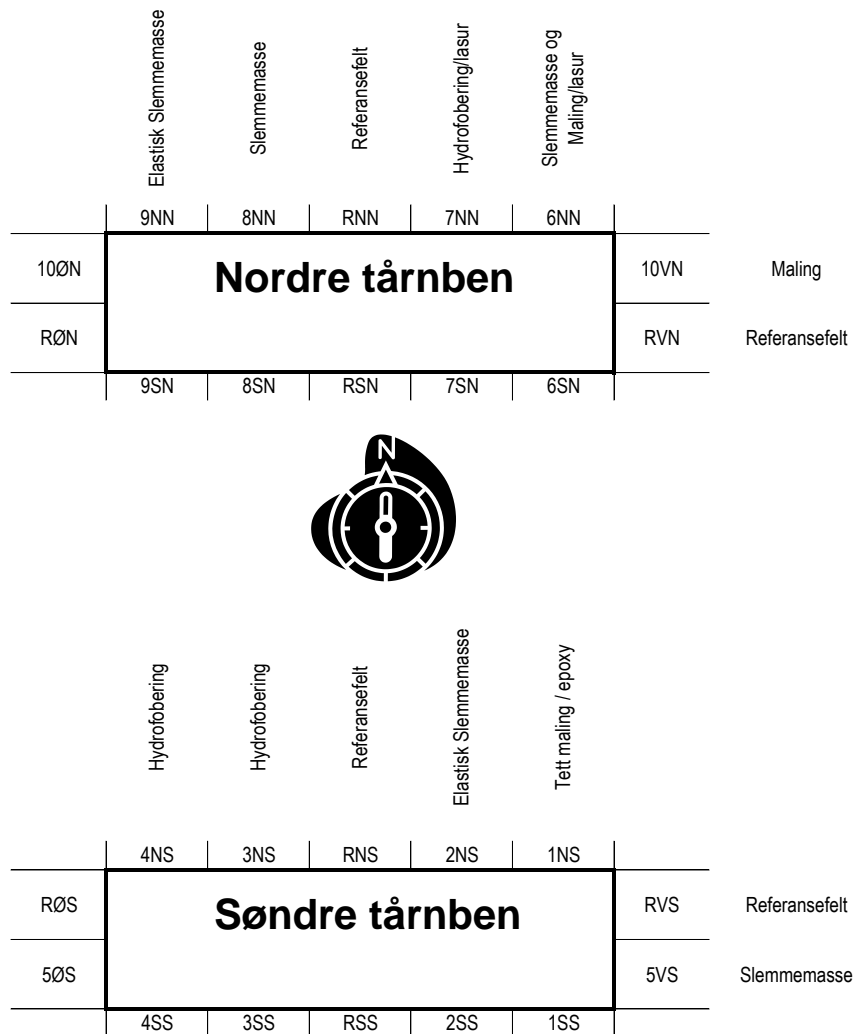
2.4 Oversikt over de forskjellige feltene

Totalt 10 produkter er uttestet på østre tårn, henholdsvis søndre og nordre tårnben, av Skarnsundbrua. Prøvefeltene er 1,2 m brede og 5 m høye. Benevnelsen for feltene er basert på følgende system:

nxy

- S = Søndre tårnben, N = Nordre tårnben
- S = Sørside, N = Nordside, Ø = Østside, V = Vestside
- 1 – 10 = produktnummer, R = ubehandlet referansefelt

Lokaliteten til prøvefeldene er gjengitt i Figur 3.



Figur 3 Overflatebehandlingsfeltenes plassering og oppbygning

2.5 Produkter som inngikk i prosjektet

10 produktleverandører ble invitert til å delta i prosjektet, med ett produkt hver. En forutsetning for deltagelsen var at leverandørene skulle stå for påføring av produktene, inkludert nødvendig forbehandling av betongen. Leverandørene ble oppfordret til å levere en rapport med en vurdering av utførelse, oppnådd resultat og forventet levetid av produktet, samt en beskrivelse av forventet vedlikeholdsbehov.

Detaljer omkring produkter og prøvefelt, samt utdrag fra leverandørrapporter, er gitt i tabell 1-10.
Kommentar: Det må vurderes hva vi skal kalle "slemmemassene". Av bl.a. kloridresultater og visuelle resultater tyder det på at det er en viss elastisitet i produktene? Det er ikke sikkert det er riktig å kalle de ikke-elastiske?

Tabell 1 Produkt 1

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
ISS og INS			Tett maling/epoxy
Produktbeskrivelse: Produktet består av en epoksy-primer med en epoksy dekklag. Forbehandling: Sandblåsing. Høytrykksspyling med varmt vann (80°C) 6 dager før påføring. Påføringsredskap: Rull og kost Generelle observasjoner under behandlingen: 1. strøk er en type grunning. Leverandøren mener produktet med fordel kunne ha blitt sprayet på med høytrykkssprøyte. 2. strøk er maling/epoksy Leverandørens egen vurdering: Leverandøren har ikke foretatt noen vurdering av oppnådd resultat, behov for etterbehandling og antatt levetid. Rapporten fra gjennomføringen av behandlingen er levert Statens vegvesen.			

Tabell 2 Produkt 2

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
2SS og 2NS			Slemmemasse (elastisk)
Produktbeskrivelse: akryl/polymer-modifisert elastisk slemmemasse Forbehandling: Sandblåsing. Høytrykksspyling med varmt vann (80°C) dagen før påføring Påføringsredskap: Kost Generelle observasjoner under behandling: Massen ser ut til å bygge bra over riss og sprekker, men for større porer og luftblærer "punkterer" massen. Dette medførte at leverandøren gikk over flaten etterpå og etterfylte disse hullene. Overflaten blir meget jevn, både med tanke på overflatestruktur (tetter riss og mindre porer) og farge. Leverandørens egen vurdering: Resultatet ser meget bra ut til tross for dårlige værforhold. Oppnådd levetid mener leverandører vil være lengre enn 20 år. Behovet for etterbehandling kan være reparasjon i sprekker som har større bevegelse enn massen er dimensjonert for.			

Tabell 3 Produkt 3

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
3SS og 3NS			Hydrofobering
<p>Produktbeskrivelse: 13,4% silan fortynnet i White Spirit Forbehandling: Høytrykksspyling med varmt vann (80°C) dagen før påføring Påføringsredskap: Kost Generelle observasjoner under behandlingen: Væsken ser ut til å trenge bra inn i overflaten, men suget er varierende over flaten. I et belte øverst i feltene er det tendenser til krakelering, og her suger betongen tydelig sterkere. Det gjøres et forsøk fra leverandørens side på å ”mette” denne delen av flaten, slik at flaten er visuelt ”mettet”. Leverandørens egne vurderinger: Det er ikke gitt noen rapport fra gjennomføringen av behandlingen, og derfor er det ikke fra leverandørens side foretatt noen vurderinger av oppnådd resultat, behov for etterbehandling og antatt levetid.</p>			

Tabell 4 Produkt 4

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
4SS og 4NS			Hydrofobering
<p>Produktbeskrivelse: 40% silan fortynnet i White Spirit Forbehandling: Sandblåsing Påføringsredskap: Lavtrykkssprøyte Generelle observasjoner under behandling: En halvtime etter påføring av første strøk begynte det å blåse kraftig fra SV og det regnet. Regnet slår ikke direkte inn på flaten som er nybehandlet Leverandørens egen vurderinger: Det kan være en ulempe å fjerne den ytterste ”betonghuden”, idet denne huden kan være relativt tett til å begynne med. Leverandøren regner med en levetid på ca 10 år, og ved eventuelle etterbehandlinger anbefales det å rengjøre ved høytrykksspyling. Deretter gjentas impregneringen</p>			

Tabell 5 Produkt 5

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
5VS og 5ØS			Slemmemasse
<p>Produktbeskrivelse: Akrylmodifisert sementbasert slemmemasse Forbehandling: Høytrykksspyling med varmt vann dagen før og 1 time før påføring. Kaster på vann med kost 5 minutter før påføring av 1. strøk, og underveis i påføringen grunnet tørr overflate Påføringsredskap: Kost Generelle observasjoner under behandlingen: Det begynte å regne to timer etter 1. strøk. Massen vaskes ut på mindre flater i nederste del av feltet – der det ble påført sist. Utvaskingen starter lokalt i større porer i betongoverflaten, og brer seg utover til knyttnevestore flater. De utvaskede massene fjernes (koster bort) før 2. strøk. Dekker til feltet med plast etter 2. strøk. Leverandørens egen vurdering: Det er ikke gitt noen rapport fra gjennomføringen av behandlingen, og derfor er det ikke fra leverandørens side foretatt noen vurderinger av oppnådd resultat, behov for etterbehandling og antatt levetid.</p>			

Tabell 6 Produkt 6

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
6SN og 6NN			Porefyller +lasur
<p>Produktbeskrivelse: Kombinasjon av en sementbasert slemmemasse (porefyller) og en vannavvisende lasur (siloksanbasert)</p> <p>Forbehandling: Sandblåsing. Porefyller med slemmemassen. Koster på vann like før påføring av slemmemassen</p> <p>Påføringsredskap: 1. strøk er slemmemasse/porefyller, og det brukes kost. 2. strøk er lasur, som rulles på.</p> <p>Generelle observasjoner under behandlingen: Slemmemasse: Massen er relativ ”stiv” og grov, og fyller meget godt i porene. Leverandøren overser de øverste 50-60 cm av feltet, og må påføre her ca 45 minutter etter avslutning av 1. strøk. Det begynner å regne 1 time etter porefylling, og feltet dekkes med plast.</p> <p>Leverandørens egen vurdering: Beliggenheten på Skarnsundet bru gjør at slitasjen på overflatebehandlingen må betegnes å være stor. For lasuren beregnes gjenbehandlingstiden normalt å være ca 10 år. Ved gjenbehandling varmtvannsspyles kun overflaten før etterbehandling på nytt med ett strøk lasur</p>			

Tabell 7 Produkt 7

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
7SN og 7NN			Filmdannende impregnering
<p>Produktbeskrivelse: Mellomting mellom impregnering og lasur, og består av en styrene/akrylat-copolymer løst i xylen.</p> <p>Forbehandling: Høytrykksspyling med varmt vann ca. to uker før påføring</p> <p>Påføringsredskap: Lavtrykkssprøyte, 5 bar</p> <p>Generelle observasjoner under behandlingen: Væsken er mer tyktflytende enn impregneringer på silan/siloksan-basis, og den danner en film som under herding er litt klebrig. Væsken trenger ujevnt inn, noe som sannsynlig skyldes ujevnt sug i betongen.</p> <p>Leverandørens egen vurdering: Det er ikke gitt noen rapport fra gjennomføringen av behandlingen, og derfor er det ikke fra leverandørens side foretatt noen vurderinger av oppnådd resultat, behov for etterbehandling og antatt levetid.</p>			

Tabell 8 Produkt 8

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
8SN og 8NN			Slemmemasse (ikke elastisk)
<p>Produktbeskrivelse: Akrylmodifisert sementbasert slemmemasse</p> <p>Forbehandling: Sandblåsing. Høytrykksspyling med varmt vann dagen før påføring. Kostet vann på hele flaten like før påføring</p> <p>Påføringsredskap: Kost</p> <p>Generelle observasjoner under behandlingen: Vannet preller av på områder med synlig membranherder – her kan det skrapes av voks. Vannet preller også av på områder uten synlig membranherder – her kan det ikke skrapes av voks. Kan dette være et resultat av at membranherderen kan ha blitt smeltet ved høytrykksspyling med varmt vann (opp til 70-80°C) og trengt inn i betongen? Felt 8NN er ”verre” i betydning mer herdemembraner og større flater hvor vannet preller av, enn felt 8SN</p> <p>Leverandørens egen vurdering: Ved ”normale” forhold vil slemmemassen ha en levetid på 50 år +. Vi vil anslå en tilsvarende levetid i dette tilfellet, men et forbehold må tas; den store mengden av herdemembran som fremdeles sitter på overflaten kan medføre svikt i vedheften mellom slemmemassen og betongen.</p>			

Tabell 9 Produkt 9

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
9SN og 9NN			Slemmemasse (elastisk)
<p>Produktbeskrivelse: akryl/polymer-modifisert slemmemasse Forbehandling: Sandblåsing. Kostet vann på hele flaten ca ½ time før påføring. Påføringsredskap: Kost Generelle observasjoner under behandlingen: Det begynner å regne rett etter både 1. og 2. strøk. Dekker til feltet (9SN) med plast i begge tilfellene. Plasten ble presset mot den ferske massen pga vind, slik at et tynt slamlag festet seg på innsiden av plasten. Litt regn renner på innsiden av plasten, men ingenting av massen vaskes ut. Massen er tyntflytende, har tendens til å renne og tetter ikke porer større enn 2-3 mm. De store porene blir dekket innvendig, men de fylles ikke. Leverandørens egen vurdering: Levetiden er basert på 8 år eller mer. Vi tar forbehold om heft på eventuelle herdemembran. Det er normalt ikke nødvendig med etterbehandling før etter 8 år eller mer. Ved skader eller ved behov av ny behandling anbefales følgende: høytrykksspyling, forvanning og slemming i 2 strøk, ca 3 kg/m².</p>			

Tabell 10 Produkt 10

FELT:	FIRMA:	PRODUKT:	PRODUKTTYPE:
10VN og 10ØN			Maling
<p>Produktbeskrivelse: Vannbasert copolymer lateks Forbehandling: Høytrykksspyling med varmt vann (80°C) før påføring. Det er viktig at overflaten ikke er tørr ved påføring. Påføringsredskap: Rull Generelle observasjoner under behandlingen: Overflaten var meget fuktig ved start påføring. På den øverste delen av feltet perlet vannet seg. Det ble brukt kost for å ”stappe” stoff inn i porene. Ca 10 minutter etter påføring av 2. strøk kommer det styrtregn, og deler av dette strøket vaskes bort og renner utover fundamentet. Nytt 2. strøk påføres dagen etter. Leverandørens egen vurdering: Vi anser resultatet av behandlingen som god, men vi må ta et lite forbehold om heftfastheten mellom første og andre strøket. Levetiden med påførende to strøk er inntil 20 år. Etterbehandling med høytrykksspyling og et strøk med uttynnet maling og deretter et strøk med uforynnet maling.</p>			

2.6 Prøveprogram

Følgende kontroller og prøving er utført i prosjektperioden.

	1993	1994	1995	1996	1997	2004	2005	2006
Visuell kontroll	X	X	X	X	X	X	X	X
Hydrofob effekt på overflaten		X	X		X	X		
Kloridanalyser (Quantab) av utboret betongstøv	X	X	X	X	X		X	
Kloridanalyser (titrering) av frest betongstøv	(X)				(X)		X	
Fuktprøving av utborede betongprøver							X	
Heftprøving		X			X		X	

3 Resultater og diskusjon

3.1 Visuelle observasjoner

I det etterfølgende vil hvert enkelt produkt gjennomgås med tanke på de visuelle observasjoner som er opptegnet gjennom prosjektperioden. Alle felt før påføring i 1993 er dokumentert med hensyn til riss, krakelering og andre overflateobservasjoner – se skisser i [1].

3.1.1 Produkt 1 Felt 1SS/1NS (Tett maling/epoksy)

Visuelle observasjoner 1994:

Produktet er fullt av små porer jevnt over hele flaten. Størrelsen varierer fra 0,05 - 0,5 mm, med flest i området 0,1 - 0,2 mm.

Produktet dekker løfteriss og andre riss i betongen generelt bra, men øverst i høyre hjørne av feltet er et område med krakelering ufullstendig dekket, og i noen tilfeller ubehandlet.

Visuelle observasjoner 2005:

Det var ingen avflassing eller misfarging av dette belegget. Fargen er noe bleket, spesielt på felt 1SS. I felt 1SS på høyre side var det noen riss i belegget ca 1-1,5 m over fundamentet. Dette skyldes sannsynligvis levende riss i betongen under belegget. Belegget har en del små porer. I felt 1NS var det noen gamle riss. I dette feltet ble det observert noen rustlignende partikler på overflaten. Det var flere av prøvefeltene på bruene som hadde disse rustpartiklene. Årsaken til dette er ukjent. Da det ble sprutet vann på belegget rant det hurtig nedover flaten og en vannfilm på overflatebehandlingen ble dannet.

3.1.2 Produkt 2 Felt 2SS/2NS (Elastisk slemmehemasse)

Visuelle observasjoner 1994:

En meget tett overflate, med få eller ingen porer. Produktet er fleksibelt (det "gir etter" når en prøver å ripe med en nøkkel). Enkelte små porer i overflaten (etter påføringen) med størrelse 0,1 - 0,5 mm. Et grovt vertikallriss mot referansefelt RNS er dekket meget godt, og synes ikke.

Visuelle observasjoner 2005:

I felt 2SS har reparasjonsmørtel rent nedover feltet, så høyre del av prøvefeltet er lite estetisk. Ellers er overflatene jevne og fine. Det var ingen avskalling eller misfarging av beleggene. Det ble ikke observert noen riss i beleggene. Vannet rant bra nedover feltene, og det ble dannet en tynn vannfilm på belegget da en sprutet vann på flaten. Belegget var fortsatt elastisk. Noe mer elastisk i felt 2NS enn i 2SS noe som kan skyldes nedbrytning av lateks på grunn av høy solpåvirkning.

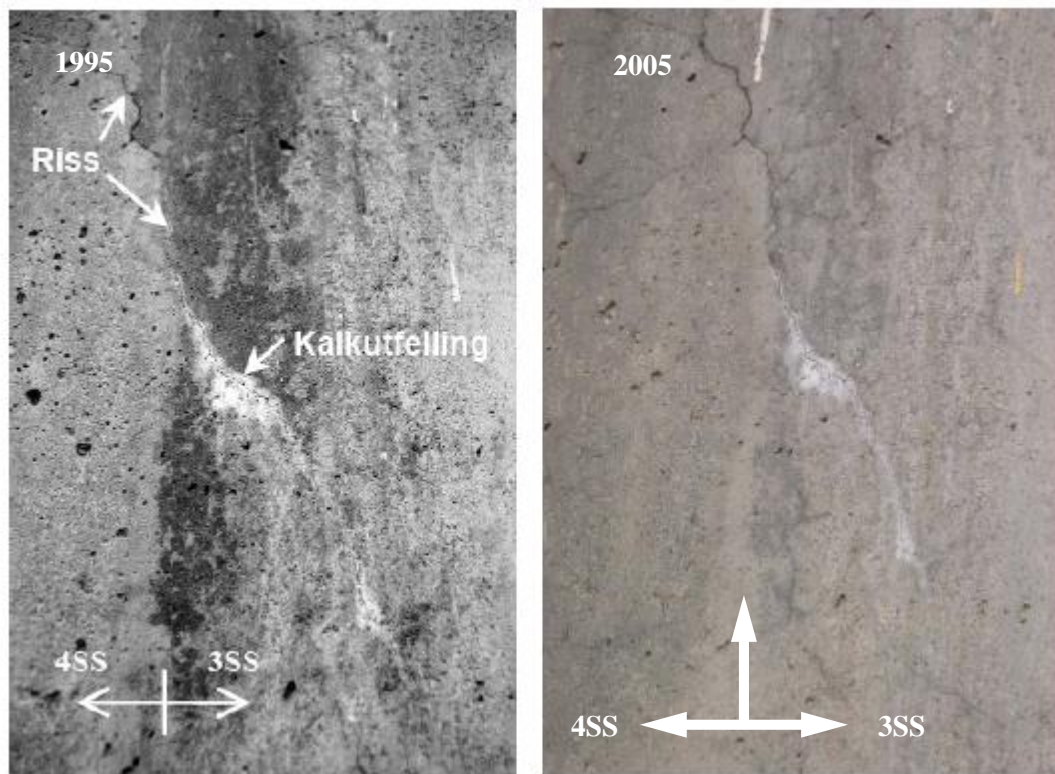
3.1.3 Produkt 3 Felt 3SS/3NS (Hydrofobering, 13,4 % silan)

Visuelle observasjoner 1994:

Produktet er "usynlig", og vann preller av på overflaten.

Spesiell observasjon 1995:

Hydrofoberingen er fremdeles aktiv og vann preller av. Det er fukt i rissene, spesielt er dette tydelig i et vertikallriss til venstre i feltet. Dette risset er 0,2 - 0,5 mm vidt, og mulig levende idet et område med reparasjonsmørtel er opprisset. I et skråriss mot felt 4SS (til venstre) er det hvit utfelling, som opphører akkurat på grensen til 4SS.



Figur 4 Kalkutfelling i riss mellom felt 4SS (venstre) og felt 3SS (høyre), bilde til venstre er fra 1995 (foto: Claus K. Larsen) og bildet til høyre er fra 2005 (foto: Ann K. Kjøs).

Visuelle observasjoner 2005:

Misfarget betongoverflate med kalkutfelling. Flere riss. Hydrofoberingen ser ut til å ha mistet sin funksjon i overflaten (alt påført vann trekker inn i betongen.) I felt 3SS var det en del krakelering og misfarging av betongoverflaten. Det var kalkutfelling i et riss nær 4SS. Dette risset ble observert i 1993 under forhåndskartleggingen, men kalkutfellingen ble første gang observert av Claus K. Larsen i 1995. Det så ikke ut som risset hadde utviklet seg noe fra den gang. Risset går mellom felt 3SS og felt 4SS.

Det var en del fuktige riss av nyere dato i feltene. I felt 3SS var det blant annet to skrå riss (ca 0,7m) som gikk sammen til et vertikalt riss (1,5 m). Risset var formet som en Y, og så nytt ut.

3.1.4 Produkt 4 Felt 4SS/4NS (Hydrofobering, 40 % silan)

Visuelle observasjoner 1994:

Produktet er usynlig, og vann preller av. For felt 4NS er den hydrofobierende effekten tvilsom, da vann fukter overflaten og trekker inn i betongen.

Visuelle observasjoner 2005:

Overflaten i disse feltene var ikke på langt nær så misfarget som felt 3SS. I felt 4NS var det en del små gamle fuktige riss. Det var et langt horisontalt riss ca 1 m over fundamentet. Dette risset var gammelt og ble registrert allerede før produktet ble påført prøvefeltet. I felt 4SS var det noen store fuktige vertikallriss av nyere dato. Spesielt til venstre i prøvefeltet. Det var også i dette feltet litt krakelering og små riss. Disse overflatene var ikke vannavvisende. Alt påsprøytet vann ble sugd inn i betongen.

3.1.5 Produkt 5 Felt 5VS/5ØS (Slemmemasse)

Visuelle observasjoner 1994:

Mange porer jevnt over hele flaten. Porene er i størrelsesorden 0,05 - 0,1 mm, med noen få større opp mot 0,8 mm. Det er områder på overflaten som er lysere. Dette kan sannsynligvis skyldes utskilling av lateks under herdefasen. Flaten fuktes lett av vann, som trekker langsomt inn.

Visuelle observasjoner 2005:

Overflatene i disse feltene så jevnt ut, og det var ingen avskalling. Overflatene så enkelte plasser litt "skjoldet"/fuktig ut på tross av at det under inspeksjonen ikke hadde regnet på flere uker. Dette kan rett og slett bare være skitt på overflaten. I forhold til mange av de andre slemmemassene er denne av utseendemessig karakter styggere å se på. I felt 5VS var det en del mørke striper på overflaten, særlig på høyre del av feltet. Dette kom av fukt fra underliggende riss som har trengt gjennom belegget. Vannet trakk godt inn i belegget når en spruter vann på flatene.

3.1.6 Produkt 6 Felt 6SN/6NN (Slemmemasse og maling/lasur)

Visuelle observasjoner 1994:

Overflaten er homogen, med porer jevnt over hele flaten. Porene har størrelse fra 0,05 til 0,20 mm. Produktet virker litt fleksibelt ved å "ripe" med en nøkkel. Vann preller av ved påsprutning.

Visuelle observasjoner 2005:

Overflaten så jevn og fin ut. Det var ingen avskalling eller misfarging av flatene. I felt 6NN var det en del rustpartikler som tidligere nevnt. Det var også i dette feltet to riss på høyre side. I felt 6SN var det noen fuktige striper på belegget, dette kom mest sannsynlig fra fukt som har trengt gjennom belegget fra underliggende riss. Det ble ikke registrert noen gjennomgående riss i dette feltet. Vannet rant raskere ned flaten i felt 6NN, enn i felt 6SN når det ble sprutet vann på belegget, men mye av vannet trakk inn i belegget.

3.1.7 Produkt 7 Felt 7SN/7NN (Hydrofobering/lasur)

Visuelle observasjoner 1994:

Produktet danner en overflate som virker som den er lakkert - hard og blank. I områder med tykk påføring mikrokrakelerer produktet. Krakeleringen er sjelden i områder med tynne sjikt. Produktet bygger ikke over riss (mellom 0,05 og 0,10 mm) som var i betongen ved påføring, og sprekker opp ved levende riss. I rissgrensene "flasser" produktet med bredde 0,2 - 0,4 mm. Vann preller perfekt av ved påsprutning.

Visuelle observasjoner 1995:

Overflaten virker mindre lakkaktig ved at den ikke er så blank som i 1994. Krakeleringen og risstendensen er den samme som for 1994. Vann preller av.

Visuelle observasjoner 1996:

Overflaten har mistet sitt "lakkpreg" og er matt og har endret farge til lys gul. Vann preller for det meste ikke av, og overflaten fuktes ved at vann trekker inn.

Visuelle observasjoner 2005:

Overflaten har en mørk betongfarge. Det virker som produktet ikke lenger er der. Det var ingen misfarging av overflaten. I felt 7SS var det noen riss av nyere dato. Helt til venstre i felt 7SN var det et riss i betongen på ca 2 m med kalkutfelling. Dette risset ble registrert allerede før produktet ble påført

flaten. Vannet rant bra i forhold til de andre hydrofoberings feltene når en spruter vann på, men en del blir sugd inn i betongen.

3.1.8 Produkt 8 Felt 8SN/8NN (Slemmemasse)

Visuelle observasjoner 1994:

Et meget homogent produkt med kun få små porer. Produktet er litt fleksibelt ved å skrape med en nøkkel. Ved å "ta hardt i" kan produktet "skrapes av". Et underliggende vertikalriss i betongen (til høyre i feltet) kan sees med det blotte øye på overflaten. Overflaten i 8NN er som for felt 8SN, men her er enkelte underliggende riss i betongen synlige grunnet fukt i rissene. Dette er et vertikalriss med rissvidde mindre enn 0,05 mm (til høyre i feltet) og et vertikalriss med rissvidde opp til 0,15 mm (til venstre i feltet)

Visuelle observasjoner 2005:

Overflaten i felt 8NN så bedre ut enn felt 8SN, der den så litt "skjoldet" ut. Det ble registrert et langt riss til venstre i felt 8SN allerede før produktet ble påført overflaten. Nå er det registrert et riss i slemmemassen i samme området, og dette er mest sannsynlig det samme risset. Opprissingen har ført til avskallinger i dette området. Det ble også observert et riss i belegget på venstre side, men dette var mye mindre. Til venstre i felt 8NN ble det registrert et langt fuktig vertikalriss (ca 2m langt) som bøyde av mot nabofeltet. Dette risset ble registrert i betongen før belegget ble påført feltet (se vedlegg 6). Det var også et langt fuktig riss nederst til venstre i feltet. Risset hadde kalkutfelling og en stor fuktbredde. Det kunne se ut som vann hadde rent ned flaten over lengre tid, og delvis vasket ut belegget nederst rundt risset. Vannet trakk godt inn i belegget når vann ble sprutet på overflaten.

3.1.9 Produkt 9 Felt 9SN/9NN (Elastisk slemmemasse)

Visuelle observasjoner 1994:

Overflaten er homogen med få porer. Enkelte porer i størrelsesorden 0,2 mm. Underliggende riss i betongen er bygget over og synes ikke. Produktet er fleksibelt ved at det "gir etter" når en skrapper med en nøkkel. Større porer og luftblærer i betongoverflaten er mangelfullt dekket.

Visuelle observasjoner 2005:

Det var ingen misfarging eller avskalling i disse feltene, men det var en del større porer og luftblærer som var dårlig dekket. Det ble ikke observert noen synlige riss i beleggene i de to feltene. Belegget var fortsatt elastisk. Ved vannpåspritning rant vannet forholdsvis bedre i felt 9SN sammenlignet med felt 9NN. Vannet så mer ut som det dannet en vannfilm på overflaten, enn at det trakk inn i belegget.

3.1.10 Produkt 10 Felt 10ØN/10VN (Maling)

Visuelle observasjoner 1994:

Meget porøst produkt, med utallige porer i størrelsesorden 0,05 mm og mange i 0,10 mm området. I områder med tykke sjikt, for eksempel i større porer/luftblærer i betongen, har produktet krakelert og sprukket opp. Vann preller av ved påsprøyting.

Visuelle observasjoner 2005:

Det var ingen misfarging eller avskalling av belegget. I felt 10ØN var det en del rustpartikler på flaten i størrelsesorden 0,5-1,0 mm. I felt 10ØN var det noen riss i den underliggende betongen som syntes på overflaten. Vannet rant bra når en sprutet vann på flaten, det ble dannet en vannfilm på belegget.

3.1.11 Referansefelt Søndre Tårnben RSS/RNS RVS/RØS (Referansefelt)

Visuelle observasjoner 1994:

Ingen spesielle merknader for RSS. I RNS er overflaten mer hydrofob enn overflaten i 4NS (som er sandblåst og hydrofobert). Dette er etter all sannsynlighet på grunn av herdemembran. For RVS og RØS er membranherderen lite aktiv, og i størst grad nederst på feltet. I et vertikalt riss mot 5VS er det en god del hvit utfelling (kalkutfelling)

Visuelle observasjoner 2005:

Overflaten i felt RSS hadde en del misfarging, krakelering og små riss. Det var også en del svarte striper på overflaten i de to referansefeltene, dette kom mest sannsynlig fra forskalingsformen. Til venstre nede i felt RNS var det noen lange vertikallriss. Disse ble observert allerede før produktene ble påført prøvefeltene.

Overflaten i feltene RVS/RØS er litt misfarget, men ikke på langt nær så mye som felt RSS. I felt RVS var det en del krakelering og fuktige sprekker. I felt RØS var det et langt vertikallriss helt til venstre i feltet, og dette så ganske nytt ut.

3.1.12 Referansefelt Nordre Tårnben RSN/RNN RVN/RØN (Referansefelt)

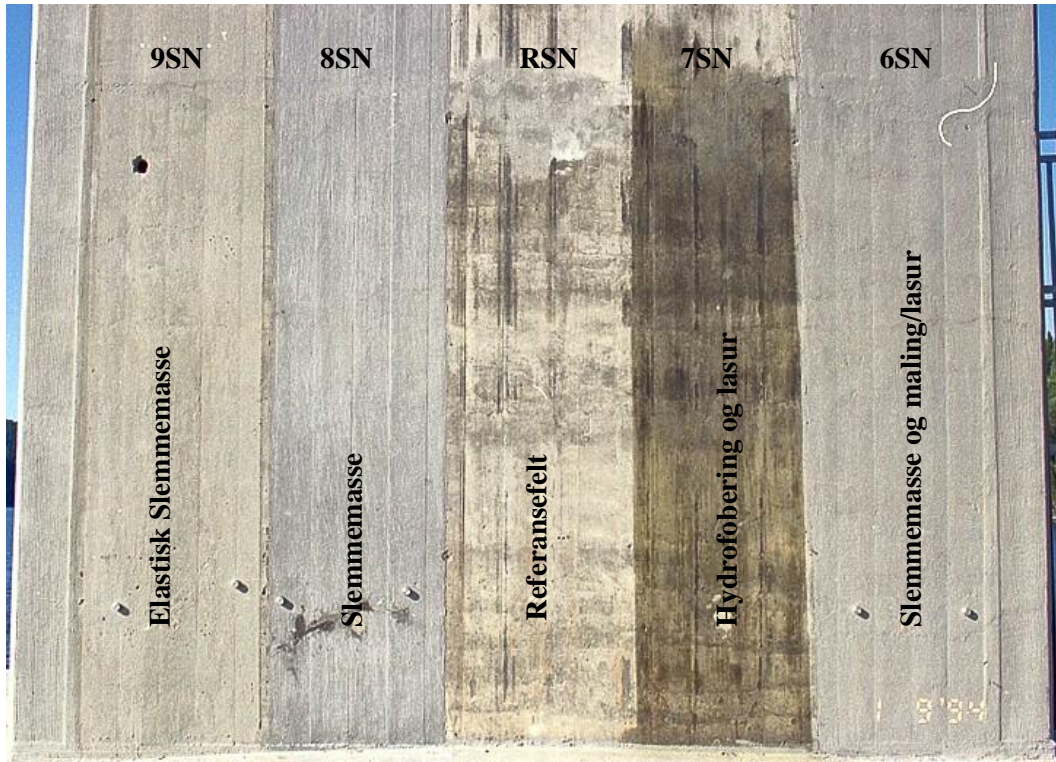
Visuelle observasjoner 1994:

For RSN og RNN er membranherder fremdeles aktiv, ved at vann preller ved påsprøyting på enkelte områder. Denne effekten er større i omfang på RNN en på RSN.

For RVN og RØN er det ikke nedtegnet noen observasjoner i 1994.

Visuelle observasjoner 2005:

Betongen var litt misfarget i RSN/RNN. I felt RSN ble det registrert noen gamle riss, mens det i felt RNN var en del krakelering. I felt RØN var det litt krakelering. Det ble også observert et gammelt vertikallriss til høyre i feltet. Betongflaten i felt RVN var litt misfarget. Helt til venstre i dette feltet var det et langt fuktig vertikallriss som gikk fra fundamentet og 2m oppover.



Figur 5 *Søndre side av nordre søyle i 1994 øverst, 2005 nederst. Legg spesielt merke til forskjellene for produkt 7 til høyre for RSN (midt på bildet.)*



Figur 6 Produkt 1 og 2 på nordre side av søndre tårn i 1994 til venstre og 2005 til høyre. Bildet viser også omfanget av prøver som er tatt ut gjennom prosjektet. 1NS (grønn) til venstre, 2NS (grå) til høyre.

3.2 Kloridinntregning

3.2.1 Utvikling i kloridinnhold for alle feltene – analyser av utboret betongstøv

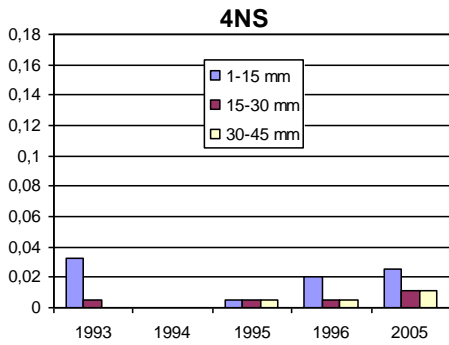
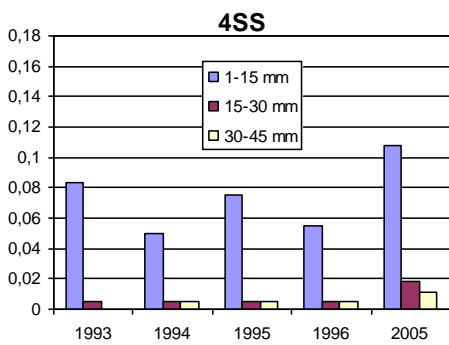
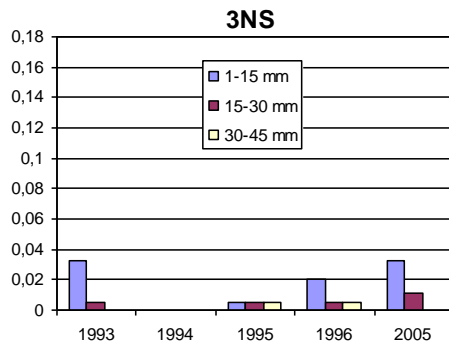
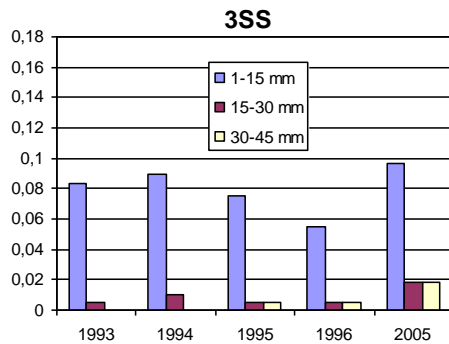
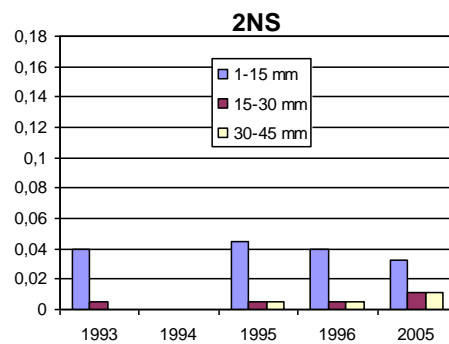
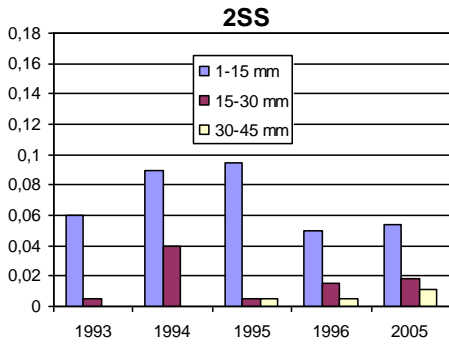
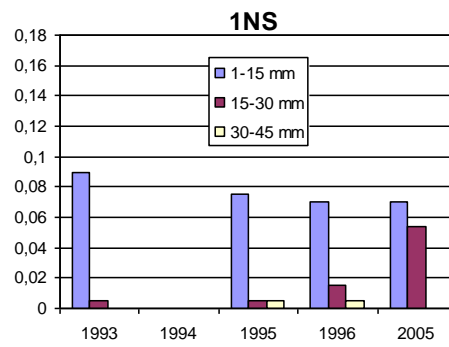
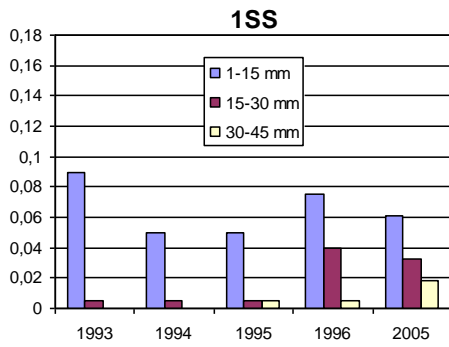
Før produktene ble påført i 1993 ble det utført kloridanalyser av utboret støv fra samtlige prøvefelt for å bestemme det initielle kloridinnholdet i betongen. Betongstøv ble boret ut i følgende dybder fra betongoverflata: 1-15 mm, 15-30 mm og 30-45 mm.

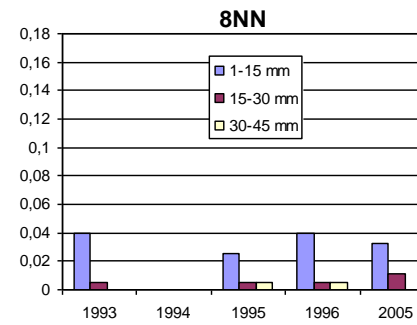
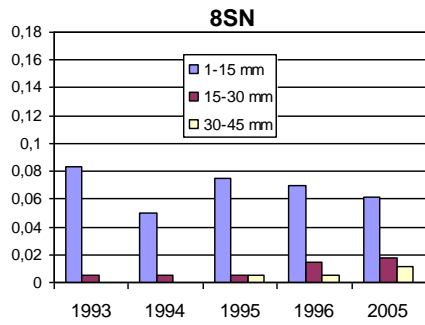
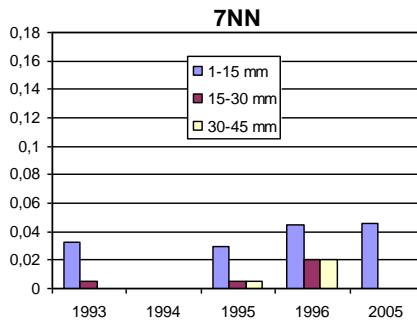
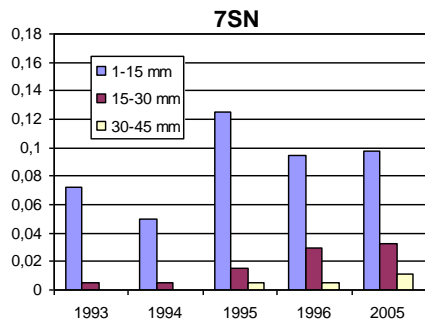
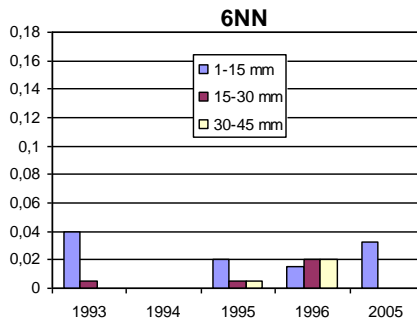
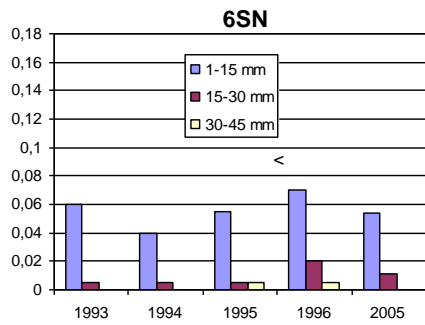
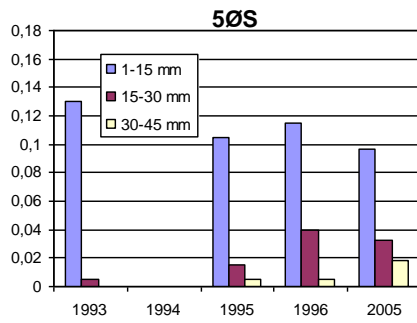
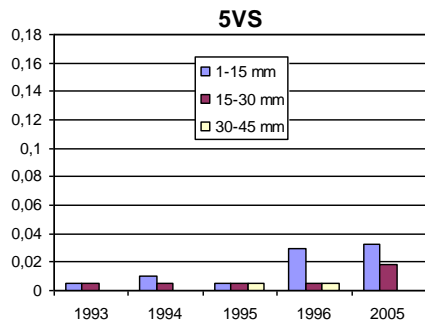
For å følge utviklingen i kloridinntregning er betongstøv boret ut fra de samme intervaller også etter hhv 1, 2, 3 og 12 års eksponering.

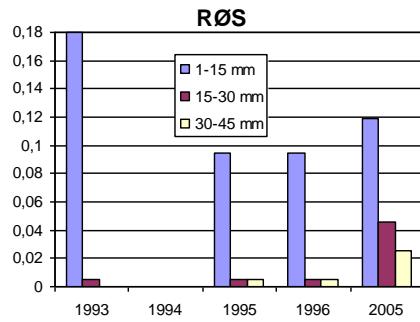
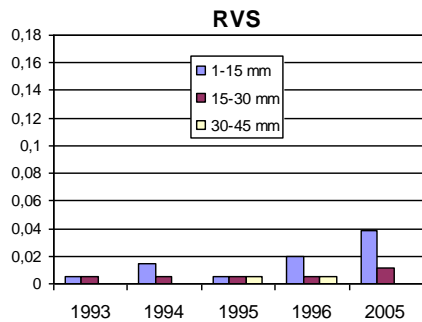
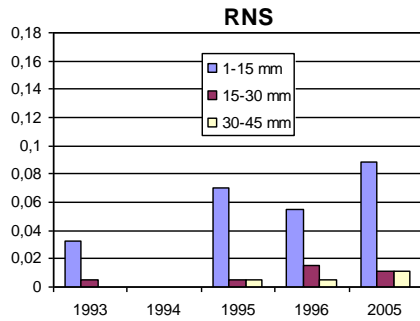
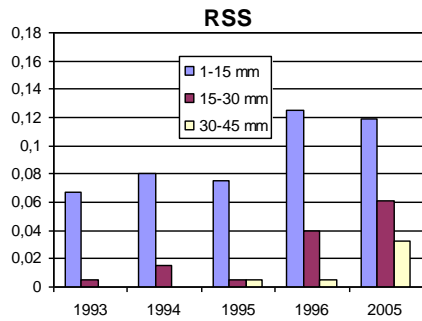
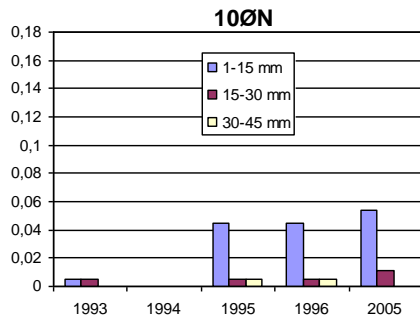
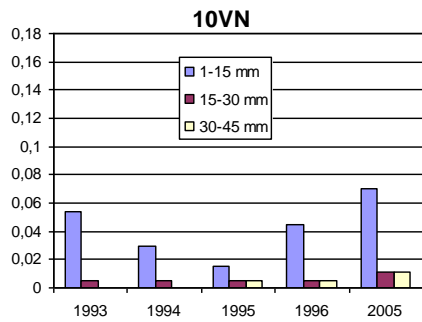
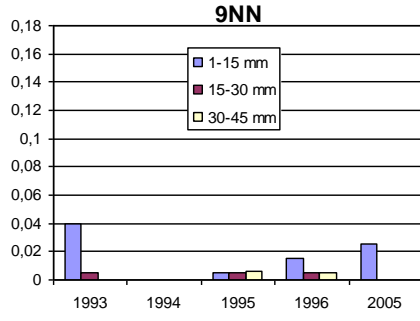
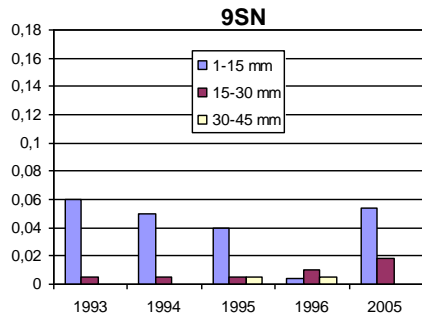
Hver støvprøve (intervall) består av betongstøv fra til sammen 5 borhull, og støvprøvene er boret ut ca 1 m over fundamentet.

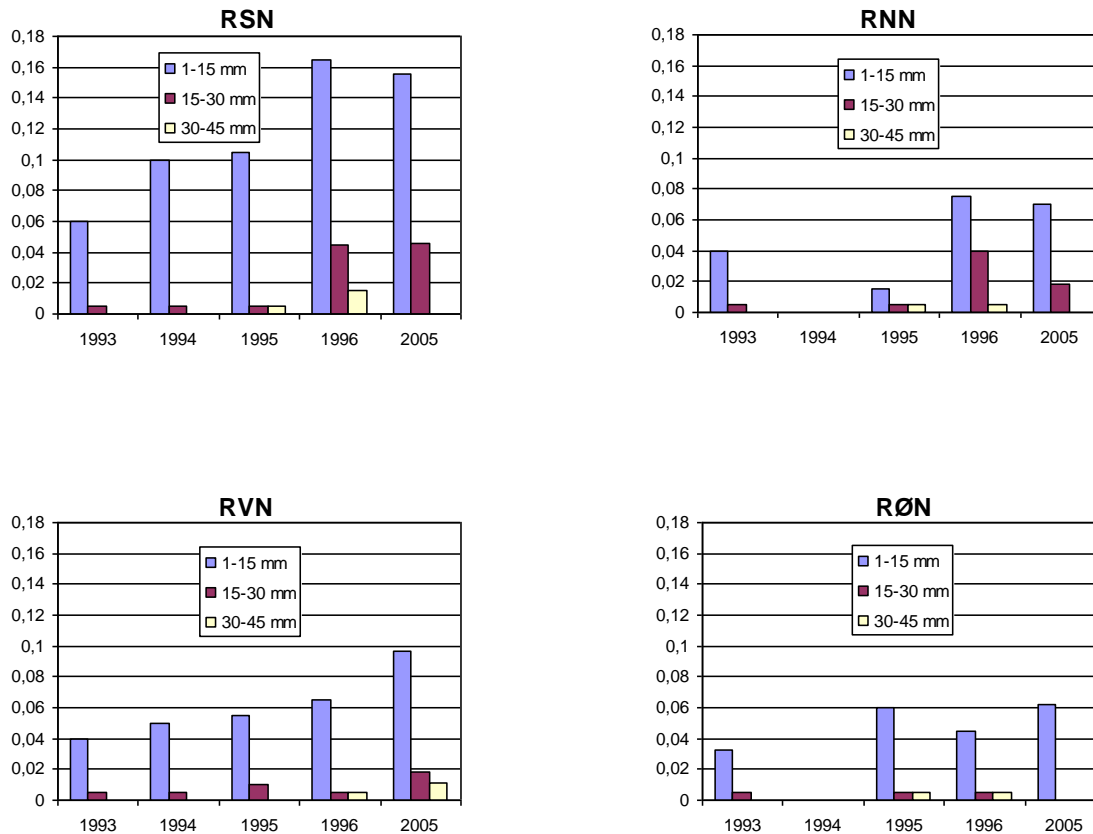
Betongstøv er boret ut ved håndholdt drill og kloridanalysene er utført ved Quantb-metoden. Quantab-analysene er utført av ansatte ved Statens vegvesen sitt laboratorie i Steinkjer for undersøkelser fra 1993 til 1998, og av Ann Kristin Kjøs i 2005.

På de neste sidene (figur 7-34) er resultatene fra alle års oppfølging av kloridinnholdet presentert, for alle feltene.









Figurene 7 – 34 Kloridinnhold ved forskjellige tidspunkt fra påføring (1993) frem til siste undersøkelse i 2005. Kloridinnhold i % av betongvekt og utført med Quantab analyse.

Quantab metoden er en feltmetode med begrenset nøyaktighet sammenlignet med laboratoriemetoder. I tillegg er metoden avhengig av støvuttak og nøyaktigheten under analysen. Med de svært lave kloridinnholdene i betongen på Skarnsundbrua, som ofte ligger i nedre del av hva som kan finnes ved Quantabanalyse, kan ikke disse resultatene tillegges vekt. Ingen konklusjoner eller trender kan underbygges med noen grad av sikkerhet basert på disse analysene.

Usikkerheter omkring kloridanalysene basert på Quantab medførte at det ble gjennomført titeringsanalyse (potensiometrisk titring) av frest betongstøv fra kjerner. Dette ble kun utført i 2005, og i et lite omfang i 1996 i forbindelse med studentoppgaven til Kåsa [3]. Før behandlingene ble påført i 1993 ble det også utført tilsvarende analyser, men dog i begrenset omfang. Det er gjennomført sammenligninger der dette er mulig. Dette gir et bedre grunnlag for klarere slutninger enn de øvrige resultatene.

3.2.2 Utvikling i kloridinnhold for alle feltene – analyser av frest betongstøv

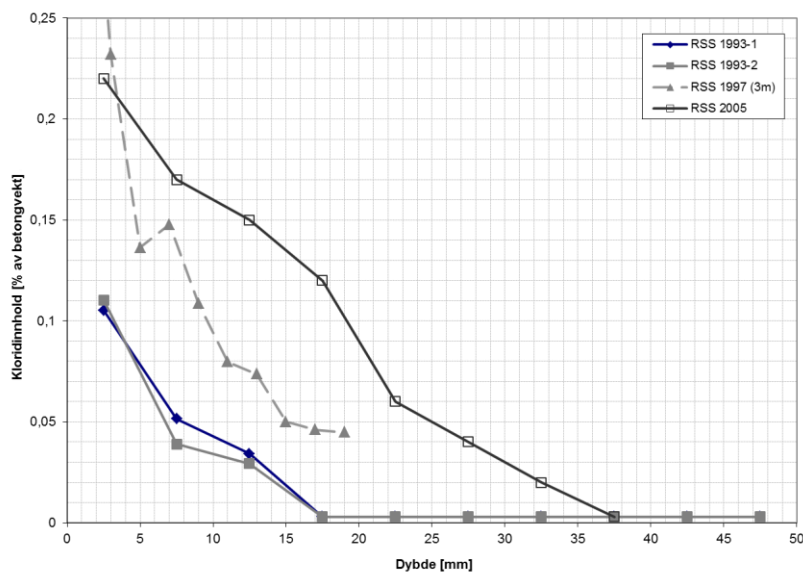
Før produktene ble påført i 1993 ble det boret ut to kjerner for fremstilling av detaljerte kloridprofiler. Kjernene ble boret ut fra referansefelt RSS, i høyde ca 1,3 m over fundament.

Irene U. Kåsa gjennomførte feltdelen av sin diplomoppgave på Skarnsundbrua i 1997 [3]. Dette besto av 18 utborete kjerner (Ø60) fra tre felt på Skarnsundet bru – RSS, 3SS og 4SS. Prøvene ble boret ut i 3 høyder: 1, 2 og 3 m over fundamentet. To paralleller for hver prøve.

Ved siste undersøkelse i 2005, etter 12 års eksponering ble det boret ut 1 kerne fra hvert prøvefelt for fresing i følgende sjikt: 2-5 mm, 5-10 mm, 10-15 mm, 15-20 mm, 20-25 mm, 25-30 mm, 30-35 mm, 35-40 mm, 40-45 mm, 45-50 mm, altså 10 sjikt per prøve. Alle kjerner ble boret ut ca. 1 m over fundamentet.

Alle kloridanalyser av frest støv er utført ved potensiometrisk titrering, ved Statens vegvesens sentrallaboratorium i Oslo.

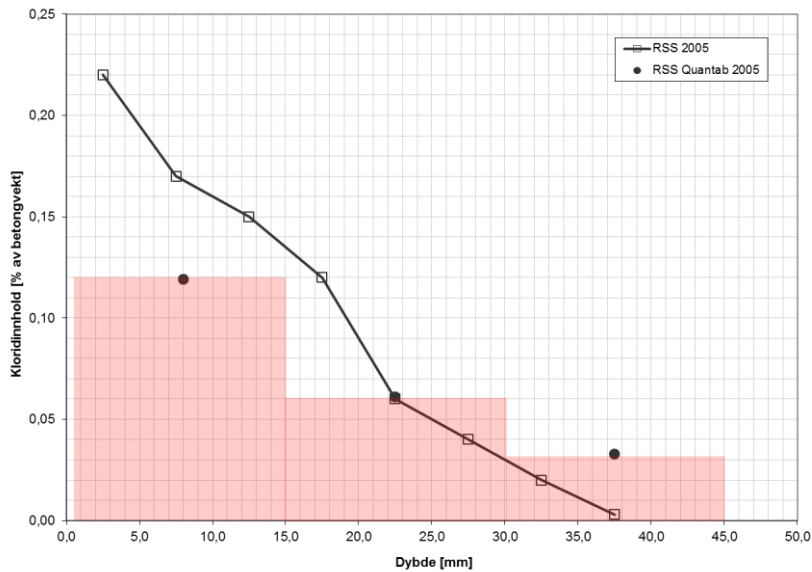
Utviklingen i kloridprofilene for referansefelt RSS, fra 1993 til 1997 og 2005, er vist i Figur 35.



Figur 35 Utvikling i kloridinnholdet for Felt RSS (referansefelt søndre side av søndre tårnben) fra før installasjonen i 1993 frem til 2005.

Figur 35 viser at det har vært en betydelig økning av inntrengt mengde klorider mellom 1993 og 2005 for det aktuelle referansefeltet. Målbare kloridmengder var trengt ca 17 mm inn i betongen i 1993, mens den for 2005 ligger 40 mm inn i betongen. Den normalt antatte grenseverdien for korrosjon på 0,07 % klorider av betongvekt ligger i 2005 på i underkant av 25 mm mens denne lå på omkring 5 mm 2 år etter installasjon i 1993.

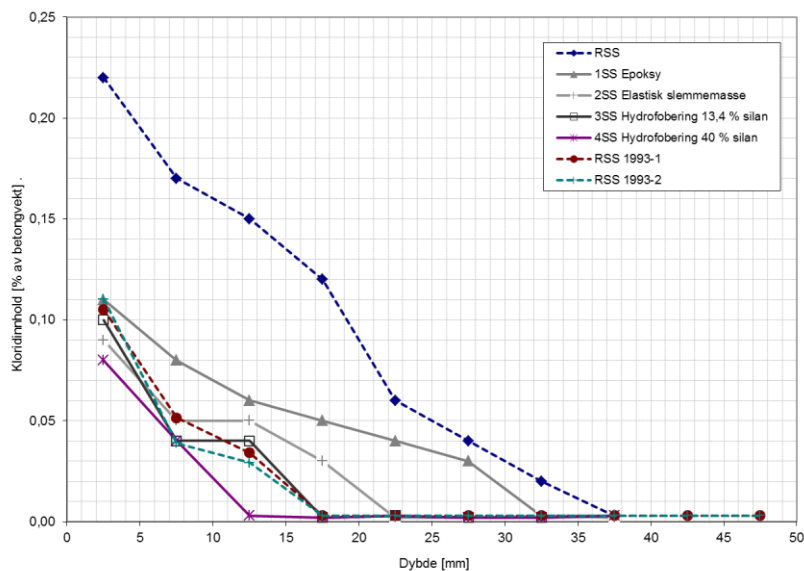
I Figur 36 er resultatene fra analysene på borstøv med Quantab mot analysene på frest støv fra borkjerner sammenlignet.



Figur 36 Sammenligning mellom kloridmålinger gjennomført med potensiometrisk titrering på frest støv fra utboret kjerne ved Statens vegvesens sentral-laboratorium (sort linje) og Quantab analyser gjennomført av Ann K. Kjøs ved NTNU. Prøvene er tatt ut på samme tidspunkt i 2005. De røde søylene viser intervallene for borstøvsuttaket.

Figur 36 viser at direkte sammenligning mellom kloridprofilene gjennomført med disse to forskjellige metodene ikke er mulig.

I Figur 37 er kloridprofilene for referanse RSS og tilhørende 4 produkter presentert.

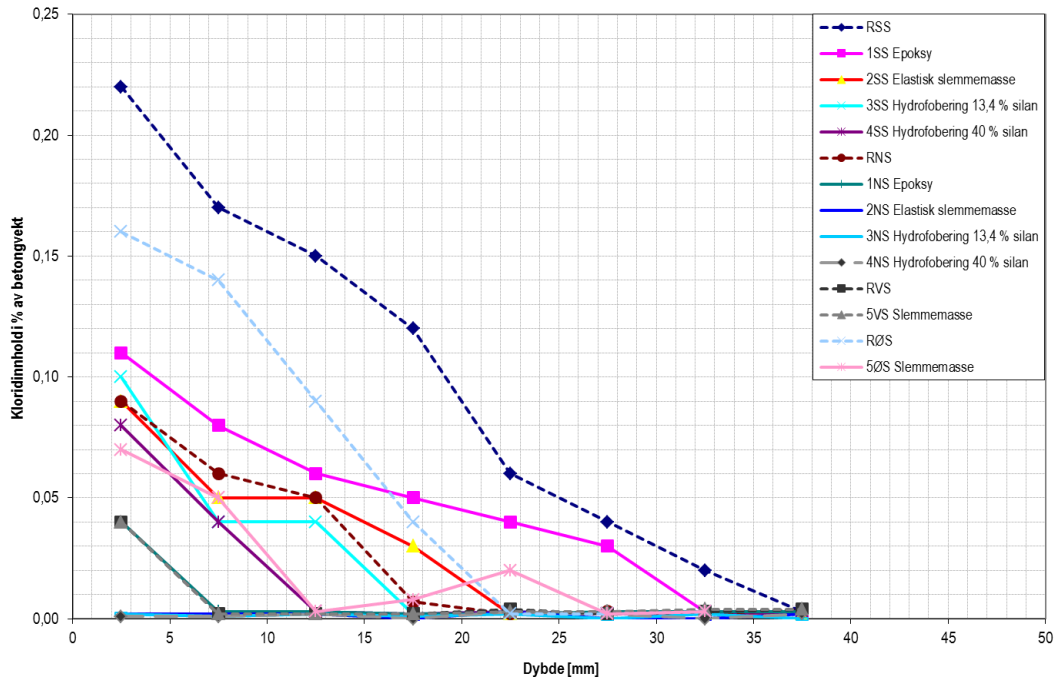


Figur 37 Kloridinnholdet for 4 produkter sammenlignet med referansefeltet på søndre side av søndre tårnben (2005) samt opprinnelige referanser fra 1993.

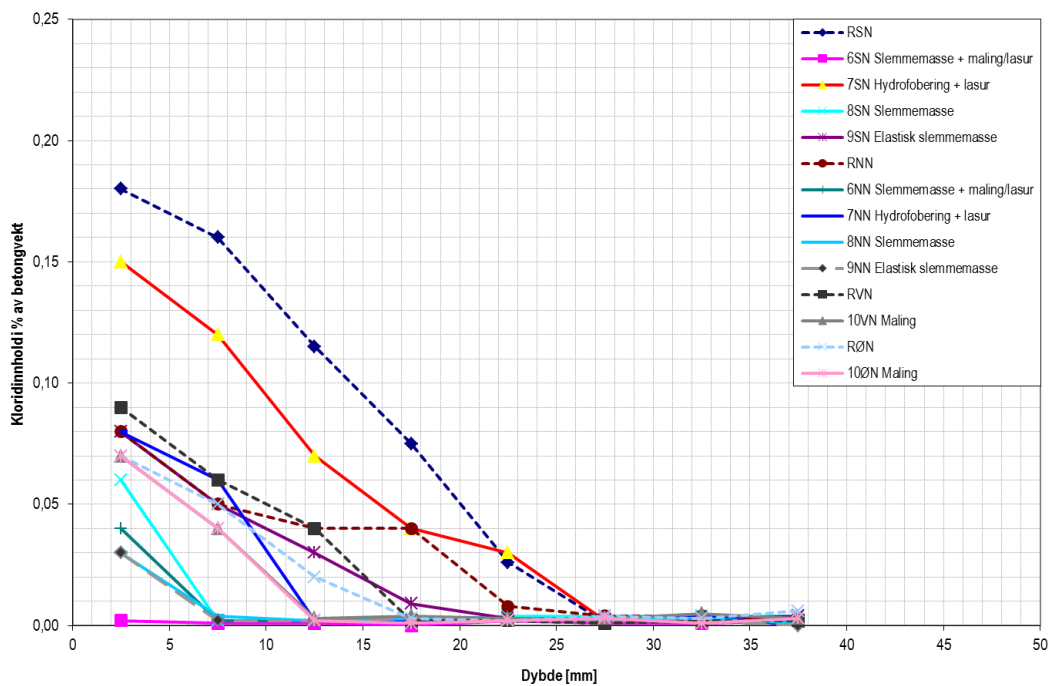
Som Figur 37 angir har alle produktene hatt en kloridbremsende effekt i forhold til referansen. Produkt 1 som er en epoxymaling har hatt minst effekt, mens produkt 4 som er en utblandet

hydrofobering med 40 % silan har hatt best effekt. Den elastiske slemmemassen (produkt 2) og den svært fortynnede hydrofoberingen (13 % silan) har resultater nesten midt mellom produkt 4 og 1.

I Figur 38 er kloridprofiler fra alle felt på søndre tårnbein presentert. Tilsvarende kloridprofiler fra nordre tårnbein er presentert i Figur 39. Alle profiler er fra 2005, etter 12 års eksponering.



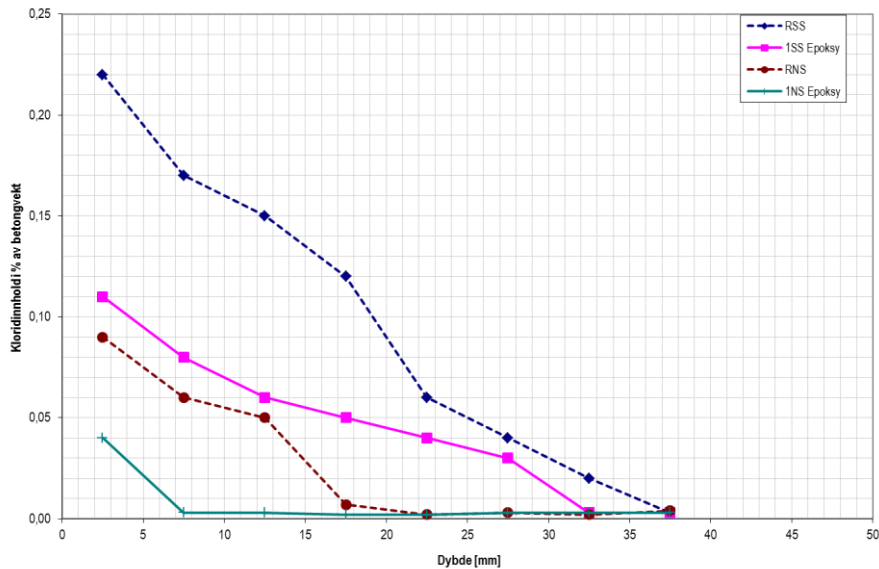
Figur 38 Figuren viser alle felt på søndre tårnben. Referansefeltene er uthevet.



Figur 39 Figuren viser alle felt på nordre tårnben. Referansefeltene er uthevet.

I Figur 40-49 er 2005-resultatene for hvert produkt presentert. Hvert produkt er påført to sideflater av et tårnbein og hver figur inneholder kloridprofiler fra begge flater og tilhørende referansefelt.

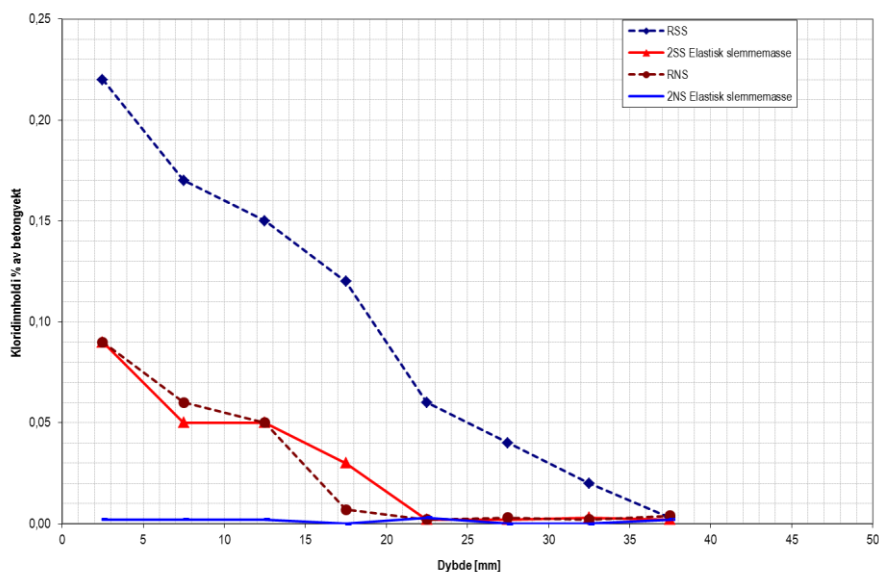
Produkt 1 Tett maling – Epoksy.



Figur 40 Produkt 1 Felt 1SS og 1NS. Referansefeltene har stiplede linjer.

Produktet har relativt god kloridbremsende effekt spesielt i overflatesjiktet. For felt 1SS er kloridprofilen relativt flatt noe som tyder på en høy diffusjonskoeffisient. Dette kan skyldes at det allerede i 1994 ble påpekt mange små porer i belegget i 1994, og at det kan ha vært riss der kloridkjernen ble tatt ut, men å gå noe dypere inn i dette blir bare spekulasjoner.

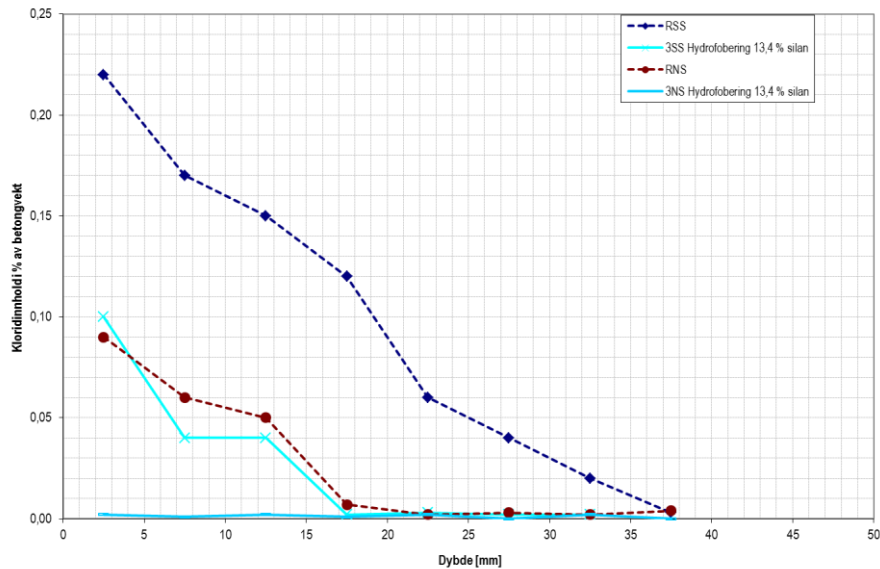
Produkt 2 Elastisk slemmemasse



Figur 41 Produkt 2 Felt 2SS og 2NS. Referansefeltene har stiplede linjer.

Produkt 2 har vist en klar kloridbremsende effekt på begge sideflater. I felt 2NS er kloridinntrengingen ikke målbar, på denne sideflaten er imidlertid kloridbelastningen lav. Produktet var synlig værslitt på felt 2SS, noe som kan ha hatt innvirkning på den kloridbremsende effekten for dette feltet.

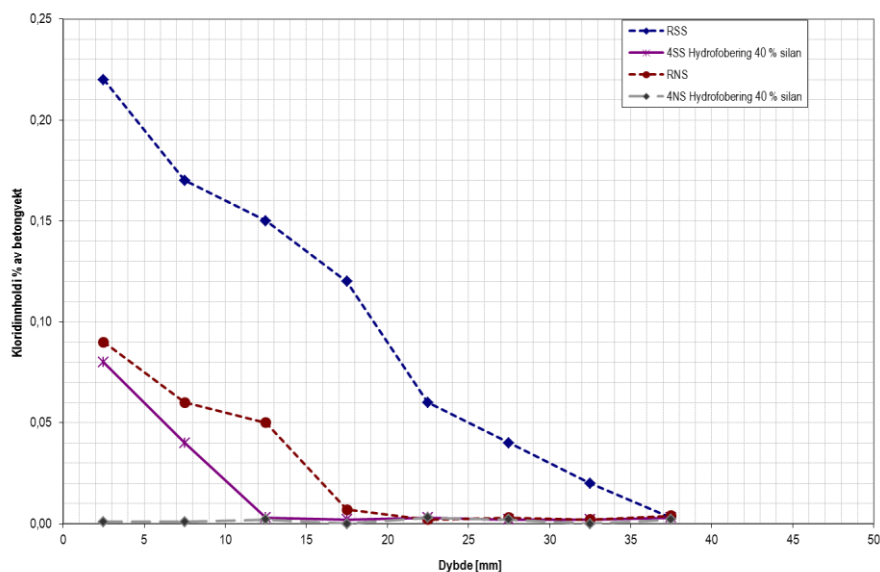
Produkt 3 Hydrofobering (13,6 % silan)



Figur 42 Produkt 3 Felt 3SS og 3NS. Referansefeltene har stiplede linjer.

Produktet har vist god kloridbremsende effekt på tross av at all synlig hydrofob virkning på overflaten avtok etter meget kort tid. Produktet ser ut til å ha trengt såpass dypt at den fremdeles har effekt selv på en meget solutsatt flate.

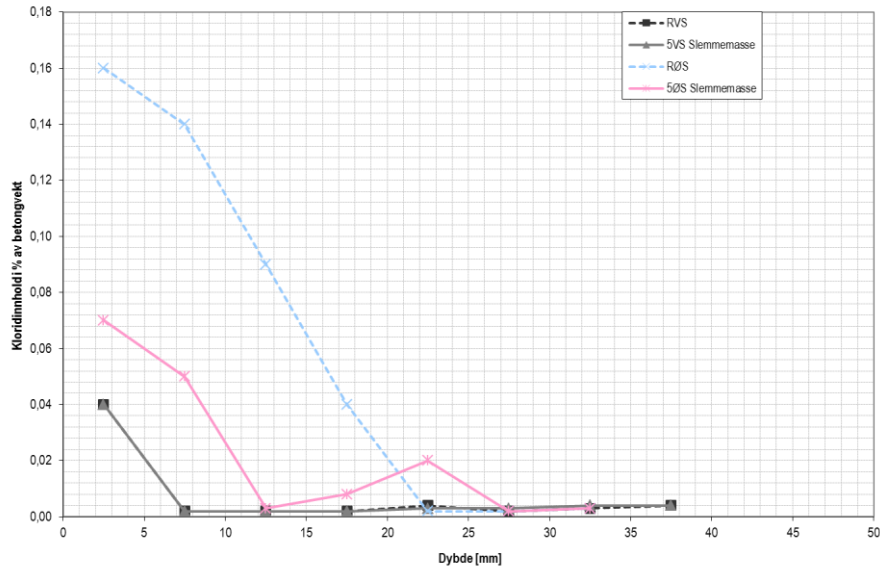
Produkt 4 Hydrofobering (40 % silan)



Figur 43 Produkt 4 Felt 4SS og 4NS. Referansefeltene har stiplede linjer.

Denne hydrofoberingen har i likhet med produkt 3 god effekt på kloridinntrengingen. Også dette produktet mistet relativt raskt sin synlige hydrofobe effekt i overflaten, men presterer godt med tanke på oppbremsing av inntregningen av klorider.

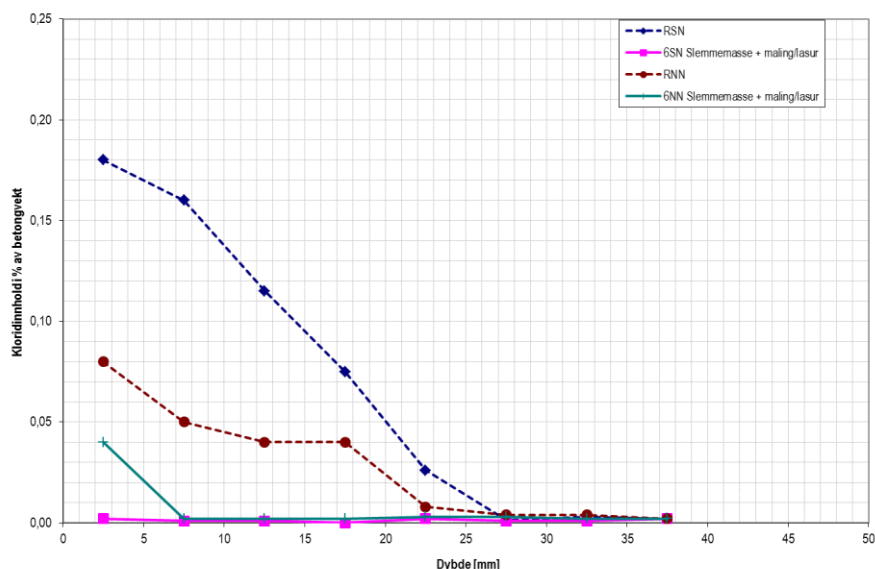
Produkt 5 Slemmemasse



Figur 44 Produkt 5 Felt 5VS og 5ØS. Referansefeltene har stiplede linjer.

For felt 5ØS er det en merkbar kloridbremsende effekt av produktet. For felt 5VS er kloridbelastningen så liten, jfr referansefeltet, at det ikke er mulig å vurdere produktets effekt.

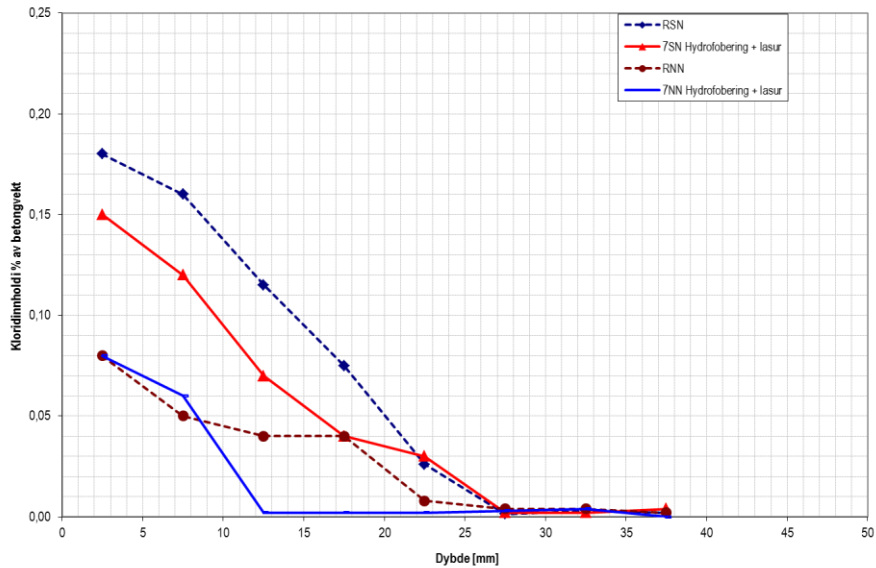
Produkt 6 Slemmemasse og maling/lasur



Figur 45 Produkt 6 Felt 6SN og 6NN. Referansefeltene har stiplede linjer.

Produktkombinasjonen har vist svært god kloridbremsende effekt

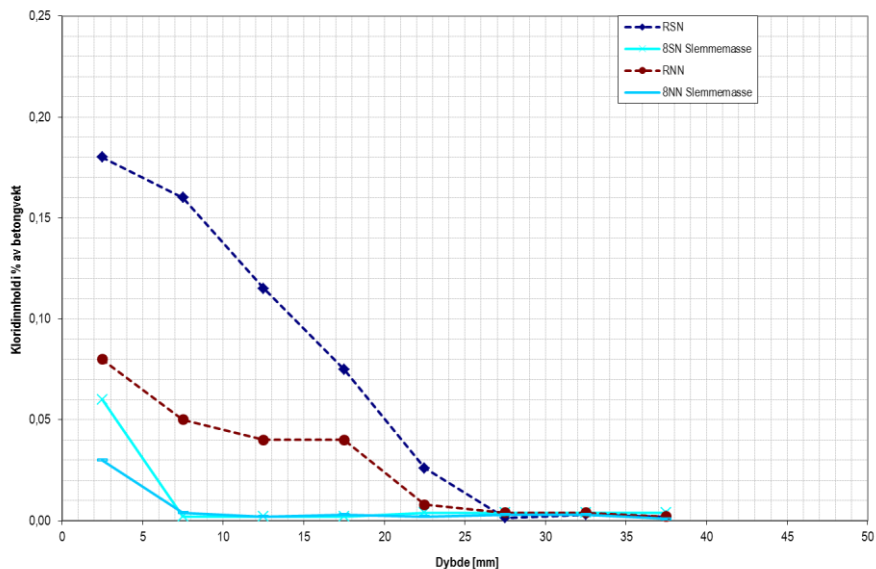
Produkt 7 Hydrofobering/lasur



Figur 46 Produkt 7 Felt 7SN og 7NN. Referansefeltene har stiplede linjer.

Dette produktet er det produktet som presterer dårligst på alle områder. Effekten på kloridinntregningen er knapt målbar. Produktet ”forsvant” i løpet av relativt få år i de gitte eksponeringsbetingelsene. Dette produktet egner seg ikke for kystklima.

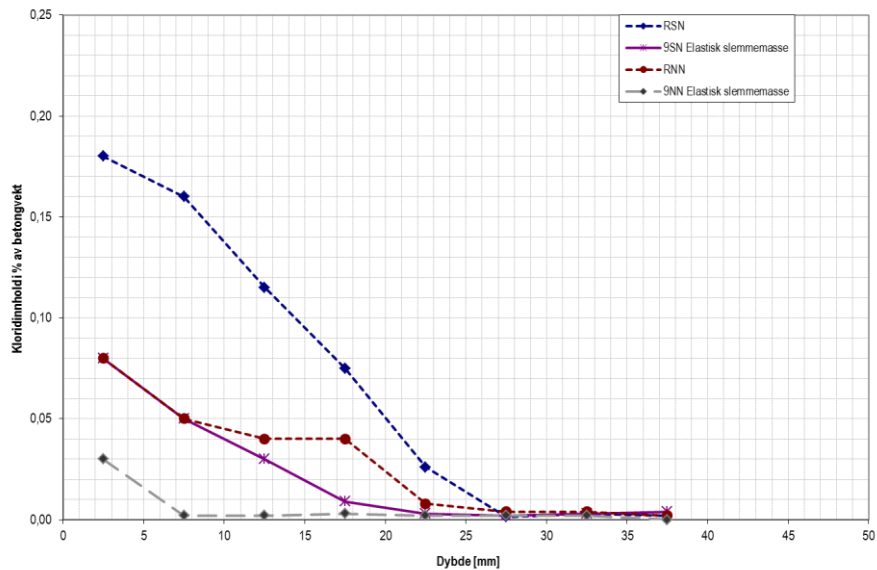
Produkt 8 Slemmemasse



Figur 47 Produkt 8 Felt 8SN og 8NN. Referansefeltene har stiplede linjer.

Produktet viser en meget bra effekt på kloridinntregningen. I denne delen av nordre tårnben er belastningen riktignok moderat, men produktet har tydelig god virkning på kloridinntregningen.

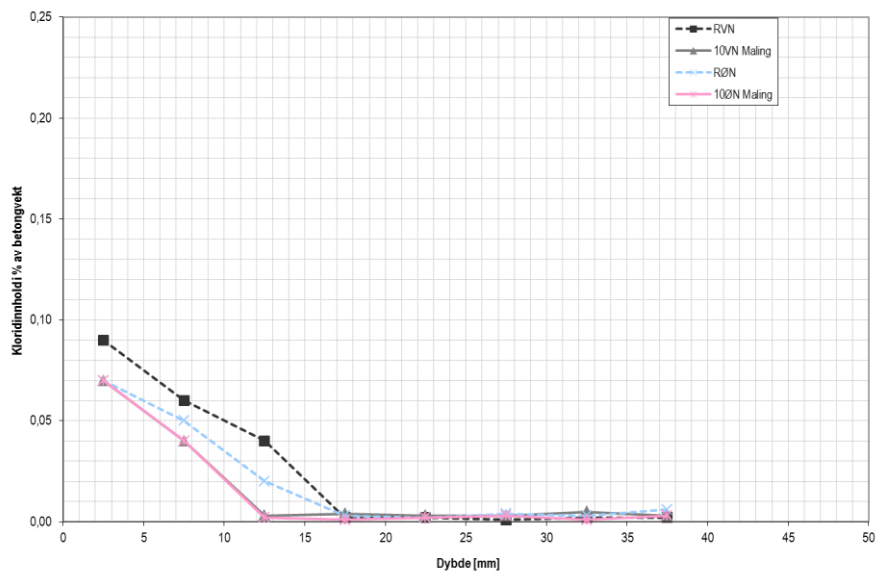
Produkt 9 Slemmemasse



Figur 48 Produkt 9 Felt 9SN og 9NN. Referansefeltene har stiplede linjer.

Produktet har relativt god effekt på kloridinntrengingen spesielt i yttersjiktet av betongen.

Produkt 10 Maling



Figur 49 Produkt 10 Felt 10VN og 10ØN. Referansefeltene har stiplede linjer.

Kloridbelastningen på østre og vestre side av nordre tårmben er så vidt lav at det er vanskelig å trekke konklusjoner. Det kan imidlertid synes som at effekten av produktet er minimal.

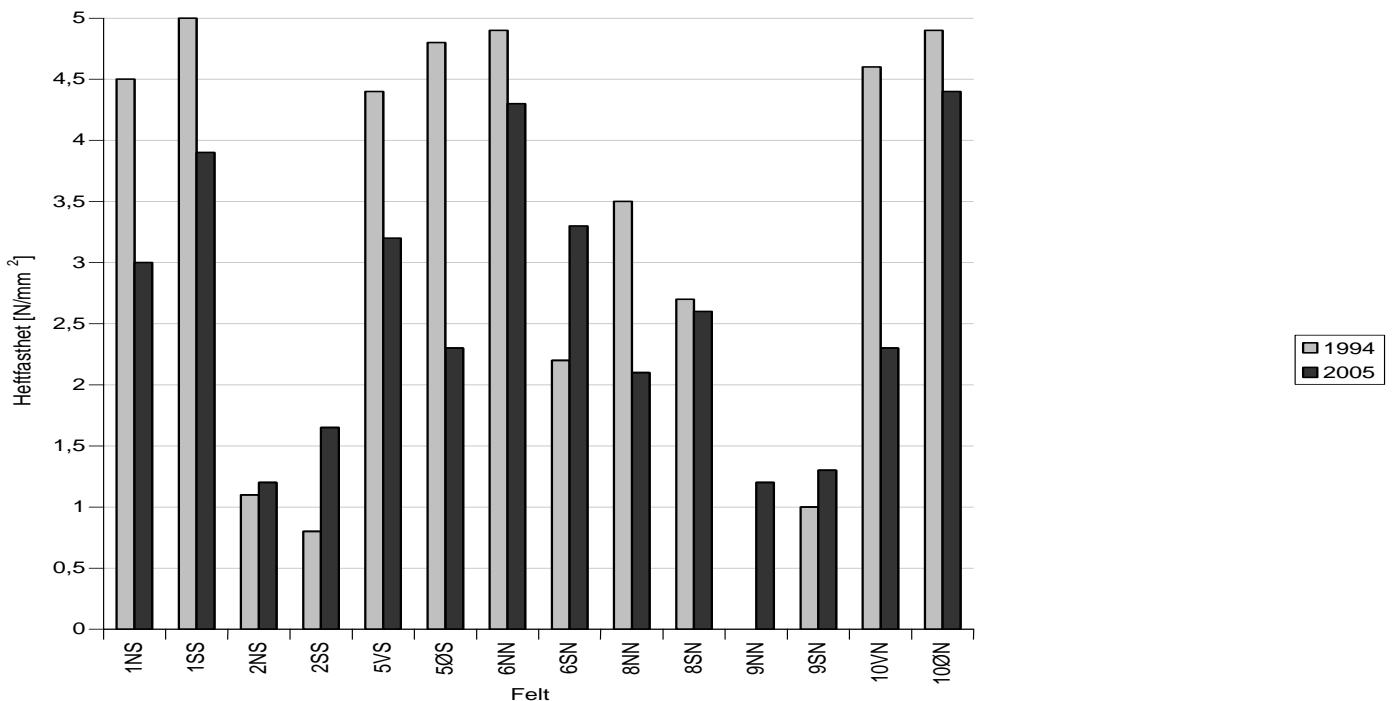
3.3 Vedheft for filmdannende produkter

Beleggenes heftfasthet ble første gang dokumentert i 1994, ett år etter påføring.

Ny heftprøving ble utført i 2005, etter 12 års eksponering.

Prøvingen er utført ved at 3 stk sirkulære \varnothing 50 mm prøvekopper er limt til overflaten med epoksy. Det er foretatt boring rundt prøvekoppen og ca 3 mm inn i underbetongen. Prøvekoppen er påført en last vinkelrett på flaten, 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.

Alle resultatene, både fra 1994 og 2005, er presentert i Figur 50. Hvert prøveresultat representerer gjennomsnittet av 3 avtrekk.

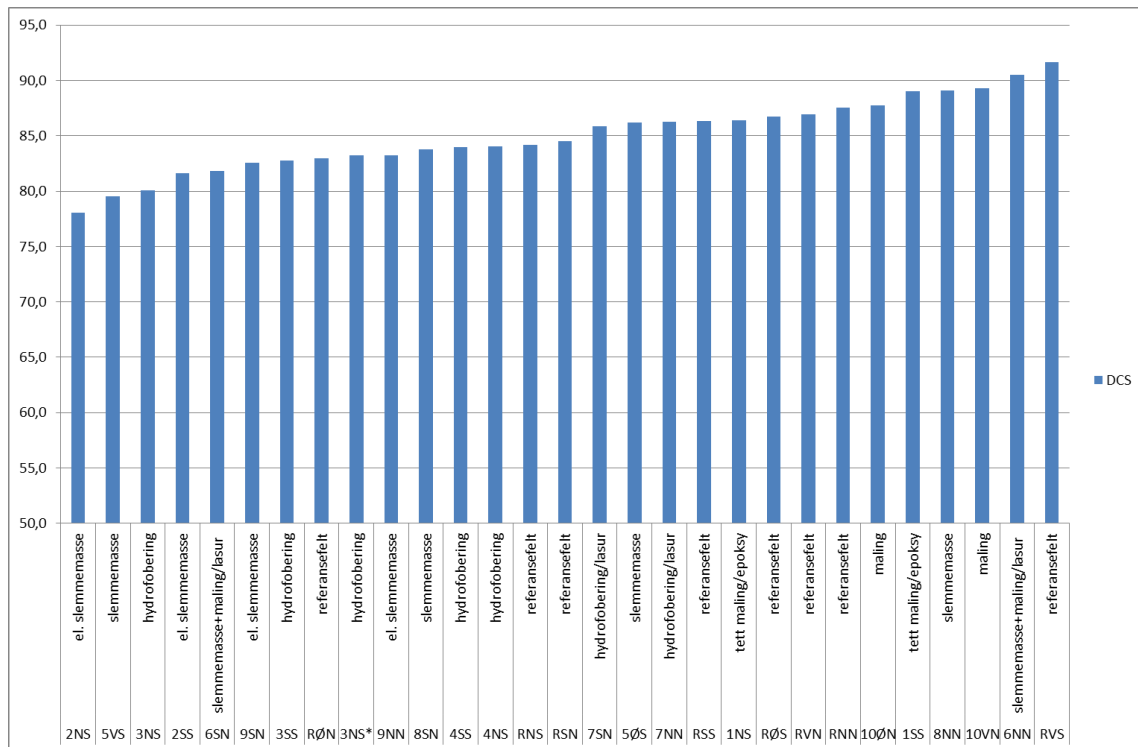


Figur 50 Hefteutviklingen for beleggdannende produkter etter 1 år og 12 års eksponering

Som Figur 50 viser har de aller fleste produktene meget god heft. De laveste verdiene er oppnådd for produkt 2 og 9. Dette er elastiske slemmemasser hvis strekkfasthet normalt er lavere enn heftfastheten mellom produkt og underlag. Verdiene er økende for noen produkter og fallende for andre. Det er likevel for de aller fleste produktene meget gode resultater. Ingen av de beleggdannende produktene faller igjennom på grunn av målte heftverdier. Enkelte av produktene har dog stedvise problemer med avflassing, og dette kan nok relateres til forholdene under påføring eller opprissing og etterfølgende vanninntrenging/frostopkjennning.

3.4 Vanmetningsgrad

Betongens vanmetningsgrad ble bestemt fra utborede kjerner som en del av Ann K. Kjøs sin mastergradsoppgave [5]. På grunn av kommunikasjonssvikt ble fuktmåling (sugmetning, trykkmetning og tørking) gjennomført på prøver med diameter 100mm og lengder opp til 150 mm. Dette betydde at de største prøvene veide opp mot 3 kg. I ettertid kan vi konstatere at målingene har begrenset nytteverdi i og med at prøvestykkenes størrelse gjør at en eventuell effekt av overflatebehandlingen blir totalt overskygget av “bulkbetongen”. Normalt påvirkes kun yttersjiktet (ytterste 2-3 cm) av betongen av overflatebehandling.



Figur 51 Fuktinholdet i prøvene sortert etter kapillær vanmetningsgrad, DCS.

De beregnede verdiene for kapillær vanmetningsgrad for feltene faller innenfor det som anses som normalt for kystbruer jfr. Ragnhild Holen Rellings doktorgrad innenfor temaet. Basert på usikkerheten som de store prøvestykkene gir, er det ikke grunnlag for å gå dypere inn i resultatene med rangering av produktene egenskaper.

3.5 Erfaringer fra prosjektet

Gjennom et så langvarig prosjekt er det gjort mange erfaringer. En viktig erfaring er at kloridanalyser i forskningssammenheng bør baseres på kjerneuttak, fresing av støv og titrering. Feltmetoder som Quantab og RCT er for grove til slik bruk, og spesielt i et prosjekt der kloridmengdene er nær deteksjonsgrensene for metodene. I tillegg blir intervallene grove, og det er knyttet usikkerheter til støvuttak ved boring.

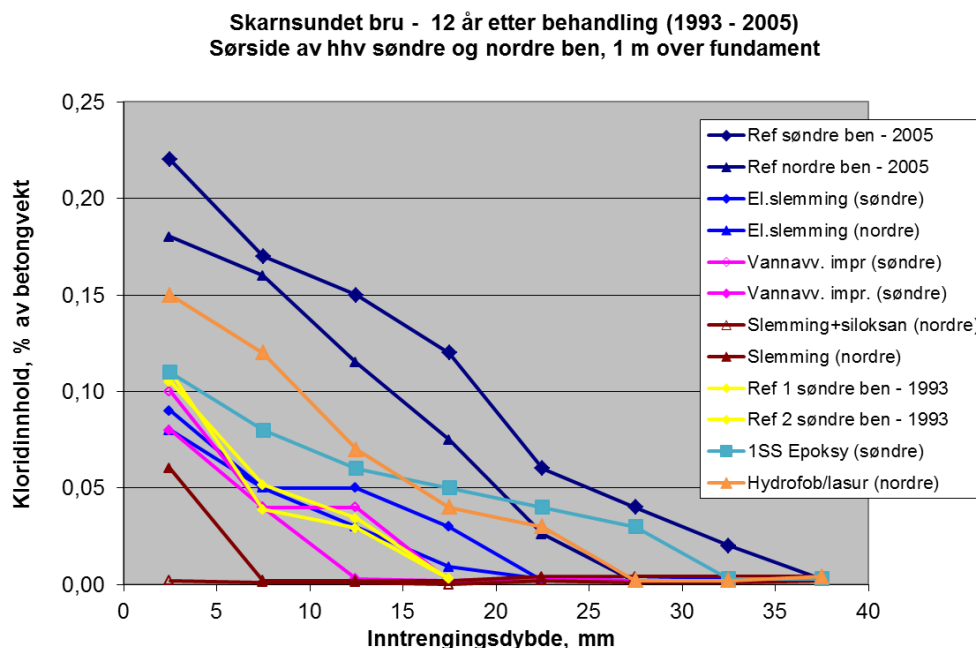
Videre er en viktig erfaring at for å kunne rangere produktene egenskaper med hensyn på vandampdiffusjon/fukttransport må prøvestykkene være så små at de dekker kun det fuktpåvirkede området. Kjernene vi benyttet burde vært splittet i en ytre skive som var i størrelsesorden 3 cm tykk, og med enkelte supplerende målinger av bulkbetongens fuktinnhold.

Det kanskje viktigste vi har erfart er at overflatebehandlinger har, nesten uavhengig av type, en positiv effekt på kloridinntrengingen dersom det påføres tidlig nok. Det er store forskjeller i effekten, men både elastiske slemmemasser, slemmemasser og hydrofoberinger har vist gode resultater. Det er også erfart at produkter endrer navn, leverandører skifter navn og/eller eierstruktur eller forsvinner fra markedet. Teknologien innenfor overflatebehandlinger, og kanskje spesielt innenfor hydrofoberinger, har kommet mange steg lenger siden de utprøvde produktene var aktuelle.

Det spesielle og kanskje mest utradisjonelle i Statens vegvesen sammenheng ved dette prosjektet er at her ble leverandørene bedt om å levere en pakke og en vurdering av sitt produkts egnethet samt forventet levetid. Det må kunne sies at flere leverandører hadde en noe overdrevet tro på sine produkters egenskaper og holdbarhet. At Skarnsundbrua ble valgt skyldes nok en kombinasjon av at initiativet kom fra Statens vegvesen i Nord-Trøndelag. Brua ville nok ikke blitt valgt hvis man hadde vært bevisst den lave kloridbelastningen som skyldes brakkvannsforholdene på brustedet. Dette har satt sitt preg på verdien av en del av undersøkelsene. Det har vært vanskelig å kunne trekke helt klare anbefalinger ut i fra resultatene, og skillet mellom produktene har blitt for lite. Dette er likevel en lærdom som det er viktig å ta med seg. Prosjektet har lært oss mye. Skarnsundbrua står i et værhardt sund og vi har fått mange gode pekepinner på hvordan overflatebehandlinger fungerer i hardt klima.

4 Konklusjoner

Generelt er kloridbelastningen lav på Skarnsundbrua, og konklusjonene må baseres i all hovedsak på mest eksponerte sideflater, Søndre side av søndre tårnben samt søndre side av nordre tårnben. En sammenstilling av de nevnte feltene på disse sidene er vist på Figur 52.



Figur 52 Resultater fra mest eksponerte sideflater på Skarnsundet bru.

Figur 52 illustrerer at det er stort sett positiv effekt på kloridinntrenging av alle behandlingene. Unntakene er Epoxy (produkt 1) som feiler etter all sannsynlighet på grunn av mange porer i behandlingen og et kombinasjonsprodukt Hydrofobering/lasur (produkt 7) som etter 1 år så ut til å være mer eller mindre forsvunnet.

De elastiske slemmemassene (produkt 2 og 9) ser begge ut til å gi god beskyttelse mot kloridinntrengning. Basert på visuelle observasjoner kan det se ut som om et rebehandlingsintervall på mellom 10-15 år kan være nødvendig.

Fortynnede silanprodukter (hydrofoberinger, produkt 3 og 4) ser ut til å ha meget gode kloridbremsende effekter på tross av at den synlige effekten (ved vann påsprøyting) ser ut til å forsvinne etter kort tid. Dette er svært oppløftende resultater for moderne produkter som i større grad baseres på rene og ufortynnede silaner.

Slemmemassene (produkt 6 og 8) ser ut til å ha svært god effekt på kloridinntrengningen. Dette skyldes nok delvis at selve slemmingen danner et beskyttende lag som kan se ut til å akkumulere klorider og dermed beskytte underliggende betong. Produkt 6 har spesielt gode resultater, men noe av dette kan tilskrives mindre belastning på dette feltet.

5 Referanser

1. Internrapport 1926, "Skarnsundet bru - feltforsøk overflatebehandling," Statens vegvesen, Veglaboratoriet, 1997.
2. Internrapport-utkast, "Skarnsundet bru – Oppfølging av feltforsøk på overflatebehandling," Statens vegvesen, Veglaboratoriet, 1997.
3. Kåsa, Irene U, "Aldring av midler for overflatebehandling av betong," Diplomoppgave ved NTNU, Inst. for Konstruksjonsteknikk, 1997.
4. Kjøs, Ann-Kristin, "Overflatebehandling av betongkonstruksjoner", Prosjektoppgave NTNU, Inst. for Konstruksjonsteknikk, 12-2004
5. Kjøs, Ann-Kristin, "Effekt av overflatebehandling på Skarnsundet bru", Masteroppgave NTNU, Inst. for Konstruksjonsteknikk, 06- 2005

6 Vedlegg

I det etterfølgende er rådata sammenfattet i tabellform for senere bearbeiding.

Kloridanalyse Skarnsundet bru

Søndre tårnben														
1m over fundament														
Dybde [mm]	RSS	1SS	2SS	3SS	4SS	RNS	1NS	2NS	3NS	4NS	RVS	5VS	RØS	5ØS
		Epoksy	Elastisk-slemmemasse	Hydrofobering 13,4 % silan	Hydrofobering 40 % silan		Epoksy	Elastisk slemmemasse	Hydrofobering 13,4 % silan	Hydrofobering 40 % silan		Slemmemasse		Slemmemasse
5	0,22	0,11	0,09	0,10	0,08	0,09	0,04	0,002	0,002	0,001	0,04	0,04	0,16	0,07
10	0,17	0,08	0,05	0,04	0,04	0,06	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,14	0,05
15	0,15	0,06	0,05	0,04	0,003	0,05	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,09	0,003
20	0,12	0,05	0,03	0,002	0,002	0,007	0,002	kke påvist klorid	0,001	kke påvist klorid	0,002	0,002	0,04	0,008
25	0,06	0,04	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002	0,02
30	0,04	0,03	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	kke påvist klorid	kke påvist klorid	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002
35	0,02	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	kke påvist klorid	0,002	kke påvist klorid	0,003	0,004	0,003	0,003
40	0,003	0,003	0,002		0,003	0,004	0,003	0,002	kke påvist klorid	0,002	0,004	0,004		

Forundersøkelsen Søndre tårnben			
1m over fundament			
Dybde [mm]	RSS a 1993	Dybde [mm]	RSS b 1993
2,5	0,105	2,5	0,110
7,5	0,052	7,5	0,039
12,5	0,034	12,5	0,029
17,5	0,003	17,5	0,003
22,5	0,003	22,5	0,003
27,5	0,003	27,5	0,003
32,5	0,003	32,5	0,003
37,5	0,003	37,5	0,003
42,5	0,003	42,5	0,003
47,5	0,003	47,5	0,003

Nordre tårnben														
1m over fundament														
Dybde [mm]	RSN*	6SN	7SN	8SN	9SN	RNN	6NN	7NN	8NN	9NN	RVN	10VN	RØN	10ØN
		Slemmemasse + maling/lasur	Hydrofobering + lasur	Slemmemasse	Elastisk slemmemasse		Slemmemasse + maling/lasur	Hydrofobering + lasur	Slemmemasse	Elastisk slemmemasse		Maling		Maling
5	0,18	0,002	0,15	0,06	0,08	0,08	0,04	0,08	0,03	0,03	0,09	0,07	0,07	0,07
10	0,16	0,001	0,12	0,002	0,05	0,05	0,002	0,06	0,004	0,002	0,06	0,04	0,05	0,04
15	0,12	0,001	0,07	0,002	0,03	0,04	0,002	0,002	0,002	0,002	0,04	0,003	0,02	0,002
20	0,08	kke påvist klorid	0,04	0,002	0,009	0,04	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	0,003	0,001
25	0,03	0,002	0,03	0,004	0,003	0,008	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002
30	0,00	0,001	0,002	0,004	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003	0,004	0,003
35	0,00	0,001	0,002	0,004	0,003	0,004	0,002	0,004	0,003	0,002	0,002	0,005	0,003	0,001
40	0,00	0,002	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	kke påvist klorid	0,001	kke påvist klorid	0,002	0,003	0,006	0,003

Nordre tårnben					
4m over fundament					
Dybde [mm]	RSN-4	6SN-4	7SN-4	8SN-4	9SN-4
5	0,11	0,09	0,12	0,08	0,01
10	0,10	0,09	0,11	0,009	0,003
15	0,09	0,002	0,08	0,001	0,004
20	0,06	0,001	0,04	0,002	0,002
25	0,002	0,001	0,008	0,004	0,007
30	0,002	0,002	0,004	0,004	0,003
35	0,002	0,003	kke påvist klorid	0,004	0,003
40	0,002	0,001	0,002	0,004	0,003

Nordre tårnben			
1m over fundament			
Dybde [mm]	RSN-A	RSN-B	RSN*
5	0,17	0,19	0,18
10	0,15	0,17	0,16
15	0,11	0,12	0,12
20	0,07	0,08	0,08
25	0,002	0,05	0,03
30	0,001	0,002	0,00
35		0,003	0,00
40		0,002	0,00

Fuktdata Skarnsundet bru

Prøve ID	m/innpakking	Vekt av innpakki	Vekt inn u/innpak	1 uke sug	2 uker sug	3 uker sug	4 uker sug	Vekt i vann	etter 50 bar i luft	Tørrvekt 105C		DCS	DS
Dato	18.04.2005	18.04.2005	18.04.2005	25.04.2005	02.05.2005	10.05.2005	18.05.2005	18.05.2005	23.05.2005	30.05.2005			
1SS	1997,91	66,09	1931,59	1941,56	1943,01	1943,24	1943,35	1150,41	1966,40	1836,33		89,0	73,2
2SS	1522,58	62,71	1459,71	1471,18	1473,2	1474,13	1474,80	864,15	1493,16	1392,57		81,6	66,7
RSS	1956,65	58,25	1898,2	1907,97	1910,19	1911,77	1912,69	1120,70	1939,83	1806,62		86,3	68,7
3SS	2266	58,53	2207,57	2222,64	2225,78	2226,62	2227,32	1318,38	2254,42	2112,60		82,8	67,0
4SS	2525,12	67,51	2457,08	2471,55	2475,25	2476,66	2477,98	1453,49	2513,88	2347,58		84,0	65,8
5ØS	2355,44	69,41	2285,56	2297	2299,32	2300,46	2301,49	1359,58	2325,77	2185,98		86,2	71,2
RØS	1822,63	57,17	1765,3	1774,65	1775,41	1776,49	1777,21	1050,12	1799,56	1687,44		86,7	69,4
5VS	1092,61	50,19	1042,21	1050,94	1052,08	1052,76	1053,04	621,08	1068,29	1000,15		79,5	61,7
RVS	1551,5	48,47	1502,73	1506,73	1508,17	1508,84	1509,42	890,03	1528,41	1429,45		91,6	74,1
1NS	2126,46	55,75	2070,31	2081,21	2082,92	2083,79	2084,63	1229,71	2113,72	1979,39		86,4	67,7
2NS	1055,9	41,6	1014,10	1024	1025,79	1026,45	1026,95	592,60	1046,49	968,40		78,1	58,5
RNS	1410,01	47,89	1362,84	1371,03	1373,03	1373,94	1374,52	811,01	1394,43	1300,68		84,2	66,3
3NS	1552,22	46,49	1505,59	1519,74	1520,87	1521,36	1521,60	902,03	1539,51	1441,33		80,1	65,5
4NS	2144,16	63,84	2080,03	2091,5	2094,4	2095,66	2096,52	1245,25	2123,97	1993,30		84,0	66,4
6SN	2707,93	75,07	2632,6	2651,45	2654,61	2655,88	2657,18	1567,17	2694,65	2522,09		81,8	64,0
7SN	2342,44	62,45	2279,59	2290,29	2293,58	2295,26	2296,70	1346,74	2331,40	2175,97		85,8	66,7
RSN	2852,82	66,09	2785,79	2800,8	2805,4	2807,12	2808,59	1650,28	2853,54	2661,10		84,5	64,8
8SN	2942,35	68,09	2873,99	2893,61	2897,62	2899,40	2900,78	1705,57	2939,49	2735,85		83,8	67,8
9SN	2720,8	71,99	2648,11	2667,3	2670,83	2672,31	2673,87	1563,60	2711,47	2525,90		82,6	65,9
RØN	1510,15	42,5	1466,81	1476,75	1478,71	1479,25	1479,72	874,03	1500,56	1404,07		82,9	65,0
10ØN	1608,39	53,01	1555,22	1561,09	1562,68	1563,61	1564,38	930,29	1582,10	1489,60		87,8	70,9
RVN	1071,26	47,59	1023,64	1030,01	1031,11	1031,31	1031,43	607,00	1042,57	971,77		86,9	73,3
10VN	2412,61	62	2350,29	2358,5	2361,03	2362,41	2363,67	1395,35	2387,92	2239,01		89,3	74,7
6NN	2506,74	53,85	2452,21	2459,07	2462,01	2463,47	2464,64	1438,49	2507,43	2333,39		90,5	68,3
7NN	1611,51	53,29	1558	1566,8	1569,58	1570,72	1571,27	907,12	1600,17	1474,59		86,3	66,4
RNN	1863,48	63,62	1799,51	1808,68	1811,3	1812,42	1813,20	1050,47	1846,56	1703,48		87,5	67,1
8NN	2699,1	79,47	2617,93	2628,2	2631,73	2633,53	2634,80	1522,09	2686,73	2480,66		89,1	66,6
9NN	1689,41	70,79	1617,61	1628,98	1631	1632,05	1632,24	957,09	1658,47	1544,83		83,3	64,0
3NS(75mm)	840,53	39,39	800,99	807,05	808,6	809,25	809,87	466,18	825,94	756,85		83,3	63,9
										Gjennomsnitt:		85,0	67,3

Heftmålinger utført på Skarnsundbrua, august 2005

Målinger utført på kopper som har stått siden april. Dato for avtrekk: 15.08.2005

Felt	Prøve nr.	X	Y	Brudd, MPa	Gj.snitt	Bruddsted
Nordre tårnbein						
6SN	1	36	167	3,2		Heftsone
	2	57	167	2,3	2,8	Heftsone
8SN	1	60	160	1,6		Belegg
	2	73	166	2,2	1,9	Belegg
9SN	1	16	160	0,8		Belegg
	2	28	149	1,1	1,0	Belegg
10VN	1	20	140	0,9		Heftsone
	2	99	139	3,7	2,3	Heftsone
9NN	1	33	149	1,0		Belegg
	2	61	143	1,1	1,1	Belegg
8NN	1	57	157	0,5		Heftsone
	2	85	155	0,5	0,5	Heftsone
6NN	1	39	149	4,5		Betong
	2	69	147	4,0	4,3	Mellom lim og belegg
10ØN	1	27	158	2,7		Belegg
	2	54	161	2,8	2,8	Belegg
Søndre tårnbein						
1NS	1	37	145	3,0		Heftsone
	2	49	160	2,2		Belegg
	3	67	152	2,9		Betong
	4	85	143	3,8	3,0	Betong
2NS	1	22	153	1,1		Heftsone
	2	40	148	1,1		Belegg
	3	57	142	1,2		Belegg
	4	69	157	1,4	1,2	Heftsone
5ØS	1	42	141	1,8		Betong (rund stein i brudd)
	2	55	150	1,2		Heftsone
	3	73	144	-		-
	4	84	138	3,9	2,3	Betong
1SS	1	36	128	2,6		Betong/heftsone
	2	54	138	5,1		Betong (stein i brudd)
	3	77	140	4,0		Heftsone (og mellom lim og belegg)
	4	90	140	4,0	3,9	Betong
2SS	1	34	142	-		-
	2	69	144	1,5	1,5	Belegg
5VS	1	72	146	1,8		Belegg (og mellom lim og belegg)
	2	95	132	2,8	2,3	Heftsone

Målinger utført på nypålimte kopper. Dato for avtrekk: 18.08.2005

Felt	Prøve nr.	X	Y	Brudd, MPa	Gj.snitt	Bruddsted
Nordre tårnbein						
6SN	1	93	112	2,7		Betong
	2	114	134	4,2	3,5	Heftsone
8SN	1	20	134	2,7		Heftsone
	2	38	148	2,5	2,6	Heftsone
9SN	1	10	126	1,1		Belegg
	2	31	127	1,4	1,3	Belegg
10VN	1	47	133	4,5		Heftsone
	2	59	113	4,2	4,4	Heftsone
9NN	1	45	123	1,4		Belegg
	2	66	123	1,2	1,3	Belegg
8NN	1	79	142	2,1		Heftsone
	2	103	158	2,0	2,1	Heftsone
6NN	1	10	123	4,2		Betong
	2	40	124	1,5	2,9	Betong (skifer i bruddsone - delt)
10ØN	1	71	127	4,1		Betong
	2	95	118	4,2	4,2	Belegg
Søndre tårnbein						
1NS	1	106	169	4,8		Betong (brukket stein i bruddsone)
2NS	1	11	170	1,2		Heftsone
5ØS	1	73	122	4,1		Betong (brukket stein i bruddsone)
1SS	1	77	119	6,5		Betong (rund stein i bruddsone)
2SS	1	73	113	1,7		Belegg
	2	86	112	1,7	1,7	Belegg
5VS	1	21	132	1,9		Betong
	2	34	127	4,5	3,2	Betong



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen