

nr. 84

Publikasjon

OFU Gimsøystraumen bru
Sluttrapport

Prøvereparasjon og produktutvikling



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Veglaboratoriet

SLUTTRAPPORT

OFU GIMSØYSTRÅUMEN BRU

PRØVEREPARASJON OG PRODUKTUTVIKLING

<p>Forfattere: Reidar Kompen Aage Blankvoll Tor Berg Einar Noremark Per Austnes Knut Grefstad Bernt Kristiansen Bjørn Bonsak Jon Halden</p> <p>Firma: Statens vegvesen, Vegdirektoratet Statens vegvesen Nordland Statens vegvesen Nordland Statens vegvesen Hordaland Statens vegvesen Møre og Romsdal Statens vegvesen, Vegdirektoratet Rescon AS Rescon AS SCC Abel Engh AS</p>	<p>Sluttrapport OFU Gimsøystraumen bru:</p> <p>Prøvereparasjon og produktutvikling</p> <p>OFU rapport nr.: S-96-041</p> <hr/> <p>Dato: 01.10.1997</p> <hr/> <p>Antall sider: 152</p>
<p>Ekstrakt:</p> <p>Rapporten beskriver gjennomføring av de 3 prøve-reparasjonene og produktutviklingen som ble utført i prosjektet. Videre gir den anbefalinger for utførelse av mekanisk reparasjon, hydrofobering og overflate-behandling.</p>	<p>Stikkord: Bru Betong Klorider Reparasjon Vedlikehold</p>
<p>Extract:</p> <p>This report describes the three test repairs and the product development carried out during the project. It gives recommendations how to carry out mechanical repair and surface treatment of concrete.</p>	<p>Keywords: Bridge Concrete Chlorides Repair Maintenance</p>

Omslagsdesign:	Svein Aarset, Oslo
Forsidebilde:	S. Bøckmann, Bodø
Illustrasjoner:	SCC Abel Engh as, Drammen
Redaksjon/ produksjonskoordinator:	Helge Holte, Veglaboratoriet
Trykk:	Helli Grafisk as, Oslo
Opplag:	800

Forord

Prosjektet "OFU Gimsøystraumen bru" er et samarbeid mellom Statens vegvesen, Rescon AS og Statens Nærings- og Distriktsutviklingsfond (SND). Prosjektet knytter forskning og ulike utviklingsoppgaver til reparasjon av Gimsøystraumen bru i Nordland. Prosjektet startet i 1993 og ble avsluttet i 1997. Prosjektet er bygget rundt to større kontrakter der den ene er en offentlig forsknings- og utviklingskontrakt (OFU-kontrakt).

En OFU-kontrakt er en avtale mellom en offentlig etat og en norsk bedrift som påtar seg å levere et produkt eller en tjeneste. En forutsetning er at det foreligger et offentlig anskaffelsesbehov som ikke kan dekkes tilfredsstillende gjennom eksisterende tilbud. Formålet med OFU-kontrakter er tosidig. Det er for det første å bedre og effektivisere offentlig virksomhet ved bruk av nye løsninger og for det andre å styrke bedriftenes leveringsmuligheter til det offentlige samt bidra til å øke konkurranseevnen hjemme og ute. Ordningen finansieres over budsjettet til Næringsdepartementet som har delegert administrasjon av OFU-kontrakter til SND.

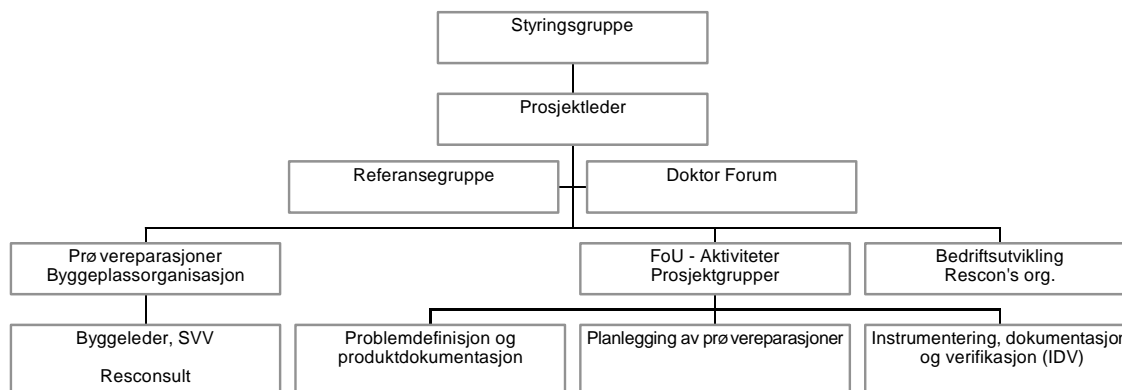
Det har i løpet av de siste 10 årene blitt fokusert på skader på våre kystbruer av betong. Behovet hos Statens vegvesen for nye vedlikeholds- og reparasjonsmetoder for betongbruer i kystklima er i korte trekk bakgrunnen for inngåelsen av OFU-kontrakten mellom Statens vegvesen Vegdirektoratet og Rescon AS. Omfanget av OFU-kontrakten var opprinnelig på 16,55 millioner kroner der finansieringen ble gjort av Statens vegvesen, SND og Rescon AS med fordelingen 40/40/20. Partene har senere øket sin innsats i prosjektet slik at endelig budsjett ble 25,3 millioner kroner. I Statens vegvesen inngår prosjektet i etatsatsningsområdet «TUBTU - Teknisk utvikling innen bru og tunnelbygging».

Den andre store kontrakten i prosjektet ble inngått mellom Statens vegvesen Nordland og Resconsult AS som er datterbedrift til Rescon AS. Kontrakten omfattet prøveparasjoner av Gimsøystraumen bru og hadde en budsjetttramme på 10 millioner kroner.

"OFU Gimsøystraumen bru" har vært et spesielt prosjekt ved at det knyttet sammen forsknings- og utviklingsaktiviteter, praktiske problemstillinger i prøveparasjoner av Gimsøystraumen bru i Nordland til målrettet produktutvikling hos Rescon AS. Andre sentrale deler av prosjektet har vært doktorgradsutdanning og sertifisering av kvalitetssystemet til Rescon og Resconsult i henhold til ISO 9000-serien.

Gimsøystraumen bru ble bygget i tidsrommet 1979 - 1981. Brua var godt egnet som forsøksobjekt fordi brua ikke hadde kritiske skader som gjorde øyeblikkelige reparasjoner nødvendige. Det var også viktig at brua var representativ for kystbruer bygget i 70- og 80-årene både når det gjelder brutype og hvilke spesifikasjoner som var benyttet.

I Statens vegvesen har det vært et nært samarbeid mellom Nordland vegkontor, Bruavdelingen og Veglaboratoriet i Vegdirektoratet. Prosjektorganisasjonen er vist nedenfor.



Det har vært mindre endringer i prosjektorganisasjonen gjennom prosjektperioden. I prosjektets siste år har det ikke vært utført prøveparasjoner og byggeplassorganisasjonen ble følgelig lagt ned. I tillegg ble Problemdefinisjonsgruppen og Prøvereparasjonsgruppen slått sammen til én prosjektgruppe, Reparasjonsgruppen. Denne har sammen med IDV-gruppen hatt ansvaret for utarbeidelsen av sluttdokumentasjonen i prosjektet.

Styringsgruppen har bestått av: Arnfinn Pettersen (Statens vegvesen Nordland), Geir Tjugum (Rescon AS), Håvard Østlid (Veglaboratoriet), Olav Grindland (Bruavdelingen), Elisabeth Schjølberg (Vegdirektoratet, Produksjonsavdelingen), Gørild Malm Cornejo (Veglaboratoriet) og Jan Henrik Sæther (SND).

Prosjektleder har vært Aage Blankvoll (Statens vegvesen Nordland). Prosjektleder og ansvarlig hos Rescon for gjennomføring av prosjektet, Bernt Kristiansen har møtt fast i styringsgruppen.

Reparasjonsgruppen har bestått av: Reidar Kompen (Veglaboratoriet), Aage Blankvoll og Tor Berg (Statens vegvesen Nordland), Per Austnes (Statens vegvesen Møre og Romsdal), Einar Noremark (Statens vegvesen Hordaland), Knut Grefstad (Bruavdelingen), Bernt Kristiansen og Bjørn Bonsak (Rescon AS) og Jon Halden (SCC Abel Engh AS).

IDV-gruppen har hatt følgende medlemmer: Bård Espelid (Det norske Veritas), Øystein Vennesland og Erik Sellevold (Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet, NTNU), Ketil Videm (Universitetet i Oslo), Bernt Kristiansen og Roar Myrdal (Rescon AS), Claus K. Larsen og Finn Fluge (Veglaboratoriet), Aage Blankvoll og Tor Berg (Statens vegvesen Nordland).

Resultatene fra prosjektet blir å finne i følgende dokumentasjon:

1. Resultatbrosjyre
2. Anbefalinger fra prosjektet:
 - Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong
 - Anbefalinger for instrumentering av kystbruer i betong.
3. Sluttrapportene:
 - Klimapåkjennning og tilstandsvurdering
 - Prøvereparasjon og produktutvikling
 - Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon (IDV).
4. Rapportserie med en rekke detaljrapporter som omhandler større eller mindre temaer behandlet i prosjektet
5. Dr. avhandlinger ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Universitetet i Oslo (UiO):
 - «Chloride binding and pore solution composition in concrete - Effect of concrete composition and environment» (Claus K. Larsen, NTNU).
 - «Evaluation of electrochemical techniques for assessing corrosion of steel in concrete» (Roar Myrdal, UiO).
6. Flere av prosjektdeltakerne har presentert resultater fra prosjektet på ulike seminarer og konferanser i Norge, Norden og internasjonalt. Den største samling av «papers» fra prosjektet er å finne i Proceedings fra prosjektets avslutningskonferanse i Svolvær, 28.-30. mai 1997.

Det vil bli foretatt en videre oppfølging av de utførte prøveparasjonene på Gimsøystraumen bru. Oppfølgingen vil strekke seg over en 5-årsperiode med mulighet for forlengelse i 5 år til. Oppfølging vil bli gjort både gjennom fortsatt drift av overvåkingssystemet og ved jevnlig inspeksjoner og kontrollmålinger på brua. Resultatene fra oppfølgingsprosjektet vil i første rekke bli kanalisert gjennom revisjoner av prosjektets «Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong» og «Anbefalinger for instrumentering av kystbruer i betong». De sentrale aktørene i oppfølgingsprosjektet er Statens vegvesen Nordland, Bruavdelingen, Veglaboratoriet og Rescon AS.

Sammendrag

Prøvereparasjoner

Rapporten beskriver målsetningen med OFU-prosjektet Gimsøystraumen bru og hvordan prøvereparasjoner ble benyttet for å dokumentere utførelse i felt og som grunnlag for produktutviklingen. Det ble gjennomført i alt 3 prøvereparasjoner (1993, 1994 og 1995). Alle prøvereparasjonene omfattet følgende hovedoppgaver:

- Forhåndskartlegging
- Instrumentering
- Reparasjon og overflatebehandling
- Dokumentasjon.

I forkant av prøvereparasjonene ble det foretatt en vurdering av hvilke materialer og metoder som skulle benyttes og hvilke konstruksjonsdeler de skulle benyttes på. Det ble også foretatt en statistisk analyse av konstruksjonen for å hindre at reparasjonene på noen måte skulle redusere bæreevnen.

Til hver av prøvereparasjonene ble det utarbeidet et tilbudsgrunnlag med detaljerte beskrivelser av arbeidene som skulle utføres. Det ble i tilbudet også stilt krav til entreprenørens kvalifikasjoner, kvalitetssystem, rigg og stillaser. Rapporten gjengir hvilke erfaringer en hadde med disse tilbudsgrunnlagene.

Prøvereparasjon 1993 ble utført på 4 mindre felt på overbygningen mellom akse 2 og 3. Prøvereparasjon 1994 ble utført på 3 av søylene og prøvereparasjon 1995 ble utført på overbygningen mellom aksene 1 og 3.

På ett av feltene i prøvereparasjon 1993 ble kloridholdig betong fjernet og erstattet med sprøytemørtel før overflatebehandling. De øvrige prøvereparasjonene ble utført ved lokale mekaniske reparasjoner av synlige betongskader og overflatebehandling med forskjellige produkter. Dette ble gjort bevisst også på flater med høyt kloridinnhold for å få testet hvor langt en kan strekke de forskjellige overflatebehandlingene. Dette kunne gjøres uten fare for bruas bæreevne da det var forholdsvis store statiske reserver.

Med bakgrunn i prøvereparasjonene og produktutviklingen er det gitt flere anbefalinger til utførelse av mekaniske reparasjoner, hydrofobering og overflatebehandling. De viktigste er:

- Meisling bør begrenses. Omfattende meisling kan redusere den frilagte armeringens bæreevne mer enn det mange års korrosjon kan føre til.
- Sårutforming. Sårkantene bør danne 45° med betongflaten
- Mørtelen må ha lavt tidligsvinn.

I tillegg ga prøvereparasjonene verdifulle input til produktutviklingen.

Ved alle prøvereparasjonene ble det montert omfattende instrumentering for overvåking av reparasjonene. Type instrumentering, resultater og tolking er gjengitt i egen sluttrapport /26/. Instrumentering skulle måle:

- Potensialer
- Lineær polarisasjonsmotstand, LPR
- Oksyngengrensestrøm
- Elektrisk motstand i betongen
- Relativ fuktighet i betongen
- Temperatur i betongen.

Andre feltforsøk

Det ble også gjennomført flere mindre laboratorie- og feltforsøk for å avklare spørsmål som dukket opp i prosjektperioden. Disse var:

- **Betonghelleprogrammet** som skulle gi kunnskap om effekten av forskjellige overflatebehandlinger med hensyn på kloridinntrengning og fukt i betongen. Overflatebehandlingen ble påført heller som ble festet til søyle i akse 6. Resultatet av dette vil foreligge i oppfølgingsperioden.
- **Vannoverrislingsforsøket** som skulle avklare om det var mulig å vaske ut klorider bare ved at overflaten ble overrislet med ferskvann over en lengre periode. Laboratorieforsøket viste klare tendenser til utvasking, men feltforsøket var ikke like entydig som laboratorieforsøket.
- **Kloridutjevningforsøket** som gikk ut på å måle om det skjer en utjevning av klorider bak et belegg eller bak en reparasjonsmørtel. I den forholdsvis korte tiden som er gått siden første prøvereparasjon har det skjedd en utjevning i reparasjonsmørtlene, men resultatene fra målinger bak hydrofobering og belegg er ikke like entydige. Dette vil bli nærmere undersøkt i oppfølgingsperioden.
- **Forsøk med hydrofobering og katodisk beskyttelse.** Forsøket hadde til hensikt å klargjøre om hydrofobering er til hinder for senere katodisk beskyttelse med ledende belegg. Forsøket viste at katodisk beskyttelse er mulig dersom flatene først sandblåses og det er riktig fuktnivå.

Produktutvikling

I prosjektperioden ble det gjennomført en omfattende produktutvikling både ved videreutvikling av eksisterende produkter og ved utvikling av nye produkter og metoder. Produktutviklingen i Rescon's laboratorier er beskrevet i rapport /30/, mens alle feltforsøk er beskrevet i denne rapporten. De viktigste erfaringene/forbedringene fra produktutviklingen var:

- Rissfri, svinnkompensert mørtel ble utviklet, Rescon Redirep RSF og Rescon DS-RSF

- Hydrofobering med en spesiell sammensetning av rene silaner, Rescon Silimp 100, ga god inntrenging i fuktig betong
- Rescon Cem-Elastic ble påført med sprøyteutstyr i stedet for kost
- Rescon Protect Lasur ga gode resultater.

Det foreslås også testmetoder for dokumentasjon av hydrofoberingsmidler, filmdannende belegg, reparasjonsmørtler for håndmørtling og tørrsprøyting samt injeksjonsmaterialer.

Uavklarte forhold

De omfattende undersøkelsene som ble utført i laboratorium og i felt har gitt mye nyttig informasjon. Men korrosjon er en langsom prosess så det er fortsatt mange forhold vedrørende reparasjon og vedlikehold av kloridinfisert betong som ikke ble besvart i prosjektperioden. Noen av disse er:

- Effekt av lokale reparasjoner og overflatebehandling på områder hvor armeringen befinner seg i kloridholdig betong og er i korrosiv tilstand.
- Effekt av lokale reparasjoner og overflatebehandling når det er nok klorider i betongoverdekningen til at armeringen kan komme i en korrosjonstilstand ved videre kloridtransport inn mot armeringen.
- Type forbehandling (sandblåsing, sandvasking, høytrykkspyling osv.) før hydrofobering.
- Påføringsmetode for hydrofobering. Om det er en fordel med gjentatt påføring etter en tid for å sikre god inntrenging av hydrofobering.
- Hvordan er effekt av inhibitorer i felt?
- Hvilke materialparametere er viktig for overflatebehandling av betong. Skal f. eks. overflatebehandlingen være diffusjonsåpen eller tett?
- Hvordan få til lik farge på forskjellige typer overflatebehandling?
- Levetid på de forskjellige typene overflatebehandlinger?
- Hvordan påvirkes konstruksjonens levetid av de forskjellige overflatebehandlingene?
- Nytteverdi av instrumentering for å dokumentere egenskaper ved de ulike vedlikeholdstiltakene.

Det er likevel et håp at en ved hjelp av den videre oppfølgingen av prøvereparasjonene skal få svar på flere av disse forholdene.

Summary

Introduction

The objectives of the OFU-Gimsøystraumen bridge repair project were:

- Increase of competence in maintenance and repair of concrete bridges
- Obtain new knowledge and understanding of factors governing the durability of bridges in a harsh marine environment
- Further development of existing products and development of new products for maintenance and repair of concrete bridges
- Produce guidelines for maintenance and repair of concrete bridges
- Carry out maintenance and repair of Gimsøystraumen bridge in a technically and economically optimal way
- Classification of the companies Rescon and Resconsult in accordance to ISO-9000 series
- Increase the competitive power of Rescon on the home market and to increase the export of their products and services.

The project started in 1993 for an initial four years. The research has come forward with many interesting and important results. The need for a follow up period of 10 years has been highlighted.

The three main parties involved in the project were Norwegian Public Roads Administration (NPRA), Norwegian Industrial and Regional Development Fund (SND) and Rescon AS. Rescon is the only wholly Norwegian owned company which develops and produces products for maintenance and repair of concrete structures.

Many of the results of the project were presented at an international conference in May 1997 to mark the end of the project. The papers are published in the Proceedings from this conference /32/ and Additional papers to proceedings /33/.

Trial repairs

This report describes how the trial repairs were used to test products in the field as a basis for product development. The trial repairs were carried out during the summer months of 1993, 1994 and 1995 and included the following activities:

- Condition survey
- Instrumentation
- Mechanical repair and surface treatment
- Documentation.

Before beginning the trial repairs, an assessment of which parts of the bridge that needed repair were carried out and it was decided what types of materials and

methods would be used. A static analysis was also carried out to control that the repairs and the repair methods did not reduce the load carrying capacity of the bridge.

Prior to the trial repairs, tender documents with a detailed description of the work to be carried out were made. Demands on the contractors qualifications, quality system, rig and scaffolding were also made. This report describes the experience gained with these types of tender documents.

Trial repair 1993 was carried out on four small test areas on the superstructure between axes 2 and 3. Trial repair 1994 was carried out on three of the columns and trail repair 1995 was carried out on the superstructure between axes 1 and 3.

In one of the test areas of trial repair 1993, chloride contaminated concrete was removed and replaced by a sprayed mortar before surface treatment. In the other areas and trial repairs it was carried out local mechanical repair of concrete and surface treatment with different types of products. This method was also used on concrete with relatively high chloride content in order to test the different surface treatments. It was possible to do this without any danger of reducing the permitted load carrying capacity of the bridge due to large structural reserves of the bridge.

As a result of the trial repairs and the associated product development are several recommendations drawn. The most important of these are:

- Removal of concrete should be limited. Removal and subsequent repair of large amounts of concrete may lead to a greater reduction of the load carrying capacity of the exposed reinforcement than years of corrosion.
- The boundary of the repair area should be cut at 45°
- The repair mortar must have a low early age shrinkage.

To follow up and judge the success of the trial repairs, instrumentation was installed in order to measure:

- Electrochemical potentials
- Linear Polarisation Resistance (LPR)
- Oxygen transport
- Electric resistance of the concrete
- Relative humidity of the concrete
- Temperature in the concrete.

Results and interpretations are given in the IDV-report /26/.

Supplementary tests

In addition to the trial repairs supplementary laboratory and field tests were carried out in order to clarify questions that came up during the project period.

- **Surface treatment of concrete slabs.** Small slabs of concrete were subjected to different types of surface treatment and attached to the column at axis 6. The aim was to increase the knowledge of surface treatment with respect to chloride ingress and moisture in the concrete. The results of this test will be available during the following up period.
- **Water sprinkling test.** The test was carried out to clarify if it was possible to wash out chlorides by sprinkling the concrete surface with fresh water for a long period of time. Laboratory tests showed that this was possible, but the field tests showed a greater variation than the laboratory tests.
- **Diffusion of chlorides.** Tests were carried out to measure if there is any diffusion of chlorides behind surface treatments and repair mortars. During the relatively short project period there has been a diffusion of chlorides into the repair mortar, but it has not been possible to measure any diffusion behind surface treatments. This will, however, be controlled during the following up period.
- **Hydrophobic treatment and cathodic protection.** The test was carried out to clarify whether a hydrophobic treatment can have a negative influence on a future cathodic protection with conductive coating or not. The test showed that hydrophobic treatment does have a negative influence, but it is still possible to achieve cathodic protection using a conductive coating if the concrete surface is sandblasted before the conductive coating is applied and the moisture content is at the right level.

Product development

During the project period, an extensive product development was carried out. This included improvement of existing products and development of new products and methods. The product development carried out at the laboratory at Rescon is described in report /30/, while the field tests are described in this report. The most important improvements were:

- Development of a mortar with low early age shrinkage, Rescon Redirep RSF og Rescon DS-RSF.
- A hydrophobic material consisting of pure silans, Rescon Silimp 100, showed good penetration in concrete with a high moisture content.
- Rescon Cem-Elastic (polymermodified cementitious slurry) was sprayed on instead of using a brush.
- Rescon Protect Lasur (paint) gave good results.

The report also suggests test methods for documentation of hydrophobic agents, surface treatments and repair mortars.

Questions that have not been answered

The extensive tests carried out in the laboratory and in the field have given a lot of information. But corrosion is slow process and there are a lot of questions with respect to repair and maintenance of chloride contaminated concrete that remain unanswered at the end of the project period. Some of these are:

- What is the effect of local mechanical repair and surface treatment when the reinforcement is in a corrosive state and is surrounded by chloride contaminated concrete?
- What is the effect of local mechanical repair and surface treatment when the concentration of chlorides in the cover zone can cause the reinforcement to corrode if the chlorides are transported in to the reinforcement?
- What is the best surface preparation for concrete before hydrophobic treatment?
- Will repeated hydrophobic treatment after a period of time increase the penetration?
- What are the effects of inhibitors in the field?
- What material parameters are important for surface treatment of concrete. Should the surface treatment allow water vapour diffusion or not?
- Is it possible to achieve the same colour when using different types of surface treatments?
- What is the service life of the different surface treatments?
- How is the service life of the bridge affected by different surface treatments?
- How important is instrumentation in evaluating the different maintenance methods?

It is hoped that the follow up period of the trail repairs will give answers to most of these questions.

Innhold

1. Innledning	1
2. Målsetning	3
2.1 OFU Gimsøystraumen bru.....	3
2.2 Prøvereparasjoner	4
2.2.1 Prøvereparasjoner som arbeidsform.....	4
2.2.2 Prøvereparasjon 1993	4
2.2.3 Prøvereparasjon 1994	5
2.2.4 Prøvereparasjon 1995	5
2.3 Produktutvikling	6
3. Valg av reparasjonsmetoder.....	8
3.1 Bakgrunn for metodevalg	8
3.2 Valg av områder og metoder for prøveparasjon 1993	9
3.3 Valg av områder og metoder for prøveparasjon 1994	9
3.4 Valg av områder og metoder for prøveparasjon 1995	10
3.5 Vurdering av vedlikeholdsstrategier - fremtidig vedlikehold	11
3.6 Statistiske vurderinger.....	13
3.6.1 Innledning	13
3.6.2 Statistiske beregninger	13
3.6.3 Meislingsplan for overbygningen.....	14
3.7 Vurderinger i forbindelse med F3-problemet.....	18
4. Anbudsgrunnlag- byggeplassoppfølging.....	19
4.1 Generell utforming av anbudsgrunnlag ved reparasjoner	19
4.2 Krav til den utførendes kompetanse	20
4.3 Krav til byggeledelse/byggeleder	20
4.4 Krav til kvalitetssystem	21
4.5 Krav til rigg og stillas.....	21
4.6 Lokaliseringssystem (koordinatbestemmelse)	22
4.7 Dokumentasjonskrav basert på problemdefinisjonene.....	22
4.8 Kontroll av utførelse i felt / prøvetaking i felt	25
5. Prøvereparasjoner	27
5.1 Prøvereparasjon 1993	27
5.1.1 Utførelse.....	27
5.1.2 Utførte mengder	33
5.1.3 Prøvetaking	33
5.2 Prøvereparasjon 1994	35
5.2.1 Utførelse.....	35
5.2.2 Utførte mengder	40
5.2.3 Prøvetaking	40
5.3 Prøvereparasjon 1995	42
5.3.1 Utførelse.....	42

5.3.2	<i>Utførte mengder</i>	46
5.3.3	<i>Prøvetaking</i>	46
5.4	<i>Instrumentering</i>	53
5.4.1	<i>Målsetning</i>	53
5.4.2	<i>Type instrumentering</i>	53
5.4.3	<i>Instrumentering ved prøveparasjon 1993</i>	54
5.4.4	<i>Instrumentering ved prøveparasjon 1994</i>	55
5.4.5	<i>Instrumentering ved prøveparasjon 1995</i>	56
5.5	<i>Dokumentasjon/rapportering av prøveparasjonene</i>	57
5.6	<i>Erfaringer med hensyn på gjennomføring av reparasjoner</i>	58
5.6.1	<i>Rigg</i>	58
5.6.2	<i>Stillas - innkledning</i>	58
5.6.3	<i>Vær - årstider - liggedager</i>	59
6.	<i>Andre feltforsøk</i>	63
6.1	<i>Betonghelleprogrammet</i>	63
6.1.1	<i>Innledning</i>	63
6.1.2	<i>Utstøping/gjennomføring</i>	63
6.1.3	<i>Overflatebehandling</i>	65
6.1.4	<i>Resultater</i>	67
6.1.5	<i>Foreløpige erfaringer</i>	68
6.2	<i>Vannoverrislingsforsøket</i>	68
6.2.1	<i>Innledning</i>	68
6.2.2	<i>Gjennomføring</i>	68
6.2.3	<i>Resultater</i>	69
6.2.4	<i>Diskusjon/erfaringer</i>	70
6.3	<i>Riss/sprekker</i>	74
6.3.1	<i>Målsetninger</i>	74
6.3.2	<i>Registreringer og resultater</i>	74
6.4	<i>Kloridutjevning</i>	75
6.4.1	<i>Kloridutjevning i mørtel, feltundersøkelser</i>	75
6.4.2	<i>Kloridutjevning bak belegg, feltundersøkelse</i>	76
6.4.3	<i>Laboratorieforsøk</i>	78
6.4.4	<i>Teoretiske beregninger</i>	78
6.5	<i>Overflatebehandlingens betydning for senere katodisk beskyttelse</i>	80
6.5.1	<i>Bakgrunn</i>	80
6.5.2	<i>Utførelse</i>	81
6.5.3	<i>Resultater</i>	82
6.5.4	<i>Konklusjon</i>	84
7.	<i>Produkt og metodeutvikling</i>	85
7.1	<i>Generelt</i>	85
7.1.1	<i>Faser i produktutvikling</i>	85
7.1.2	<i>Produktutvikling som følge av prøveparasjonene</i>	86
7.1.3	<i>Produkter fra prosjektet</i>	86
7.1.4	<i>Helse, Miljø og Sikkerhet i produktutvikling</i>	89

7.2 Håndmørtel.....	89
7.2.1 Reseptbearbeiding.....	89
7.2.2 Utpøving i laboratorium og felt.....	89
7.2.3 Produkter og dokumentasjonsplan fra prosjektet	90
7.3 Sprøytemørtel.....	91
7.3.1 Reseptbearbeiding.....	91
7.3.2 Utpøving i laboratorium og felt.....	91
7.3.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet	91
7.4 Korrosjonsinhibitorer.....	92
7.4.1 Reseptbearbeiding.....	92
7.4.2 Utpøving på laboratorium og i felt.....	92
7.4.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet	93
7.5 Hydrofoberende impregnering	97
7.5.1 Reseptbearbeiding.....	97
7.5.2 Utpøving i laboratorium og felt.....	97
7.5.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet	98
7.6 Overflatebelegg	99
7.6.1 Reseptbearbeiding.....	99
7.6.2 Utpøving i laboratorium og felt.....	99
7.6.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet	99
7.7 Økonomi.....	101
8. Reparasjonsmetoder-erfaringer/anbefalinger	102
8.1 Generelt.....	102
8.2 Mekanisk reparasjon	102
8.2.1 Produkter.....	102
8.2.2 Statistiske vurderinger.....	102
8.2.3 Metoder for fjerning av betong.....	103
8.2.4 Sårutforming/rengjøring.....	103
8.2.5 Oppmørtling for hånd.....	104
8.2.6 Tørrsprøyting.....	104
8.2.7 Kontroll av utførelse/prøvetaking i felt.....	106
8.2.8 Effekt av mekanisk reparasjon.....	106
8.2.9 Uavklarte forhold vedrørende mekaniske reparasjoner.....	107
8.3 Hydrofobering	108
8.3.1 Produkter.....	108
8.3.2 Underlag.....	108
8.3.3 Utførelse.....	110
8.3.4 Kontroll av utførelses/prøvetaking i felt.....	111
8.3.5 Effekt av hydrofobering.....	111
8.3.6 Usikre/uavklarte faktorer.....	113
8.4 Overflatebelegg	113
8.4.1 Produkter.....	113
8.4.2 Underlag.....	116
8.4.3 Utførelse.....	116
8.4.4 Kontroll av utførelse/prøvetaking i felt.....	120

8.4.5 Effekt av overflatebehandling.....	123
8.4.6 Usikre/uavklarte faktorer.....	123
9. Økonomi-ressursvurderinger	125
9.1 Kostnader	125
9.1.1 Prøvereparasjon 1994	125
9.1.2 Prøvereparasjon 1995	126
10. Effekt / kostnader	127
10.1 Vedlikeholdsstrategier og -metoder	127
11. Måloppnåelse - uavklarte forhold.....	130
11.1 Generelt.....	130
11.2 Metodeutvikling og dokumentasjon av mekanisk reparasjon	130
11.3 Dokumentasjon av overflatebehandlinger	131
11.4 Grunnlag for kravspesifikasjon i prosjektets reparasjonsanbefaling.....	132
11.5 Erfaringer vedrørende ulike faglige problemstillinger	132
11.6 Instrumentering	133
12. Referanser	134

1. Innledning

Problemstillingen med kloridskader på kystbruene i Norge er relativt ny. Problemet ble først satt på dagsorden på slutten av 1980-årene. Omfanget av skader er betydelig og skyldes at det er bygget svært mange bruer i ytre kyststrøk i løpet av de siste 20 år. Det økende antall registrerte skader og fare for akselererende skadeomfang har ført til at manglende bestandighet av kystbruer i betong er definert som et alvorlig problem innenfor bruforvaltningen i Norge.

Det var derfor et reelt behov for bedre kunnskap om nedbrytning av betong og metoder for vedlikehold og reparasjon av betongbruer med de klimapåkjeningene vi har i værharde kyststrøk. Først og fremst gjelder dette forhold ved korrosjon av armering innstøpt i betong, spesielt ved kloridinitiert armeringskorrosjon.

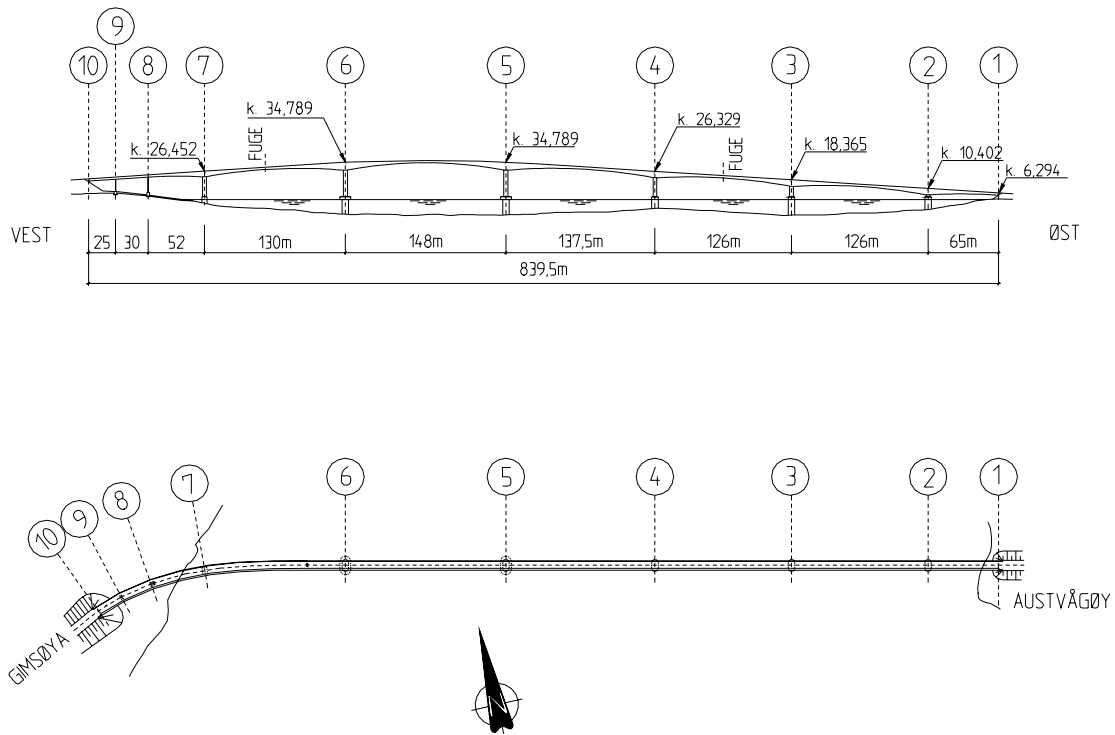
Betydelig innsats har blitt lagt ned verden over for å utvikle materialer og metoder for reparasjon og vedlikehold, og for å vurdere armeringsstålets korrosjonsbetingelser. Som på alle andre områder har en også her opplevd at metoder som fungerer godt i laboratoriet ikke alltid viser seg å være like velegnet for virkelige konstruksjoner i felt. Slike metoder kan da gi en falsk trygghetsfølelse.

I OFU-prosjektet skulle en bedre på disse forholdene ved å bruke en hel og meget stor konstruksjon i felten, nemlig Gimsøystraumen bru i Nordland, se figur 1.1. Eksisterende og nye materialer og metoder skulle prøves ut i industriell skala i felten for å teste og dokumentere praktiske bruksegenskaper og effekter på en realistisk måte. Erfaringene skulle så benyttes til videre utvikling av materialer og metoder.

Målet til en materialleverandør (Rescon AS) og en stor byggherre (Statens vegvesen) var å komme fram til effektive, økonomiske og produksjonsvennlige reparasjons- og vedlikeholdsmetoder for kloridinfisert betong.

Det skulle legges stor vekt på dokumentasjon av effektene av reparasjoner og vedlikeholdstiltak, blant annet ved instrumentering.

Det var bestemt at OFU-prosjektet skulle begrenses til konvensjonelle reparasjons- og vedlikeholdsteknikker som mekanisk reparasjon og overflatebehandling over vann. Elektrokjemiske metoder som kloriduttrekk, katodisk beskyttelse osv. skulle ikke benyttes.



Figur 1.1: Gimsøystraumen bru.

2. Målsetning

2.1 OFU Gimsøystraumen bru

Hovedmålsettingene for prosjektet :

Kompetanseheving

Det skal oppnås generell kompetanseheving hos prosjektdeltakerne Rescon og Statens vegvesen på området vedlikehold av betongbruer.

Ny kunnskap

FOU-aktivitet i prosjektet blant annet gjennom dr.ing.-studier skal bidra til å fremskaffe ny kunnskap om de faktorer som påvirker bruens bestandighet i kystklima og bidra til å fremskaffe bedre totalløsninger for vedlikehold av bruer.

Utvikling av produkter

Gjennom produktutvikling skal eksisterende reparasjonsløsninger både videreutvikles og forbedres samt at det skal utvikles nye produkter/løsninger for vedlikehold og reparasjon av betongkonstruksjoner. Nye og forbedrede produkter og løsninger skal bidra til å øke teknisk levetid og senke årskostnader for betongbruer.

Reparasjonsveiledning

Det skal utarbeides retningslinjer, krav og prosedyrer som skal inngå i en reparasjonsveiledning i Statens vegvesen. Resultater i prosjektet skal formidles til brukerne på en slik måte at resultatene kan benyttes som et aktivt hjelpemiddel ved fremtidig reparasjon og vedlikehold av betongbruer.

Vedlikehold og reparasjon

Gimsøystraumen bru skal bli gjenstand for vedlikeholds- og reparasjonstiltak på en teknisk og økonomisk forsvarlig måte.

Sertifisering i henhold til ISO 9000-serien

Rescon og Resconsult skal gjennom dokumentasjon i prosjektet oppnå å bli sertifisert i hht ISO 9001 og ISO 9002.

Bedre Rescon's konkurransekraft

Prosjektet skal gi Rescon økt konkurransekraft på det hjemlige marked og gi Rescon et fundament for eksport av produkter og tjenester.

2.2 Prøvereparasjoner

2.2.1 Prøvereparasjoner som arbeidsform

Statens vegvesen har angrepet problemområdet med kloridskader på kystbruene ved først å skaffe seg oversikt over skadeomfanget gjennom tilstandsundersøkelser, og deretter iverksette vedlikeholds- og reparasjonstiltak for å dekke etterslepet på vedlikeholdssiden og så foreta utprøving av ulike vedlikeholds- og reparasjonsteknikker. Parallelt med dette har man lagt vekt på generell kompetanseoppbygging innenfor etaten innen fagfeltet.

I korte trekk er dette utgangspunktet for prosjektet OFU Gimsøystraumen bru, hvor det er tilstrebet en sterk kobling mellom prøvereparasjoner og produktutvikling med vektlegging på dokumentasjon.

Prøvereparasjonene som arbeidsform innebærer at en ikke bare får utprøvd produktene i laboratoriet, men også i felten under de klimaforhold som råder der. Man kan dermed få rask tilbakemelding til materialleverandøren om negative og positive sider ved produktene.

2.2.2 Prøvereparasjon 1993

Målsetningene for gjennomføring av en begrenset prøvereparasjon i løpet av sensommeren 1993 var:

Dokumentasjon av reparasjonsmetoder

Dokumentere effekten av vedlikeholds- og reparasjonsmetoder som:

- I) Mekanisk reparasjon med vannmeisling og tørrsprøyting
- II) Overflatebehandling med hydrofobere impregnering
- III) Overflatebehandling med elastisk slemmemasse.

I tillegg ble effekten av inhibitor i tørrsprøytemørtel og inhibitor som overflatebehandling testet.

Videreutvikle instrumentering

Utprøving og videreutvikling av metoder for instrumentering til tilstandsovervåkning og til dokumentasjon av reparasjonsmetoder.

Organisering/kvalitetssikring

Etablering av en organisasjon for gjennomføring av prøveparasjoner som ivaretok OFU-prosjektets behov/krav til dokumentasjon og kvalitetssikring.

Tid/kostnader

Oppstart av prøveparasjon 1993 senest den 1. august 1993 med fullføring innen 1. oktober 1993. Prøvereparasjonen skulle gjennomføres innenfor en ramme på 2 millioner kroner.

2.2.3 Prøvereparasjon 1994

Målsetningene for prøveparasjonen i 1994 var:

Dokumentasjon av reparasjonsmetoder

Dokumentere effekten av lokale reparasjoner med meisling og tørrsprøyting etterfulgt av ulike overflatebehandlinger som

- I) Hydrofoberende impregnering
- II) Elastisk slemmemasse
- III) Epoxy
- IV) Akrylbasert maling.

Reparasjon av søyler

Reparere og vedlikeholde samtlige søyler på Gimsøystraumen bru.

Grunnlag for kravspesifikasjon

De valgte reparasjons- og vedlikeholdsmetodene skulle danne grunnlaget for utarbeidelse av produktkrav, funksjonskrav og arbeidsprosedyrer.

Instrumentering

Fortsette arbeidet med å utprøve og videreutvikle metoder for instrumentering til bruk som tilstandsovervåkning og til dokumentasjon av reparasjonsmetoder.

Tid/kostnad

Oppstart av prøveparasjon 1994 skulle være i mai 1994 og alt arbeid på brua skulle være avsluttet 30. september 1994. Sluttdokumentasjonen skulle fullføres innen 1. desember 1994. Prøvereparasjonen skulle gjennomføres innenfor en ramme på 4 millioner kroner.

2.2.4 Prøvereparasjon 1995

Følgende hovedmål var knyttet til gjennomføring av prøveparasjon 1995:

Metodeutvikling og dokumentasjon

Videre metodeutvikling og dokumentasjon av lokale reparasjoner med meisling og tørrsprøyting etterfulgt av ulike overflatebehandlinger som

- I) Hydrofobierende impregnering
- II) Elastisk slømmemasse
- III) Epoxy
- IV) Akrylbasert maling.

Inhibitor i tørrsprøytemørtel ble testet ut på lokale reparasjoner.

Reparasjonsanbefaling

Utarbeide og om nødvendig bearbeide spesiell beskrivelse og arbeidsprosedyrer slik at materialet kan inngå i prosjektets "reparasjonsanbefaling". Gjennom dette skal det utvikles funksjonskrav samt krav til materialer, utførelse, kontroll og toleranser.

FoU-delmål

Gjennom flere planlagte delaktiviteter skal det fremskaffes erfaringsdata og/eller foretas avklaring vedrørende faglige problemstillinger knyttet til bestandighet, vedlikehold og reparasjon.

Instrumentering

Fortsette arbeid med å fremskaffe pålitelige data om korrosjonsaktivitet og fuktforhold i betong som skal kunne brukes for å bedømme funksjon/virkning av vedlikeholds- og reparasjonstiltak. I tillegg iverksette tiltak for å sikre at utført instrumentering ga pålitelige data, og dermed gi et grunnlag for anbefaling av instrumenteringsteknikker.

Tid / kostnad

Prøvereparasjon 1995 skulle starte senest 18. mai 1995. Arbeid på brua skulle være ferdig innen 29. september og dokumentasjonen fullføres innen 1. november 1995. Prøvereparasjonen skulle gjennomføres innenfor en ramme på 5 millioner kroner.

2.3 Produktutvikling

Et produkt ble i dette prosjektet definert som et *materiale med en metode-beskrivelse*.

Målet med prosjektets produktutvikling var å lage produkter for reparasjon og vedlikehold som skulle øke levetid og redusere årskostnader for betongbruer.

Produktutviklingen i OFU-prosjektet var direkte knyttet til betongbruer i marint klima. Rescon hadde ved oppstart et vidt spekter av produkter som også kunne brukes for reparasjon av bruer. Det er imidlertid verdt å merke seg at disse produktene var utviklet for et mer generelt marked enn bare til reparasjon av bruer. Det var derfor nødvendig med videreutvikling og tilpasning av disse produktene for at de skulle møte

de krav som stilles for optimal brureparasjon. Samtidig var det ønskelig å utvikle teknisk og økonomisk optimale løsninger.

Produktutviklingen ble opprinnelig delt inn i 5 produktgrupper, spesielt tilpasset brukonstruksjoner:

- 1 Sement og sement/lateks baserte produkter
- 2 Herdeplastprodukter
- 3 Hydrofobering og malingsprodukter
- 4 Tilsetningsstoff til betong
- 5 Andre produkter.

Inndelingen ble gjort for å lette oversikten og styringen av prosjektet. I praksis må produktene ofte settes sammen i et system fra flere grupper for den aktuelle reparasjon.

Produktutviklingen ble sterkt knyttet opp mot prøveparasjonene for at erfaringer fra praktisk utførelse skulle gi grunnlag for videreutvikling av produktene.

3. Valg av reparasjonsmetoder

3.1 Bakgrunn for metodevalg

I de siste årene er det utviklet og tatt i bruk flere "nye" reparasjons- og vedlikeholds-metoder hvor det ikke er nødvendig å fjerne kloridholdig betong. Mekanisk reparasjon med fjerning av skadet og kloridholdig betong og oppmørtling/ påsprøyting av ny betong har imidlertid vært den vanligste reparasjonsmetoden både her til lands og i andre deler av verden. Mekanisk reparasjon vil fortsatt være viktig da denne også benyttes for å reparere lokale skader før katodisk beskyttelse og kloriduttrekk.

Ved mekanisk reparasjon er det en rekke forhold og usikkerheter som kan oppfattes som ugunstige, og som må vurderes nærmere. For det første er det knyttet usikkerhet til i hvilken grad konstruksjonens bæreevne svekkes ved fjerning av betong i stort omfang etterfulgt av ny utstøpning. En annen usikkerhet er bestandigheten til denne typen reparasjoner. Et tredje forhold er at selve metoden er følsom for utførelsesfeil (både fjerning av betong og ny utstøpning). I tillegg har en uklare fjerningskriterier (f. eks. en gitt kloridgrense, målte EKP-verdier eller andre skadesymptomer). Fjerningskriteriet har store konsekvenser for mengden av betong som blir fjernet. Dette har betydning for alle faktorene nevnt ovenfor i tillegg til at mengden selvsagt også får sterk innflytelse på reparasjonskostnadene.

Med bakgrunn i disse usikkerhetene var det et gjennomgående prinsipp i OFU-prosjektet at fjerning av betong skulle begrenses til et minimum, dvs til områder der betongen hadde skader som følge av armeringskorrosjon (f. eks. avskallinger) og i områder hvor betongen i utgangspunktet hadde lokale svekkelser (f. eks. støpesår eller støpeskjøter). I tillegg skulle det påføres en overflatebehandling. Det var forventet at denne skulle forebygge skader i områder som ikke er angrepet av korrosjon og samtidig begrense korrosjonshastigheten i øvrige områder. Med andre ord aksepterer man at korrosjonen ikke stopper fullstendig opp på alle deler av konstruksjonen.

Et slikt vedlikeholdsprinsipp betinger spesiell oppfølging av vedlikeholdte områder over tid. Viktig er også bevisstheten om at nye vedlikeholdstiltak må utføres. Dette vil omfatte fornying av overflatebehandling, men kan også omfatte større reparasjoner og eventuell forsterkning på et senere tidspunkt.

Utgangspunktet for metodevalg når det gjaldt prøvereparasjonene var å etterprøve det skisserte vedlikeholdsprinsippet nærmere. Grundig dokumentasjon og oppfølging med inspeksjoner og kontinuerlig overvåkning vha instrumentering var nøkkelfaktorer i denne sammenheng.

En av rammebetingelsene i OFU-kontrakten med Rescon var at elektrokjemiske reparasjonsmetoder ikke skulle benyttes ved prøvereparasjonene.

3.2 Valg av områder og metoder for prøve-reparasjon 1993

Prøvereparasjon 1993 ble besluttet lagt til overbygningen fordi deler av denne hadde et åpenbart vedlikeholdsbehov. Dette er nærmere beskrevet i rapporten "Klimapåkjenning og tilstandsvurdering" /24/. Nøyaktig lokalisering av prøvereparasjonen ble fastsatt ut fra ønsket om å finne arealer som hadde et kloridinnhold i grenseområdet for korrosjon. En valgte områder hvor kloridinnhold i nivå med armering lå mellom 0,4 % og 1,0 % av sementvekt. Disse områdene ble lokalisert ved spesialinspeksjonen utført i 1992 /24/.

I ett av de fire prøvefeltene ble det, på tross av det tidligere nevnte prinsippet, besluttet å prøve ut metoden med å fjerne kloridholdig betong og foreta oppmørtling. I forkant av dette ble det foretatt statistisk analyse for å bestemme hvordan meislingsarbeidet kunne utføres. De statistiske beregninger er oppsummert i kapittel 3.6 og utførlig beskrevet i /7/.

3.3 Valg av områder og metoder for prøve-reparasjon 1994

Fra et prosjektmessig synspunkt var det ønskelig å få erfaring med reparasjon av søyler, da en hadde erfaring med reparasjon av overbygningen fra året før. Fra byggherrens side (Statens vegvesen Nordland) var det også ønskelig å behandle større deler av brua som hadde et reparasjons- og vedlikeholdsbehov. Dette ønskemålet sammen med det høye kloridinnholdet i søylene førte til beslutningen om at prøvereparasjon 1994 skulle utføres på søylene.

Søylene i akse 3, 4 og 5 ble valgt ut som objekter for denne prøvereparasjonen. Det ble dessuten besluttet at de øvrige søylene skulle flikkrepareres og overflatebehandles. Flere vedlikeholdsstrategier og aktuelle vedlikeholdsmetoder ble vurdert for de utvalgte søylene. Vedlikeholdsstrategiene og -metodene ble sammenlignet gjennom kostnadsanalyser basert på nåverdiberegning. Vedlikeholdsmetodene som ble sammenlignet i denne kostnadsanalysen varierte fra enkle metoder som hydrofobering til mer omfattende metoder som fjerning av kloridholdig betong, katodisk beskyttelse osv. Resultatene fra kostnadsanalysen viste at hydrofobering og overflatebehandlinger syntes å være mest kostnadseffektive i dette tilfellet. Dette er oppsummert i kapittel 3.5 og mer detaljert beskrevet i /24/.

Det ble foretatt en statistisk analyse av søylene, spesielt i akse 4 hvor det var endel riss og sprekker. Dette ble gjort for å vurdere om det kunne meisles bort betong fra søylene. Konklusjonen var at det ikke var bæreevnemessig forsvarlig å fjerne betong bak armering. De statiske beregninger er oppsummert i kapittel 3.6 og utførlig beskrevet i /7/.

Både kostnadsanalysen og den statistiske analyse støttet det prinsippet som var lagt til grunn for prøvereparasjon 1993, nemlig å fjerne minst mulig betong. Ved prøvereparasjon 1994 ble det derfor kun utført reparasjon av lokale synlige skader etterfulgt av overflatebehandling.

3.4 Valg av områder og metoder for prøve-reparasjon 1995

Prøvereparasjon i 1995 ble besluttet utført på hele undersiden av overbygningen i felt 1 og 2, med unntak av prøve- og referansefeltene fra prøvereparasjon 1993. Dette skyldtes at disse delene av brua hadde et åpenbart vedlikeholdsbehov, noe som ble fastslått gjennom de utførte tilstandsundersøkelsene /24/.

På samme måte som i 1994 ble det foretatt en kostnadsanalyse med sammenligning av de forskjellige vedlikeholdsstrategiene og aktuelle vedlikeholdsmetodene. Konklusjonen var at reparasjon av lokale skader etterfulgt av overflatebehandling også i dette tilfellet var mest kostnadseffektivt. Dette er oppsummert i kapittel 3.5 og mer detaljert beskrevet i /24/.

Statistiske beregninger viste at bøy- og tverrarmring har forholdsvis stor overkapasitet. I det mest utsatte området på begge sider av akse 2 kunne opptil 40-50 % av tverrgående armering i bunnplaten og bøyarmring i stegene ruste bort. Beregningene viste imidlertid at det kunne være fare for utknekking av lengdearmeringen dersom det ble meislet bak denne. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.6 og grundig drøftet i /7/.

Både kostnadsanalysene og de statistiske beregningene støttet det vedlikeholdsprinsippet som var lagt til grunn ved prøvereparasjon 1993. Prøvereparasjonen 1995 ble derfor, som ved de tidligere prøvereparasjonene, utført ved reparasjon av lokale synlige skader og etterfulgt av overflatebehandling.

3.5 Vurdering av vedlikeholdsstrategier - fremtidig vedlikehold

Ved reparasjon og vedlikehold av ei bru kan det være aktuelt å sammenligne forskjellige vedlikeholdsstrategier og -metoder avhengig av f. eks. skadens omfang og bruas alder. I dette kapitlet er det gitt en oppsummering av de sammenligningene som ble utført i dette prosjektet. Mer detaljert beskrivelse av disse er gitt i /24/.

De vanligste vedlikeholdsstrategiene som brukes for bruer er:

1. Ingen tiltak
2. Midlertidige tiltak
3. Omfattende tiltak.

Disse strategiene kan være aktuelle i de situasjonene som er beskrevet nedenfor:

Strategi 1. Ingen tiltak: Denne kan være aktuell på bruer med liten skade og/eller skadeutvikling som går svært langsomt. Denne strategien kan også være aktuell for større og alvorligere skader hvor en ønsker å utnytte restlevetiden for så å skifte ut skadde elementer eller bygge ny bru.

Strategi 2. Midlertidige tiltak: Denne strategien kan være aktuell å benytte der en f. eks. ønsker å utsette tidspunktet for et større vedlikehold. Strategien kan også brukes der det er aktuelt å reparere de mest skadede elementene for å utnytte restlevetiden for de øvrige elementene.

Strategi 3. Omfattende tiltak: Denne strategien benyttes der en ønsker en full istandsetting av brua for å gi lengst mulig total levetid. Dette kan omfatte både tiltak for å forebygge at skader utvikler seg og reparasjon og vedlikehold av skader som har utviklet seg.

For hver av disse vedlikeholdsstrategiene kan det være aktuelt med flere alternative vedlikeholdsmetoder.

Gimsøystraumen bru ble bygget i 1981 og målet er at den skal repareres og vedlikeholdes slik at levetiden blir 100 år. Dette betydde at strategi 3 var den mest aktuelle. Som nevnt kan det for denne strategien være mange aktuelle vedlikeholdsmetoder. I dette tilfellet ble følgende metoder sammenlignet:

1. Ingen periodiske tiltak
2. Lokale reparasjoner av synlige skader og deretter behandling med forskjellige typer hydrofoberingsmidler, malinger og belegg
3. Lokale reparasjoner av synlige skader, kloriduttrekk og overflatebehandling
4. Lokale reparasjoner av synlige skader og katodisk beskyttelse
5. Fjerning av kloridholdig betong, oppmørtling og overflatebehandling.

Usikkerheten med alle metodene er hvor stor effekt de har i forhold til levetid. Dette må derfor tas med i vurderingen.

Sammenligningen av metodene viste at reparasjon av lokale skader og overflatebehandling var mest kostnadseffektiv.

På Gimsøystraumen bru hvor skadeomfanget på store deler av brua tross alt er beskjedent, ble det etter en totalvurdering valgt å satse på hydrofobering og andre overflatebehandlinger etter at det var utført reparasjoner av synlige skader. De øvrige metodene som kloriduttrekk og katodisk beskyttelse gjøres det dessuten omfattende forsøk med på andre bruer.

Ved alle typer reparasjoner og vedlikehold må det påregnes at det også i framtiden må utføres et vedlikehold. Hvor hyppig og omfattende dette må være vil avhenge av effekten og levetiden til det systemet som er valgt.

På flatene som hydrofoberes ble det i kostnadsanalysene forutsatt at det skulle gjøres regelmessige hydrofobering hvert 10. år i bruas levetid. På de flatene som skulle overflatebehandles på annen måte ble dette intervallet økt, avhengig av overflatebehandlingens kvalitet og effekt. Eksakte tidspunkt for vedlikehold av hydrofobering og overflatebehandling må vurderes nærmere i forbindelse med oppfølging av prøvereparasjonene.

For F3-flater, jf. kapittel 3.7, kan det etter noe tid være behov for å gå inn med mer omfattende vedlikehold dersom prøvereparasjonene viser seg utilstrekkelige.

3.6 Statiske vurderinger

3.6.1 Innledning

Overbygningen på Gimsøystraumen bru er, i de delene av brua som omfattes av OFU-prosjektet, bygd etter fritt-frembygg prinsippet med lukket kasse som har variabel høyde. Med unntak av søylen i akse 2 er alle søylene hule. Lastbildet for brua vil i stor grad bestå av egenvekt og med et mindre bidrag fra trafikklast. For søylene vil dessuten byggeforløpet bestemme hvordan kryp/svinn og temperatur genererer tvangskrefter. Vindlasten vil ha betydning for kapasiteten i de nedre delene av søylene.

Kloridinitiert armeringskorrosjon kan svekke bæreevnen på to måter. For det første reduseres armeringstverrsnittet noe som selvfølgelig gir redusert bæreevne. For det andre vil, avhengig av oksygentilgangen til korrosjonsprosessen, korrosjonsproduktene få en volumøkning som fører til at betongoverdekningen sprennes av langs enkeltjern eller over større områder. Dette vil svekke kapasiteten ved at betongtverrsnittet reduseres, heft mellom betong og armering ødelegges og omfangings skjøter mellom armeringsjern ikke lenger fungerer som forutsatt.

Ved meisling på armerte betongkonstruksjoner er det også flere forhold som må ivaretas. Når armering frilegges, forsvinner heften mellom betong og armering, og armeringen er derfor ikke i samvirke med betongen i det frilagte området. Dette betyr at gjenværende, innstøpt armering i nærheten må kunne ta opp all kraftoverføring fra betong til armering både i perioden når arbeidene pågår og for egenlast etter at armeringen igjen er innstøpt.

Frilagte jern som står under trykk vil kunne knekke ut avhengig av frilagt lengde og opptredende kraft. I hjørner av bøylor (skjærarmoring) må det tas spesielle hensyn slik at betongen gir mothold mot hjørnet i bøylene under og etter meisling.

I omfangings skjøter må det sikres at tilstrekkelig del av denne er innstøpt og har kapasitet nok til å overføre den opptredende kraft fra armeringsjern til armeringsjern.

3.6.2 Statiske beregninger

Det ble gjennomført detaljerte statiske analyser av brua i forbindelse med prøveparasjonene. Det vises til /7/ og til kapittel 6.7 i /24/. Hensikten med dette var todelt:

1. Finne kapasiteten på tverrsnitt og sammenligne disse med opptredende tverrsnittkrefter for å avklare hvor stor reduksjon i kapasitet som kunne aksepteres uten at bæreevnen blir for lav.

2. Finne frem til gjennomførbare meislingsplaner som kunne ivareta kravet til kapasitet under og etter reparasjon.

Mekanisk reparasjon med fjerning av betong og gjenmørtling vil ikke være bærende for egenvekt. Pga. svinn i reparasjonsmørtelen er det også lite sannsynlig at reparasjonen vil være bærende for variable laster som f. eks. trafikklast. Da det er egenvekt som i særklasse er den dominerende lasten i dette tilfellet, betyr det at alle reparasjoner må betraktes som ikke-bærende og at gjenværende "gammelt" betongtverrsnitt må ha kapasitet til å ta opptredende laster. Reparasjonene vil bare gjenopprette korrosjonsbeskyttelsen av armeringen i reparerte områder. Armering som frilegges i større områder må, avhengig av utnyttelsesgrad, frilegges på en slik måte at de ikke blir spenningsløse. Det vil si at meislingsplanen må legges opp slik at dette forhold ivaretas.

3.6.3 Meislingsplan for overbygningen

Steg

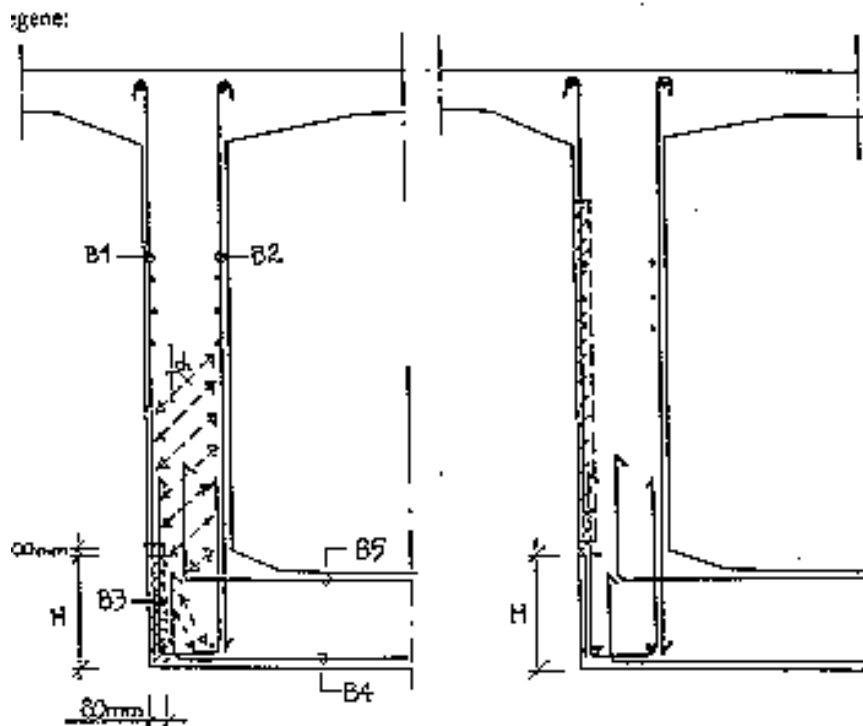
I det etterfølgende er det beskrevet hvordan meisling og frilegging av armering på yttersiden av stegene kunne utføres og samtidig ivareta kravet om å ikke gjøre armeringen spenningsløs. Meisling med frilegging av armering ble imidlertid ikke utført på stegene da en fikk problemer med utknekking av armeringen i underkant av bunnplaten og av den grunn endret meislingsdybden, se kapittel 5.1.

Løsningen som ble vurdert er gjengitt i figur 3.6.1. Figuren viser et snitt gjennom bunnplate/steg med tverrarmeringen inntegnet. Betongen i ytterflaten av steget skulle fjernes i to etapper som vist med skravert areal. Den første etappen måtte støpes ut før betongen kan fjernes på den andre etappen.

Når betong fjernes, er det av størst betydning at kraftfordelingen ikke medfører at forankringen av bøylen i hver ende blir ødelagt, men fortsatt vil være i stand til å ta opp krefter. Dette vil bl.a. være avhengig av hvor mye ekstra bøylekapasitet som er lagt inn.

Bunnplatearmeringen B4 og B5 overfører skjærkrefter fra bunnplate til steg, mens stegarmering B1 og B2 overfører skjærkrefter i steget mellom trykk- og strekksgurt, dvs. mellom bunn- og topp-platen. Bøylen B3 er å betrakte som skjøtebøyle. En del av skjærkraften i steget skrives seg fra torsjonsmomentet i kassen, men vil ikke bli spesielt behandlet.

Det var planlagt at betongen skulle hugges bort i ca. 80 mm dybde, dvs. innenfor langsgående utvendig armering inkludert også jernet i hjørnet av bunnplate. Reparasjonen som skulle utføres i to etapper kan gjøres i to alternativer avhengig av rekkefølgen på de to etappene.



Figur 3.6.1: Meisling i stegene.

Alternativ 1:

Fase 1: Betong fjernes i en høyde $H + 100$ mm fra uk. (underkant) bunnplate. Etter rengjøring støpes det inn igjen over høyden H med bruk av sprøytebetong.

Fase 2: Etter tilstrekkelig herding av betongen i nedre del, foretas de samme arbeidsoperasjoner i øvre del av steget.

Lengden H må være stor nok til å kunne overføre forankringskreftene fra B1 i fase 2 forårsaket av variable laster (trafikk, temperatur, vind).

Statisk analyse for alternativ 1

Fase 1: Dersom det langsgående jernet i utvendig hjørne frilegges, må den frilagte delen i bøylene B3 på utside steg betraktes som spenningsløs siden det langsgående jernets bøyestivhet er veldig liten i forhold til aksialstivheten. Dette selv om det i lengderetning bru ble oppdelt i støpetapper med lengder ned til f. eks. 1 m. Den frilagte delen av jernet B1 vil bli spenningsløs og ny forankringssone vil bygge seg opp ovenfor den frilagte høyden. Forankringskreftene i B1 vil overføres til B2 via det oppståtte trykkfeltet og til B5, i den grad dette er mulig. Vinkelen α på figur 3.6.1 bør kunne antas til ca. 30° , men ikke i noe fall så stor at spaltstrekkspenningene overskrider tillatt strekkfasthet for betong. Jernet B2 og del av bøylene B3 på innside steg vil altså få vesentlig økte krefter. De fleste stedene (noe avhengig av H i forhold til tykkelsen av bunnplate) vil disse jernene måtte regnes å ta hele den vertikale skjærkraftoverføringen og ville da måtte kontrolleres for dette. Forankringslengden av B2 i uk. (trykksonen) kan nok antas liten, kanskje bare 10 x armeringsdiameter. Dersom flytning skulle oppstå vil noe kraft bli forsøkt overført tilbake til B1 og dermed kan noe rissutvikling bli resultatet i det partiet som støpes ut.

Fase 2: I det betongen fjernes vil B1 forankres i den først reparerte nedre del. B1 vil nå ha fått en mindre tøyning (tilsvarende tøyningen over $H + 100$ mm + "forankringsslipp") og en tilsvarende mindre kraft. Krafttapet i B1 er blitt overført til B2. Denne kraftomlagringen kan beregnes. Etter gjenstøpning vil den nye betongen være spenningsløs og hvis svinnriss unngås, også rissfri. Derimot kan de økte tøyningene i B2 resultere i riss/økte rissvidder i den opprinnelige indre delen av steget. Fare for korrosjonsangrep på armeringen på denne siden er imidlertid liten.

Alternativ 2 inkl. statisk analyse:

Fase 1: Betong fjernes i øvre del av steget. Høyden H kan nok her gjøres noe mindre enn for alternativ 1 siden forankringen i nedre del skjer i fullt utherdet og monolittisk betong. B1 vil kunne antas å ikke tape vesentlig kraft i denne fasen.

Fase 2: Fjerning av betong, forankring og kraftoverføring blir tilsvarende som for fase 1 under alternativ 1. Det blir vesentlig økte krefter i nedre del av B2/B3 idet nedre del av B1/B3 vil være spenningsløs. Nedre del av påstøpen i fase 1 kan dermed få noe strekk-tøyning, men neppe spenningsriss.

For begge alternativer vil fasen med fjerning av betong på nedre del kunne bli kritisk for spenningen i B2. Alternativ 1 vil nok være best da denne fremgangsmåten til slutt vil gi forankring av B1 lenger ned i steget og dermed mindre kraftomlagring til B2 som sluttresultat. Det er imidlertid høyst usikkert hvorledes kraftbildet vil opptre i de

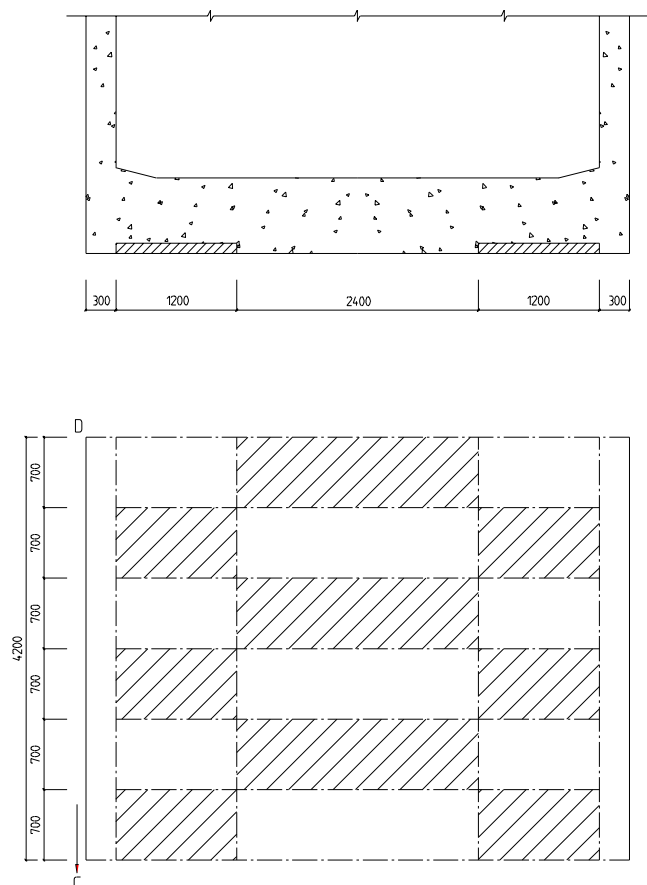
forskjellige faser av en slik reparasjonsmetode. Resultatet kan lett bli store rissdannelser/deformasjoner og en konstruksjon som er mer svekket enn styrket.

Bunnplate

Bunnplaten er stort sett trykkpåkjent i lengderetningen. For langsgående armeringsjern er det derfor utknekking som bestemmer hvor mye som kan fjernes i en operasjon. Det samme gjelder for tverrarmoring i underkant bunnplate ved stegene.

Resultatet av knekningsvurderingen ble brukt til å lage en meislingsplan som ble benyttet i forbindelse med prøveparasjonen i 1993. Denne planen gikk ut på å meisle ut ruter med rutelengde opp til 1000 mm i lengderetning av brua. Denne begrensningen viste seg å være for optimistisk da lengdearmoringen knakk ut. Dette kan skyldes at trykkarmoringen er belastet til flyting p.g.a. kryp i betongen.

En meislingsplan som fullstendig skal ivareta at armeringen skal fungere statisk også etter reparasjonen, må derfor bestå av et fint rutenett som vist på figur 3.6.2.



Figur 3.6.2: Justert meislingsplan for bunnplate (ikke benyttet).

Skraverte felt meisles og mørtles før blanke felt gjennomgår samme operasjon. Det betyr at meisling/mørtling på bunnplaten må deles opp i så små felt at dette vil være lite økonomisk. I tillegg vil det bli et utall støpeskjøter. Det er også et spørsmål om

dette i det hele tatt er praktisk gjennomførbart. Dessuten vil meisling fjerne trykkpåkjent betong som vil bli erstattet med spenningsløs reparasjonsmørtel. Av den grunn ble det i stedet besluttet å redusere meislingsdybden, det vises til kapittel 5.1.

3.7 Vurderinger i forbindelse med F3-problemet

Flater som har flateproblemer av type F3, det vises til kapittel 4.7 og /24/ kapittel 7, er definert å være i nedbrytningsfase 3 eller 4, dvs:

Fase 3: Overdekningen for monteringsstengene begynner å sprenges av og/eller den konstruktive armeringen begynner å korrodere.

Fase 4: Armeringen er delvis blottlagt og korrosjonen på konstruktiv armering øker.

Dette betyr altså at kloridinntrengningen fra saltholdige omgivelser har kommet så langt at det pågår korrosjon på såvel monteringsstenger som konstruktiv armering. Det må også påregnes at det er groptæring på noe av armeringen.

Kravet som må stilles til reparasjon av disse flateskadene er at korrosjonen må stanses eller korrosjonshastigheten må reduseres betydelig. Dette gjelder også områder hvor det pågår groptæring.

I /21/ er det påpekt at det ikke kan dokumenteres at disse kravene kan oppfylles med overflatebehandling. Når en i prøvereparasjonen likevel har valgt å benytte overflatebehandlinger som reparasjonsmetode også for F3-flatene er dette gjort bevisst for å se hvor langt en kan strekke disse metodene. Brua har forholdsvis store statiske reserver og en har derfor kunnet tillate seg dette uten at det blir fare for bæreevnen.

Flater som er i fase 3 finnes i hovedsak på overbygningen nær søyle i akse 2 og ble reparert i forbindelse med prøvereparasjon 1995. På disse områdene ble det benyttet følgende overflatebehandlinger:

- Rescon Primer E-10 + Rescon Cem-Elastic
- Rescon Epoxy L-L, Rescon Epoxy Cem-S, Rescon Epoxy Cem-L.

4. Anbudsgrunnlag- byggeplassoppfølging

4.1 Generell utforming av anbudsgrunnlag ved reparasjoner

Siden dette prosjektet var et forskningsprosjekt ble det utarbeidet et tilbudsgrunnlag (ikke anbudsgrunnlag) for prøvereparasjonene. Dette gjorde det mulig å forhandle med entreprenøren før inngåelse av kontrakt.

I de etterfølgende kapitlene er det beskrevet hvordan tilbudsgrunnlaget ble utformet og hvilke krav som ble stilt. Samtidig er det tatt med anbefalinger om hvilke krav som generelt bør tas med i anbud for reparasjon av bruer.

Utgangspunktet for tilbudsgrunnlaget for prøvereparasjonene var følgende håndbøker og rapporter fra Statens vegvesen:

- Statens vegvesen håndbok 066: «Anbudsgrunnlag. Bygg- og anleggsarbeider»
- Statens vegvesen håndbok 025: «Prosesskode-1», 1994
- Statens vegvesen håndbok 026: «Prosesskode-2», 1988
- Statens vegvesen Vegdirektoratet, Bruavdelingen. Rapport 94-05 BRU: «Prosess 87 Vedlikehold av bruer, prosess 88 vedlikehold av kaier. Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdrift», 1994.

Ved utarbeidelse av tilbudsgrunnlagene for prøvereparasjonene ble det lagt stor vekt på dokumentasjon av utførelsen for i etterkant å kunne bedømme langtidseffekten av tiltakene. Det ble stilt krav om grundig forhåndskartlegging av tilstanden før reparasjon samt inntegning av utmeislede og reparerte områder for å ha muligheter til å følge opp disse over tid.

Omfanget av mekanisk reparasjon er ofte vanskelig å anslå. Som regel er det slik at en ser dette først når en begynner å meisle. I dette tilfellet fant en det derfor mest hensiktsmessig å utføre arbeidene som regningsarbeid. Ikke minst fordi dette var et forskningsprosjekt og det ga en klar fordel i den fleksibilitet som ligger i en kontrakt basert på regningsarbeid. Det er ikke dermed gitt at regningsarbeid er like godt egnet for alle kontrakter med mekanisk reparasjon og vedlikehold av betong.

4.2 Krav til den utførendes kompetanse

Tilbudsprosessene for prøveparasjonene var spesielle fordi det ble innhentet tilbud bare fra en tilbyder. Det var derfor ikke relevant å stille de samme krav til denne tilbyderen som til anbydere ved åpne anbud. Det ble imidlertid stilt krav utover det som kan regnes som normalt ved en åpen anbudskonkurranse. Dette gjaldt blant annet innsyn i kalkulasjonsgrunnlaget til entreprenøren.

Ved vanlige anbud for vedlikehold av bruer bør det ikke bare være pris som er utslagsgivende for at en entreprenør skal bli tildelt en kontrakt. Generelt bør det stilles krav til kompetanse hos entreprenøren og at dette dokumenteres med referanser fra tilsvarende arbeider. Referanser fra andre arbeider vil også gi byggherrer verdifull informasjon om entreprenørens kompetanse.

Ved omfattende og krevende arbeider bør det stilles krav om at det skal være en fast anleggsleder på stedet for å ta seg av administrative oppgaver samt å lede og følge opp arbeidene på brua.

Kvaliteten av det som utføres er avhengig av folkene som gjør arbeidene på brua. Ved spesielle arbeidsoperasjoner, som tørrsprøyting, kreves kunnskap og erfaring. Byggherren må kreve spesielle kvalifikasjoner hos sprøyteoperatørene. Prøvesprøyting for å dokumentere disse kvalifikasjonene må simulere forholdene en står ovenfor ved sprøyting på brua. Komplisert armeringsføring, hjørneavslutninger og andre kompliserte detaljer må vies spesiell oppmerksomhet.

4.3 Krav til byggeledelse/byggeleder

Ved større vedlikeholdsarbeider på bruer er det viktig at også byggherren har en representant til stede under utførelsen. Vedlikehold av bruer er vanskelig å beskrive eksakt og ofte vil det dukke opp problemstillinger underveis som det ikke er tatt hensyn til. Det vil oppstå situasjoner som krever en kvalifisert beslutning der og da. Byggherrens representant (byggeleder) må derfor ha kompetanse til å følge opp de aktuelle arbeidene.

Det er også viktig at det avholdes byggemøter jevnlig for å protokollføre saker som framdrift, HMS, eventuelle tilleggsarbeider, endringer og avvik.

Ved prøveparasjonene hadde byggherren en byggeleder tilstede under utførelsen av arbeidene.

4.4 Krav til kvalitetssystem

Det er viktig for arbeidenes kvalitet at entreprenøren har et kvalitetssystem som ivaretar de krav som stilles i kontrakten og som dokumenterer utførelsen. Kvalitetssystemet som ble brukt på Gimsøystraumen bru tok utgangspunkt i en mal som var utarbeidet av Vegdirektoratets bruavdeling.

Ved prøveparasjonene ble kvalitetssikring av arbeidene prioritert høyt. Det ble nedlagt mye arbeid i å utforme arbeidsbeskrivelser og sjekklister som var utfyllende og oversiktlige, samt tok hensyn til de krav som var stilt til det ferdige produktet.

Det må vurderes hvilke arbeidsoperasjoner som er viktige og kritiske for det ferdige produkt og som gjør det nødvendig å lage en arbeidsbeskrivelse. Arbeidsbeskrivelsene må ikke være for detaljerte, dvs. at selvfølgeligheter må utelates. Det kan i mange tilfeller være fornuftig å la arbeiderne være med på utformingen av arbeidsbeskrivelsene.

En av målsetningene med OFU-Gimsøystraumen bru var at Resconsult som entreprenør skulle bli sertifisert etter ISO 9002. Denne målsetningen ble nådd.

På lik linje med entreprenøren må også byggherren ha et kvalitetssystem for gjennomføring av arbeidene. Begge parter må på forhånd tenke gjennom sine oppgaver og se til at intensjoner etterleves og nødvendige justeringer foretas. Kvalitetsplanen må derfor være et aktivt hjelpemiddel og ikke bare et «papirsystem» som ikke blir brukt. Entreprenørens og byggherrens kvalitetssystem må være så like at kommunikasjon mellom dem dekkes fullstendig av hver enkelt parts kvalitetssystem.

4.5 Krav til rigg og stillas

Ved vedlikehold av bruer har en erfart at stillasløsningen har stor betydning for entreprenørens arbeid og for byggherrens kontroll og oppfølging av arbeidene. Byggherren bør derfor stille krav til den stillasløsning han ønsker for å få utført nødvendige kontroll. Entreprenøren må da velge et stillas som tilfredsstillende de kontraktuelle krav samtidig som krav til HMS er oppfylt.

Ved prøveparasjonene stilte byggherren krav til omfanget av stillas for at arbeidet skulle kunne utføres på en trygg måte og gi mulighet for god oppfølging og kontroll.

4.6 Lokaliseringssystem (koordinatbestemmelse)

Et entydig referansesystem er nødvendig for entydig kartlegging og seinere oppfølging av arbeidene. Lokaliseringssystemet som er brukt på Gimsøystraumen bygger på rapport nr. 17 «Inspeksjon og tilstandsvurdering av kystbruer i betong» utarbeidet av Vegdirektoratets bruavdeling.

For søylene er det et klart definert system der sideflatene merkes fra 1 til 4 for hver søyle. X-aksen bør starte med $x = 0$ i hjørnet mellom flate 1 og 4 og løpe rundt søylen mot klokka. Hovedgrunnen for dette er måten Bloodhoundmålingene utføres på. Y-aksen starter med $y=0$ ved fundamentet og øker i høyderetningen.

For overbygningen ble hele kassetverrsnittet brettet ut i et plan. Det ble valgt en løpende x-akse i bruas lengderetning og en y-akse i bruas tverretning. Y-aksen ble definert for hver flate, dvs. bruinger, kassevegger og undersiden av kassen.

For å gjøre det letter å finne tilbake til spesielle punkter, ble det boret inn stålspiker med koordinatmerke for hver 6. meter langs brua i de to feltene som inngikk i prøveparasjon 1995. Når effekten av prøveparasjonene skal vurderes i forbindelse med fremtidige inspeksjoner skal kartleggingen utføres i samsvar med lokaliseringssystemet.

4.7 Dokumentasjonskrav basert på problemdefinisjonene

Generelt

Et mål var å utforme funksjonskrav for materialer, produkter og utførelse med bakgrunn i de problemene man sto over for. Siktemålet var imidlertid ikke å gi allmengyldige problembeskrivelser og løsninger for alle mulige forekommende skadetyper og tilstander på kystbruer. Problemtypene som ble definert for overbygningen på Gimsøystraumen bru ble delt i punktproblemer og flateproblemer. Punktproblemer var skader med begrenset utstrekning:

- P1: Lokale svakheter som utmeisles
- P2: Riss $> 0,2$ mm
- P3: Konstruktiv armering og annet stål med overdekning nær 0
- P7: Hull etter kloridprøver
- P8: Hull etter kjerneprøver.

Flateproblemer var problemer som gikk igjen over en hel flate:

- F1: Flate med armering i fase 1 (Armeringen er fortsatt i passiv tilstand og ingen korrosjon)
- F2: Flate med armering i fase 2 (Korrosjon pågår på monteringsstenger, men ikke på konstruktiv armering)
- F3: Flater med armering i fase 3 og 4 (Korrosjon pågår også på konstruktiv armering).

Ved reparasjon ble det forutsatt at punktproblemene ble reparert før flateproblemene.

Dokumentasjonskravene inneholder krav til egenskaper for de materialene som anvendes til vedlikehold og reparasjon av kystbruer som har tilsvarende skader som Gimsøystraumen bru. Kravene er i størst mulig utstrekning kvantifisert med akseptkrav knyttet til bestemte prøvingsmetoder.

For å ha systematikk i utvelgelsen av krav til dokumentasjon for de forskjellige produktene, ble det vurdert hvilke parametre/egenskaper det bør stilles krav til innenfor matrisen i tabell 4.7.1.

Tabell 4.7.1: Krav til dokumentasjon.

Type	Stadium i vurderingen		
	Materiale	Produkt (materiale/metode i kombinasjon)	Funksjon (oppførsel i byggverket)
Egenskaper			
Mekaniske			
Bestandighet			
Elektrokjemisk			
Estetisk			

Nivåer for dokumentasjon

Ved reparasjon av betong kan det være nødvendig å stille krav til materialer/ produkter på forskjellige nivåer. Disse nivåene er beskrevet i tabell 4.7.2.

Byggherren må stille krav til de materialene som skal anvendes, dvs på nivå A i tabell 4.7.2. Kravene skal tilfredsstille egenskapene i tabell 4.7.1. Det er viktig at kravene som settes på nivå A ikke er innbyrdes motstridende. Det må også påses at kravene som settes på nivå A er forenlige med kravene på nivå C.

Tabell 4.7.2: Nivåer for dokumentasjon.

Dokumentasjonsnivå	Krav fra	Kommentar
A: Deklarasjon av produktegenskaper i herdnet fase	Byggherre	Egenskaper skal være dokumentert. Byggherre kan i spesiell beskrivelse stille krav under b) i Prosesskoden.
B: Deklarasjon av produktegenskaper i utførelsesfasen.		
B1 Materialeleverandørens beskrivelse av egenskaper i fersk fase	Entreprenør	
B2 Entreprenørens utførelsesprosedyre	Materialleverandør og byggherre	
B3 Demonstrasjon av ferdighet	Byggherre	
C: Produkt anvendt på en konstruksjon i felten	Byggherre	Funksjonskrav må angi prøvningsmetoder i felt og akseptkriterier, dvs. d) i Prosesskoden.

Materialleverandør og utførende entreprenør bør ha frihet til å velge hvilke egenskaper materialene skal ha i utførelsesfasen, og hvilke arbeidsprosedyrer som skal følges. Byggherren ønsker at produktene skal være mest mulig «robuste» og «utførelsesvennlige», men bør ikke stille spesifiserte krav til dette. Det byggherren kan og bør kreve i forbindelse med utførelsen og materialenes utførelsesmessige egenskaper, er at det er utarbeidet prosedyrer for utførelsen og at disse følges. Eventuelt kan byggherren også kreve at entreprenøren demonstrerer sin ferdighet til å oppnå spesifisert resultat med de valgte materialene.

Byggherren må også stille krav til det ferdige produktet på konstruksjonen, dvs på nivå C.

Materialdeklarasjon

Hvert enkelt materiale skal være deklart med et eget datablad. Dette skal angi:

- materialets bruksområde
- materialets hovedbasis mht. innhold
- materialets dokumenterte egenskaper
- bruksegenskaper (åpen tid, pot-life, viskositet osv.)
- begrensninger i materialets anvendelsesområde
 - type problem det er egnet for
 - værforhold under utførelsen
 - andre typer materialer som ikke kan benyttes på samme område i ettertid
- materialets lagringsbetingelser, holdbarhet ved lagring.

Forsiktighetsregler ved håndtering og anvendelse samt angivelse av eventuelle helsefarlige eller miljøskadelige bestanddeler skal være i samsvar med norsk lovverk.

Databladet skal dessuten inneholde dato for siste reseptkorreksjon som fører til forandring i materialspesifikasjonen, for at bruker/kjøper kan få et varsel ved evt. korreksjon av materialets sammensetning.

Identifikasjon av forpakning

Hver enkelt forpakning (sekk, bøtte, flaske osv.) av et materiale skal være identifiserbar og tydelig merket med:

- produsentens navn
- materialets navn
- produksjonsdato
- satsnummer
- lagringsbetingelser
- data om helse, miljø og sikkerhet.

Satsnummer bør også stå på fraktbrev. Dersom mottakskontrollen på byggeplassen viser at dette ikke er påført, skal satsnummeret skrives på fraktbrevet før dette arkiveres.

4.8 Kontroll av utførelse i felt / prøvetaking i felt

Når det valgte produkt og utførelse er i samsvar med leverandørens anbefalinger, er det vanligvis få konkrete kontrollfunksjoner i felt.

De fleste kontroller som gjøres er av visuell karakter og gjenstand for subjektiv vurdering. Man registrerer pågående arbeidsoperasjon, tidspunkt og tilhørende lokalisering, forbruk av materialer, visuell utforming og værdata.

For tørrsprøyting og overflatebehandling (ikke hydrofobering) stilles det krav til heftfasthet. Ved riktig utførelse er det vanligvis ikke problem å tilfredsstillende de heftkrav som stilles.

For hydrofobering er det ingen standardiserte metoder som kan brukes for å kontrollere effekten. Det kan likevel vise seg at måling av inntrengningsdybde i betongen kan gi en indikasjon på kvaliteten på utførelse. En naturlig oppfatning er at jo dypere inntrengningen er, desto bedre er funksjon og bestandighet. Det er for tidlig å si at dette kan brukes for alle typer hydrofoberingsmaterialer.

For de fleste typer overflatebehandlinger stilles det krav til minimum påføringsmengde. Dette lar seg kontrollere i felt ved registrering av forbrukte masser.

På grunn av mangel på egnede kontrollmetoder for noen av produktene er det viktig at kravene til vær og vind overholdes. Arbeid må ikke utføres under forhold som kan gi dårlig kvalitet som f. eks. for lave eller for høye temperaturer, arbeid på fuktige flater eller arbeid i for sterk vind. Ved ugunstige værforhold bør det vurderes tildekking av flater for å kunne arbeide under stabile forhold uten påvirkning av vær og vind.

5. Prøvereparasjoner

I alle prøveparasjonene inngikk følgende delaktiviteter:

1. Forhåndskartlegging
2. Instrumentering
3. Reparasjon og overflatebehandling
4. Dokumentasjon.

5.1 Prøvereparasjon 1993

Prøvereparasjon 1993, omfattet utprøving av forskjellige produkter på mindre prøvefelter på overbygningen.

Prøvereparasjonen er utførlig beskrevet i /1/, /2/ og /3/. I det etterfølgende er det laget et sammendrag av delaktivitetene reparasjon og overflatebehandling. Dessuten er det tatt med krav til dokumentasjon av prøveparasjon samt en summarisk oversikt over instrumentering. Sammendrag for forhåndskartlegging er gjengitt i /24/.

5.1.1 Utførelse.

Prøvereparasjonen i 1993 ble utført på bruas overbygning i felt 2. Det ble etablert 4 prøvefelter og 4 referansefelter som belter rundt hele kassen.

Prøvefeltene hadde en bredde på 6,0 m, mens referansefeltene hadde en bredde på 3,0 m. Beliggenheten av prøvefeltene (PF) og referansefeltene (R) er vist på figur 5.1.1.

Før prøveparasjonen startet ble tilstanden til prøvefelter og referansefelter kartlagt i detalj, det vises til /4/. Detaljer om prøveparasjonen er gitt i sluttrapporten /3/. Alle arbeidsoperasjoner ble dokumentert med foto og video.

Prøvefeltene ble reparert med forskjellige produkter, mens referansefeltene forble ubehandlet. På de neste sidene er det beskrevet hvilke metoder og produkter som ble benyttet på de forskjellige prøvefeltene.

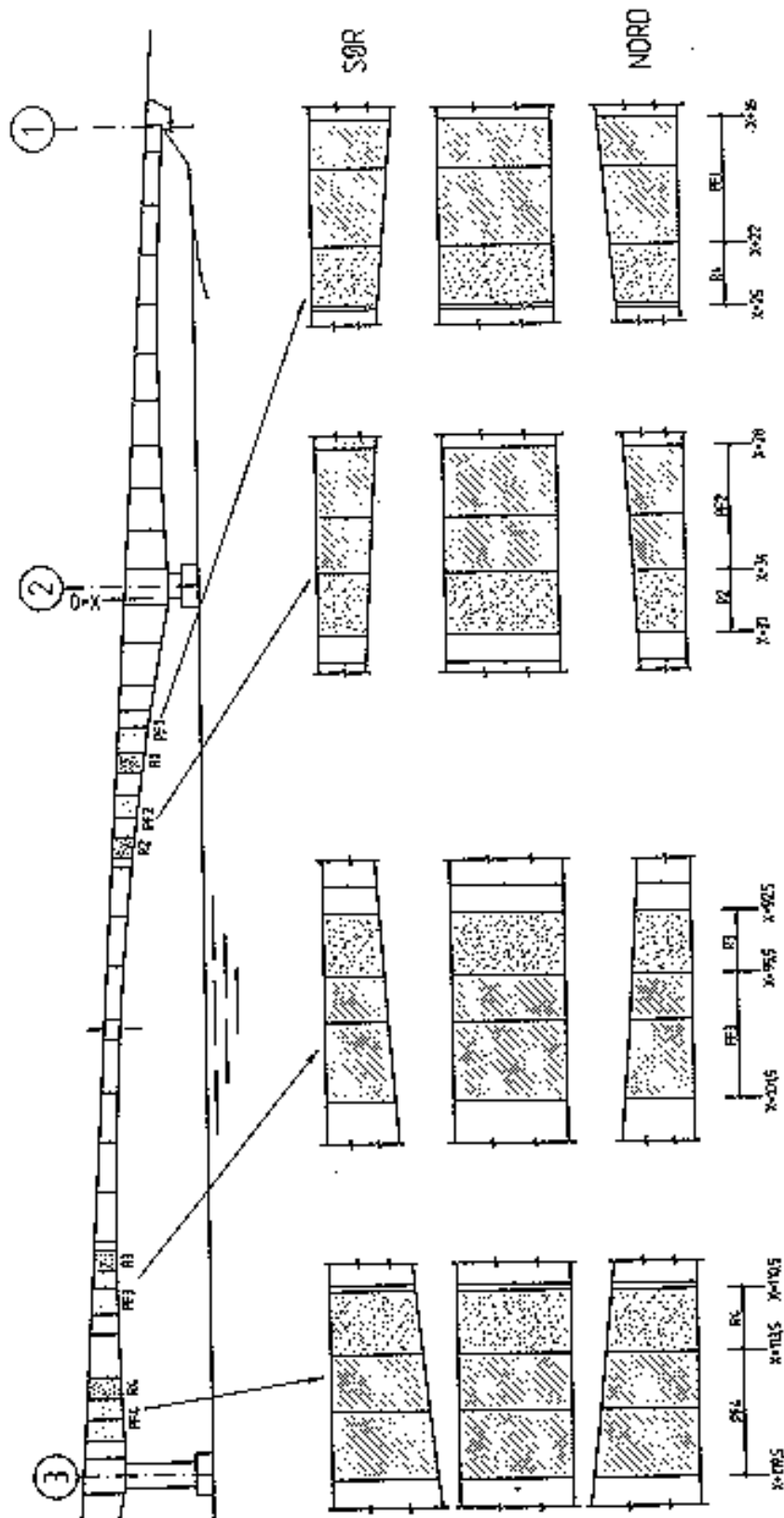
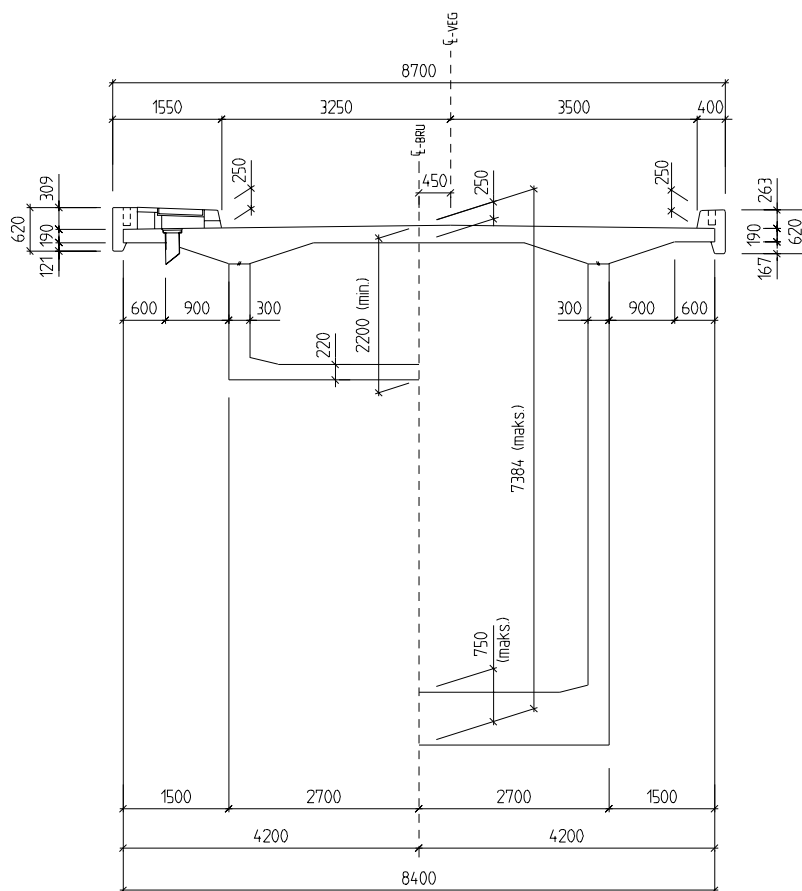


Fig 5.1.1: Prøve- og referansefelt i felt 2.



Figur 5.1.2: Tverrsnitt av brua.

Prøvefelt 1 (PF 1)

I dette prøvefeltet ble betong med klorider over et gitt nivå fjernet og erstattet med ny mørtel. Etter dette ble feltet overflatebehandlet for å hindre ny inntrenging av klorider. Følgende arbeidsoperasjoner ble utført:

- Vannmeisling for fjerning av betong
- Påføring av sprøytømørtel Rescon DS
- Påføring av membranherdner Rescon Cur-1
- Sandblåsing av sprøytete flater
- Overflatebehandling med Rescon Cem-Elastic.

a) Vannmeisling for fjerning av betong.

Vannmeislingen ble utført av Anleggsmaskin AS. Firmaet er godkjent i henhold til Statens vegvesens godkjenningsordning for vannmeislingsroboter og -entreprenører.

Vannmeislingen ble utført etter et rutemønster som skulle hindre overbelastning av armering ved frilegging, se kapittel 3.6.

Det ble benyttet skinnegående robot for hoveddelen av arbeidet. Det oppsto problemer med å fjerne «skyggene» bak armeringsjernene der disse skulle frilegges. For å få fjernet disse skyggene måtte en gå forholdsvis dypt, ca. 80-100 mm. Der dette ikke var mulig ble skyggene fjernet med håndholdt vannmeislingsutstyr.

Det måtte iverksettes begrensninger i forhold til planlagt meislingsprogram, da frilegging av armering resulterte i utknekking av lengdearmering (Ø 20 mm). Rutene som det ble meislet etter var på henholdsvis 900 og 1000 mm i lengderetning. Frilagt lengde på armeringen som knakk ut var 870-970 mm og utbøyningen varierte fra 0-15 mm.

Etter dette ble det bestemt at det ikke skulle meisles slik at konstruktiv armering (lengde- og tverrarmering) ble frilagt. Meislingsomfanget ble begrenset til 0-10 mm. Dette resulterte i at vannmeislingen fikk mer en karakter av prikkmeisling og at tilslag ikke ble fjernet. Som følge av dette ble avvirkningsdybden ujevn.

b) Påføring av sprøytemørtel Rescon DS

Sprøytemørtel Rescon DS ble sprøytet på med gjennomsnittlig tykkelse på 40 mm.

Prøvefelt 1 ble delt i 2 halvdeler, 1A og 1B, regnet fra akse 2. I prøvefelt 1B ble sprøytemørtelen tilsatt ca. 0,1 % Rescon GFI-1 (korrosjonsinhibitor).

Ved sprøyting bak armeringsjernene oppsto det en «skyggevirking» som gjorde det vanskelig å fylle opp med mørtel. I tillegg bygger mørtelen seg opp på forsiden av jernene. Dette førte til ujevnheter på overflaten, se foto 5.1.2. For best mulig resultat er det viktig at operatøren har erfaring og kunnskap om metode og produkt og bruker utstyr hvor kapasiteten kan reduseres tilstrekkelig.

c) Påføring av membranherdner Rescon Cur-1

Etter at sprøytemørtelen var påført ble flatene påsprøytet membranherdner, Rescon CUR-1, i 2 strøk med ca. 0,15 l/m² pr. strøk.

d) Sandblåsing av sprøytete flater

Før overflatebehandling ble sprøytemørtelen sandblåst. Det ble benyttet Star-grit som blåsemedium.

e) Overflatebehandling med Rescon Cem-Elastic

Til slutt ble Rescon Cem-Elastic påført i 3 strøk med slemmekost. Totalt påført mengde var 3,1 kg/m².

Prøvefelt 2 (PF 2)

Etter rengjøring av betongoverflaten ble det påført korrosjonsinhibitor og en elastisk overflatebehandling. Følgende arbeidsoperasjoner ble utført:

- a) Sandblåsing
- b) Påføring av Rescon GFI-2, korrosjonsinhibitor
- c) Påføring av Rescon Cem-Elastic tilsatt Rescon GFI-2.

Sandblåsing ble utført med samme utstyr som ved prøvefelt 1.

Rescon GFI-2 ble sprøytet på sandblåste betongoverflater i 2 strøk med en total mengde på $0,32 \text{ kg/m}^2$. Etter påføringen virket flaten glatt, det vises til prøvetaking i pkt. 5.1.3.

Til slutt ble Rescon Cem-Elastic påført i 3 strøk med slemmekost. Det ble totalt påført $3,47 \text{ kg/m}^2$.

Prøvefelt 3 (PF 3)

Etter rengjøring av betongoverflatene med sandblåsing ble Rescon Cem-Elastic påført i 3 strøk med slemmekost. Totalt forbruk $2,98 \text{ kg/m}^2$.

Prøvefelt 4 (PF 4)

Betongoverflatene ble rengjort med sandblåsing og deretter hydrofobert med Rescon CI-brems. Hydrofoberingen ble påført i 3 strøk med totalt forbruk $0,55 \text{ l/m}^2$.

Påføring av Rescon CI-brems var i utgangspunktet beskrevet påført med materull. På undersiden av kassen ble det spesielt stor avrenning fra rullen, men også på sidene var det mye spill. Utførelsen ble derfor endret til påføring med sprøytepistol. Dette viste seg å være vesentlig bedre enn rull.



Foto. 5.1.1: Prøvefelt 1 og 2.



Foto 5.1.2: Detalj av prøvefelt 1.

5.1.2 Utførte mengder

Prøvere-parasjon 1993 omfattet mengder som angitt i tabell 5.1.1.

Tabell 5.1.1: Utført areal (i m²) prøve-reparasjon 1993.

Aktivitet	Prøvefelt				Sum
	PF1	PF2	PF3	PF4	
Vannmeisling	76	-	-	-	76
Rescon DS	38	-	-	-	38
Rescon DS m/GFI-1	38	-	-	-	38
Sandblåsing	76	63	68	88	295
Rescon GFI-2	-	63	-	-	63
Rescon CI-brems	-	-	-	88	88
Rescon Cem-Elastic	76	-	68	-	164
Rescon Cem-Elastic m/GFI-2	-	63	-	-	63

5.1.3 Prøvetaking

Det ble foretatt strekk- og heftmålinger på betongflatene for å dokumentere overflatens strekkfasthet før påføring av reparasjonsmaterialer. Det var liten spredning av resultatene. For de fleste prøvene ble det ikke oppnådd brudd ved maks. belastning som tilsvarte 3,3 MPa. Laveste målte verdi var 2,2 MPa.

Kontroll av Rescon Cem-Elastic's heft til underlaget ble kontrollert ved prøve-reparasjonen i 1994 /8/ og ved inspeksjon av prøve-reparasjoner i 1996 /27/. Resultatene er oppsummert i tabell 5.1.2.

Tabell 5.1.2: Heftprøver Rescon Cem-Elastic.

Prøvefelt	1994		1996	
	Gj. snitt (MPa)	Min. (MPa)	Gj. snitt (MPa)	Min. (MPa)
1	0,98	0,88	-	-
2	0,97	0,80	0,80	0,20
3	1,21	1,10	1,39	1,20

Ved prøvingen utført i 1994 fikk 2 av de 18 prøvene brudd i mellomstrøkene, mens de øvrige fikk brudd i heftsonen mellom betong og Rescon Cem-Elastic.

Ved prøvingen utført i 1996 fikk 4 av 8 prøver i prøvefelt 2 brudd i heftsonen mellom betong og Rescon Cem-Elastic. Gjennomsnittet for disse var 0,55 MPa, minimum var 0,2 MPa. De øvrige prøvene i prøvefelt 2 fikk brudd i Rescon Cem-Elastic. I prøvefelt 3 fikk 5 av 7 prøver brudd i Rescon Cem-Elastic, mens de øvrige fikk brudd delvis i heftsonen og delvis i Rescon Cem-Elastic.

Prøveresultatene viser at det er lav heft både på prøvefelt 1 og 2. Det er mulig at dette skyldes bruk av membranherdner på prøvefelt 1 og korrosjonsinhibitor på prøvefelt 2 før overflatebehandling med Rescon Cem-Elastic.

Det var stilt krav til at sprøytemørtelen skulle ha trykkfasthet på 40 MPa etter 3 døgn. Det ble derfor foretatt sprøyting i prøvekanter og senere utboring av kjerner i Rescon's laboratorium. Disse ble trykkprøvd ved Høgskolen i Gjøvik. Resultatene viste at samtlige prøver tilfredsstilte kravet om trykkfasthet på 40 MPa allerede etter 2 døgn.

Vanndampdiffusjon

Det er målt vanndampdiffusjon på utborede kjerner med og uten Rescon Cem-Elastic. Resultatene er vist i tabell 5.1.3.

Tabell 5.1.3: Vanndampdiffusjon, Rescon Cem-Elastic, prøvefelt 2.

Lokalisering	Type prøver	Vanndampdiffusjon *10 ⁻⁶ g/m ² Pa·h/m	Diffusjonsmotstandskoeffisient μ	Beleggstykkelse (mm)
Sør x=11,2 y= 1,75	Betong med Cem-Elastic	1,38		
	Betong uten Cem-Elastic	7,24	92	
	Cem-Elastic	0,19	3434	2,0
Nord x=10,8 y=1,5	Betong med Cem-Elastic	1,63		
	Betong uten Cem-Elastic	8,06	83	
	Cem-Elastic	0,19	3437	1,7

5.2 Prøvereparasjon 1994

Prøvereparasjon 1994, omfattet utprøving av forskjellige typer overflatebehandling på noen av søylene.

Prøvereparasjon 1994 er beskrevet detaljert i /5/, /6/, /8/ og /12/. I det etterfølgende er det laget et sammendrag av delaktivitetene reparasjon og overflatebehandling. Dessuten er det tatt med krav til dokumentasjon av prøvereparasjonen samt en summarisk oversikt over instrumentering. Forhåndskartleggingen er oppsummert i /24/.

5.2.1 Utførelse

Prøvereparasjon 1994, ble utført på søylene i akse 3, 4 og 5 fra overkant av fundamentene og opp til underkant av overbygningen, se figurene 5.2.1 og 5.2.2. Samtidig ble de øvrige søylene på brua hydrofobert, men dette inngikk ikke i selve prøvereparasjonen.

Før prøvereparasjon 1994 startet ble alle flatene til prøvesøylene kontrollert visuelt. I tillegg ble det etablert et prøvefelt med bxh = 2m x 1m i 1-2 m høyde over fundamentene på alle langsiden. I disse prøvefeltene ble det utført materialundersøkelser, det vises til /24/.

Prøvereparasjonen omfattet følgende arbeider:

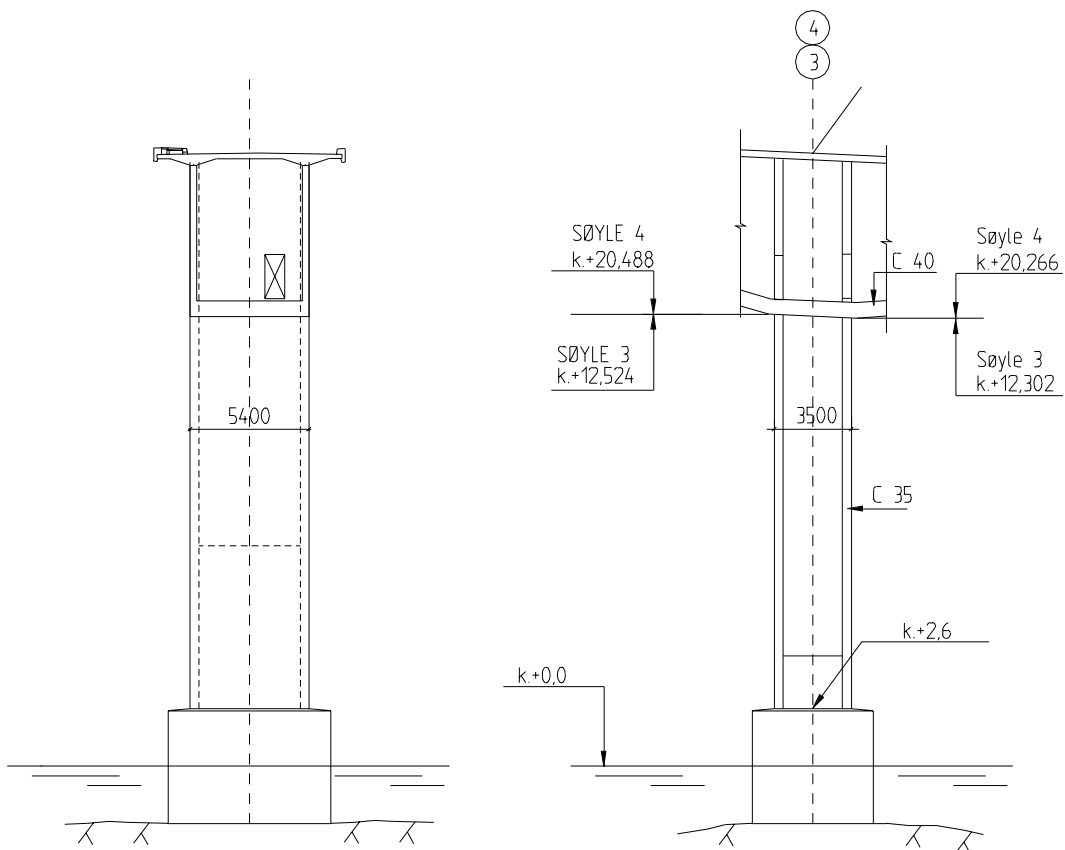
- Mekanisk reparasjon av betongskader
- Reparasjon av sprekker
- Rengjøring før overflatebehandling
- Overflatebehandling med ulike systemer/metoder.

Mekanisk reparasjon

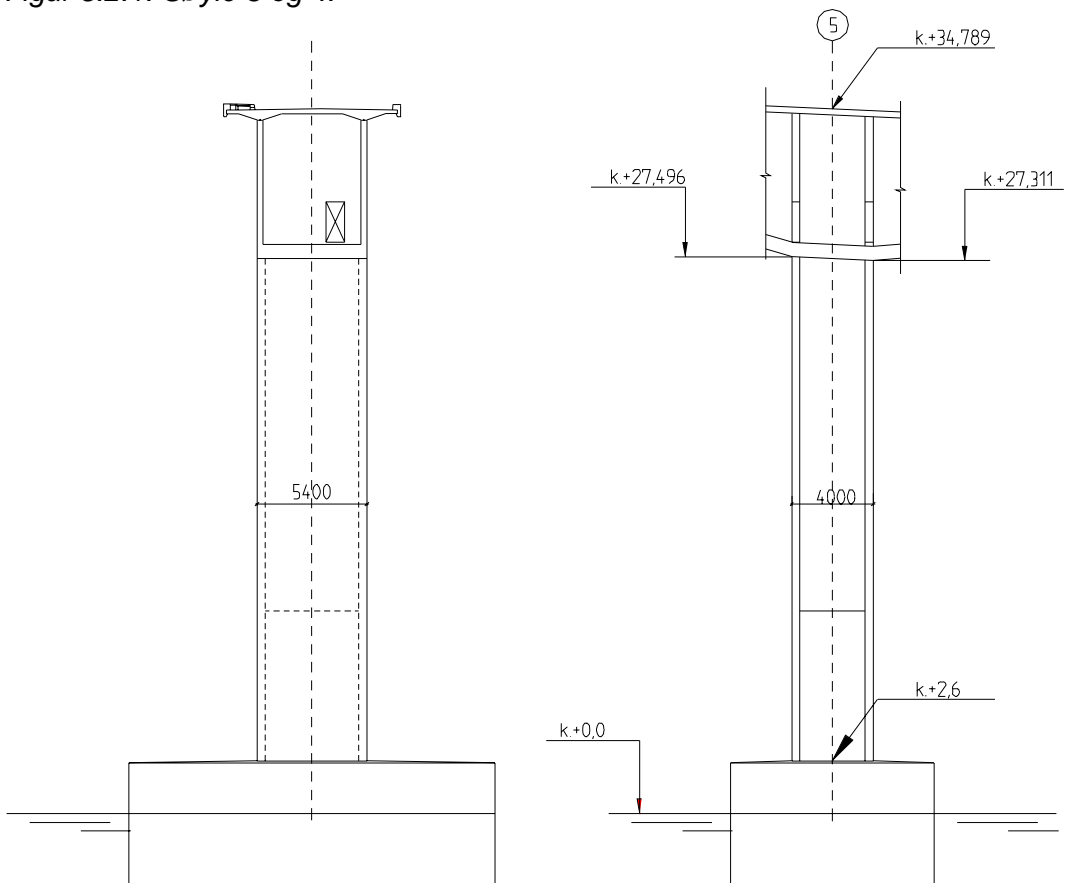
Alle betongskader som avskallinger, bomsoner, støpeskjøter osv. ble reparert mekanisk.

Metodebeskrivelsen hadde krav om at sårkanter skulle etableres tilnærmet vinkelrett på overflaten med dybde ca. 15 mm. Sårkantene ble laget med vinkelsliper før utmeisling. Meislingen ble utført med trykkluftdrevet, håndholdt meiselutstyr.

Etter meisling ble armering og sårflater sandblåst og armeringen ble påført 2 strøk Rescon Redisit som korrosjonsbeskyttelse.



Figur 5.2.1: Søyler 3 og 4.



Figur 5.2.2: Søyler 5.

På søylene 2, 8 og 9 ble sårene mørtlet opp for hånd, da skadeomfanget var lite. Etter fukting ble hele sårflaten påført heftbru, Rescon Redisit. Deretter ble Rescon Redirep reparasjonsmørtel støpt vått i vått med heftbrua. Når reparasjonsmørtelen hadde «satt seg» ble overflaten påført Rescon Cem-Elastic.

Skadene på søylene 3, 4, 5, 6 og 7 ble mørtlet opp med tørrsprøyting med Rescon DS. Flatene ble fuktet opp før sprøyting og påført membranherdner etter sprøyting.

Det oppsto problemer med oppsprekking i overgangen mellom reparasjonsmørtel og betong, se foto 5.2.1. Det ble antatt at dette skyldes at sårkantene ble lagd med vinkelsliper. Det oppsto også sprekker i selve mørtelen. Dette indikerer at mørtelen har for høyt svinn.

Reparasjon av sprekker

På søylene i akse 4 og 5 ble det registrert sprekker som ble antatt å være levende da de høyst sannsynlig er forårsaket av svinn-, kryp- og temperaturbevegelser i overbygningen.

Sprekkene i søyle 4 ble sparklet igjen med Rescon Redisparkel. Denne søylen ble senere belagt med to typer elastiske belegg (Rescon Cem-Elastic og Rescon Epoflex).

På søyle 5 ble sprekken sparklet igjen og påført 2 strøk med et elastisk belegg (Rescon Cem-Elastic). Søylen ble senere hydrofobert med Rescon CI-brems og overflatebehandlet med Protect Lasur.

Rengjøring

Før overflatebehandling ble søylenes overflater rengjort på følgende måte:

Sandblåsing:	Søyer i aksene	3, 4, 5
Høytrykkspyling:	Søyer i aksene	2, 6, 7, 8
Ingen rengjøring:	Søyer i aksene	9.

Det ble benyttet høytrykksspyleutstyr som ga 15 MPa dysetrykk og 120 l vann pr. minutt.



Foto 5.2.1: Oppsprekking i sår-avgrensningene på søylereparasjonene.



Foto 5.2.2: Påføring av hydrofobering.

Overflatebehandling

Det ble benyttet 4 forskjellige systemer for overflatebehandling av søylene.

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 0. Ingen behandling: | Referansefelt |
| 1. Hydrofobering: | Rescon CI-brems. |
| 2. Hydrofobering + maling: | Rescon CI-brems + Protect Lasur. |
| 3. Hydrofobering + slemming: | Rescon CI-brems + Cem-Elastic. |
| 4. Sparkling + epoxy: | Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex |

I tabell 5.2.1 er det vist hvilket overflatebehandlingssystem som ble brukt på de forskjellige søylene og flatene.

Tabell 5.2.1: Oversikt over overflatebehandlingssystem på søylene.

Side- flate	Søyler			
	Akse 3	Akse 4	Akse 5	Øvrige
Nord	1. Rescon CI-brems	3. Rescon CI-brems + Rescon Cem-Elastic	2. Rescon CI-brems + Rescon Protect Lasur	1. Rescon CI-brems
Øst	“	“	“	“
Sør	“	4. Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex	“	“
Vest	0. Ingen behandling, referansefelt	“	0. Ingen behandling, referansefelt	“

Det generelle inntrykket var at det var vanskelig å få påført beskrevet mengde overflatebehandling med de beskrevne antall strøk.

1. Hydrofobering: Rescon CI-brems

Hydrofoberingen ble først påført med sprøyte i to strøk. Kravet til påført mengde var 0,2 kg/m² pr strøk. Det var stor forskjell på de ulike flatenes "sugeevne". Glideforskalte flater hadde bedre sugeevne enn flater med bordforskaling. På sørflatene (lo-flater) ble hydrofoberingsmiddelet absorbert raskere enn på de øvrige flatene. Det ble senere påført et ekstra strøk for om mulig å fjerne skjolder i overflaten. Totalt forbruk varierte fra 0,33 til 0,75 kg/m². Dette er notert brutto forbruk og ikke lik påført netto mengde da mye rant ned på fundamentene og noe ble forstøvet. Beskrevet mengde ble ansett å være i meste laget for den aktuelle betongen og overflaten.

2. Hydrofobering + maling: Rescon CI-brems + Rescon Protect Lasur

Ved overflatebehandlingssystem 2 ble Rescon CI-brems sprøytet på i ett strøk med forbruk 0,18 kg/m². 42 timer senere ble ett strøk overflatebehandling type Rescon Protect Lasur påført med sprøyte, forbruk 0,22 kg/m².

Det var vanskelig å fylle porer. Disse ble derfor behandlet med pensel til slutt. Noen steder kunne en se fargenyansene fra betongen gjennom Protect Lasuren. Denne bør derfor påføres i 2 strøk dersom en ønsker en flate med mer ensartet farge.

3. Hydrofobering + slemming: Rescon CI-brems + Rescon Cem-Elastic

Ved overflatebehandlingssystem 3 ble først hydrofobering type Rescon CI-brems påført med sprøyte i ett strøk, forbruk 0,25 kg/m². Overflatebehandlingen, type Rescon Cem-Elastic, var forutsatt påført med slemmekost i 3 strøk. For å oppnå den forutsatte mengden (3,5 kg/m²) uten sig, måtte mengden i hvert strøk reduseres og antallet strøk økes til 4. Totalt forbruk var 3,3 kg/m².

4. Sparkling + epoxy: Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex (epoxy)

Ved overflatebehandlingssystem 4 ble det først helsparklet med Rescon Epoxy Cem-S, forbruk 1,98 kg/m². Deretter ble Rescon Epoflex (elastisk epoxy) påført med rull i 5 strøk for å oppnå den foreskrevne mengden (3,6 kg/m²) uten sig. I beskrivelsen var det forutsatt 3 strøk. Totalt forbruk ble 2,39 kg/m².

5.2.2 Utførte mengder

Mengdene som ble utført ved prøvereparasjon 1994 og hydrofobering av de øvrige søylene er angitt i tabell 5.2.2.

Tabell 5.2.2: Utførte mengder prøvereparasjon 1994.

Aktivitet	Søyle	Mengde
<i>Prøvereparasjon</i>		
Mekanisk reparasjon, utmeisling	3,4,5	0,68 m ³
Sparkling av sprekker	4	37 m
Forsegling av sprekker	5	34 m
Sandblåsing	3,4,5	744 m ²
Rescon CI- brems	3	121 m ²
Rescon CI-brems + Protect Lasur	5	307 m ²
Rescon CI-brems + Rescon Cem-Elastic	4	157 m ²
Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex	4	159 m ²
<i>Øvrige søyler</i>		
Mekanisk reparasjon, utmeisling	2,6,7,8,9	0,65 m ³
Høytrykksspyling	2,6,7,8	908 m ²
Rescon CI-brems	2,6,7,8,9	987 m ²

5.2.3 Prøvetaking

Det ble gjennomført omfattende kontroll av heftegenskaper både på rengjort flate, reparasjonsmørtel og overflatebelegg. Resultatene av disse prøvene er gjengitt i /8/, og er oppsummert i tabell 5.2.3.

Tabell 5.2.3: Heftprøver.

Produkt/flate	Målt heft (MPa)			Krav til heft (MPa)	
	Mini- mum	Brudd-type	Gjennom- snitt	Mini- mum	Gjennom- snitt
Sandblåst flate	2,09	Lim	2,99	1,0	1,5
Rescon DS søyle 4	1,32	Betong	2,28	1,0	1,5
Rescon DS søyle 6	1,21	Betong	2,34	1,0	1,5
Rescon DS søyle 7	1,10	Mørtel	2,12	1,0	1,5
Rescon Protect Lasur	1,87	Heftsone	2,72	1,0	-
Rescon Cem-Elastic	0,77	Utsatt for sollys	0,93	0,8	-
Rescon Epoflex	1,76	Betong	2,64	1,5	2,0

Med unntak av Rescon Cem-Elastic viser heftprøvene tilfredsstillende resultat. Årsaken til den lave heften for Rescon Cem-Elastic kan skyldes at Rescon CI-brems ble påført i forholdsvis stor mengde.

5.3 Prøvereparasjon 1995

Prøvereparasjonen er beskrevet detaljert i /16/, /19/ og /20/. /. I det etterfølgende er det laget et sammendrag av delaktivitetene reparasjon og overflatebehandling. Dessuten er det tatt med krav til dokumentasjon av prøvereparasjonen samt en summarisk oversikt over instrumentering. Forhåndskartleggingen er oppsummert i /24/.

5.3.1 Utførelse

Prøvereparasjon 1995, ble utført på undersiden av overbygningen (vegger og underkant av vinger og bunnplate) i felt 1 og 2, dvs. mellom akse 1 og 2, og mellom akse 2 og 3.

Denne prøvereparasjonen omfattet reparasjon av P-problemer (punktproblemer, dvs. problemer med begrenset utstrekning) og F-problemer (flateproblemer) slik de er definert i kapittel 4.7. For mer detaljert beskrivelse vises det til kapittel 7.2 i /24/.

Utmeisling

Utmeislingene ble utført med luftdrevet utstyr. Alle P-problemene ble reparert først.

På begge sider av akse 2 var det, på nordre kassevegg og undersiden av bunnplaten, store områder med bom og rustutslag på monteringsstengene. I områder med bom ble betongen fjernet inn til armeringen. Monteringsjern ble kuttet med vinkelsliper og fjernet.

Ved støpeskjøter var det steinreir med dybde inntil ca. 300 mm. Steinreirene ble fjernet og sårene ble utformet med tanke på lettest mulig adkomst for sandblåsing og tørrsprøyting. Tett armering kompliserte dette arbeidet.

Etter at utmeislingene var utført ble de utmeislede områdene oppmålt og opptegnet, se figurene 5.3.1, 5.3.2 og 5.3.3.

Rengjøring av armering og sårflater

Rengjøring ble utført med sandblåsing. Det var krav om at armeringen skulle ha renhetsgrad tilsvarende Sa 2,5. I støpeskjøter hvor det er tett armering og i dype sår var det vanskelig å tilfredsstille kravet, spesielt på baksiden av armeringen. Det var også vanskelig å tilfredsstille kravet der det var omfattende groptæring, da små og tynne «ganger», groper og porer i det enkelte jernet ikke lot seg rense med sandblåserstrålen.

Oppmørtling

Oppmørtlingen ble i hovedsak utført med tørrsprøyting med mørtel av type Rescon DS-RSF. Dette er en modifisert utgave av Rescon DS som ble benyttet i de første prøvereparasjonene. Hovedforskjellen er at den modifiserte mørtelen har mindre svinn. Alle sår ble vannet rikelig og fritt vann ble fjernet før oppmørtling. Ved oppstart av sprøyting ble det sprøytet med noe bløtere masse for at ikke støv og prell skulle legge seg på flaten og redusere heften. Overflaten ble dratt av med murerkje. Da dette gir en noe grov overflate, ble sårene sprøytet ut ca. 10 mm utenfor opprinnelig betongoverflate. Umiddelbart etter sprøyting ble mørtelen påført rikelige mengder med membranherdner type Rescon CUR-1.

Det ble ikke benyttet korrosjonsbeskyttelse på armeringen, da en tidligere hadde sett at denne delvis ble blåst bort under påføring av sprøytemørtelen.

Håndmørtling ble benyttet på små og enkeltstående sår. Materialer som ble benyttet til håndmørtling var heftbru type Rescon Redisit og mørtel type Rescon Redirep. Redisit ble benyttet som korrosjonsbeskyttelse på armeringen og som heftbru. Reparasjonsmørtelen ble støpt ut vått i vått med heftbrua. Det ble mørtlet ut til opprinnelig betongoverflate og reparasjonen ble påført ett strøk med Rescon Cem-Elastic som membranherdner og eventuelt rissoverbygger.

Rengjøring av betongoverflater

Rengjøring av betongoverflatene før overflatebehandling ble utført enten med sandblåsing eller med sandvasking. En oversikt over dette er vist på figur 5.3.5.

Overflatebehandling

Forhåndskartleggingen /24/ ble benyttet som grunnlag for å klassifisere armeringens korrosjonstilstand (bestemmelse av flateproblem) på de forskjellige flatene. Klassifiseringen er gjengitt på figur 5.3.4.

Overflatebehandlingssystem ble valgt på bakgrunn av type flateproblem, se tabell 5.3.1.

Tabell 5.3.1: System for overflatebehandling, avhengig av flateproblem.

Flateproblemer	Overflatebehandling
F1	Rescon: Silimp 100 Rescon: Silimp 100 + Protect Lasur Rescon: Primer E10 + Cem-Elastic
F2	Rescon: Silimp 100 + Protect Lasur Rescon: Primer E10 + Cem-Elastic Rescon: Epoxy L-L, Cem-S og Cem-L
F3	Rescon: Primer E10 + Cem-Elastic Rescon: Epoxy L-L, Cem-S og Cem-L



Foto 5.3.1: Mange synlige porer i kassevegg etter behandling med Protect Lasur.



Foto 5.3.2: Rescon Cem-Elastic benyttet til sparkling og overflatebehandling.

På figur 5.3.5 er det gjengitt hvilken overflatebehandling som ble benyttet på de ulike flatene.

Silimp 100 og Protect Lasur ble begge påført med sprøyte. De forstøver lett og er raske å påføre, men kan ikke påføres i sterk vind.

I motsetning til tidligere prøveparasjoner (1993 og 1994) der Rescon Cem-Elastic ble påført med kost, ble Rescon Cem-Elastic denne gang sprøytet på i 3 strøk. At materialet kunne sprøytes på, reduserte påføringstiden vesentlig og gjorde det mulig å ferdigstille flatene på en dag. Det var mye porer på veggflatene så de to første strøkene ble dratt ut som poresparkel. Dette førte til høyere masseforbruk enn beskrevet, se foto 5.3.1 og 5.3.2.

Epoxy L-L ble påført med malerull, mens Rescon Epoxy Cem-S og Rescon Epoxy Cem-L ble påført med sprøyte. Denne type belegg er arbeidskrevende og hver påføringsetappe krevde 3 dager for ferdigstillelse.

Utprøving av hydrofoberingsmaterialer

For å prøve ut forskjellige typer hydrofoberingsmaterialer, ble det etablert 10 små prøvefelt ved landkar i akse 1, se figur 5.3.5. Følgende hydrofoberings-materialer ble påført:

- Rescon Cl-brems
- Rescon Silimp H₂O
- Rescon Silimp 100
- Rescon CL-E
- Rescon CL-N.

Hvert av hydrofoberingsmaterialene ble påført en flate som enten var sandblåst eller sandvasket. Figur 5.3.5 viser hvor de forskjellige rengjøringsmetodene ble benyttet.

All overflatebehandling ble utført med sprøyting. Materialene er raske å påføre, men resultatet påvirkes lett av vind.

Dryppnese

I kanten av bunnplaten på søndre side ble det montert en dryppnese for å hindre at vann som renner nedover kasseveggen skal trekke inn under bunnplaten. Det ble benyttet en vinkellist av plast som ble limt med Rescon Montasjelim og Byggsilikon.

5.3.2 Utførte mengder

Omfanget av prøvereparasjon 1995 er angitt i tabell 5.3.2

Tabell 5.3.2: Utførte mengder, prøvereparasjon 1995.

Aktivitet	Felt	Mengde
Mekanisk reparasjon, utmeisling	1	1,93 m ³
Mekanisk reparasjon, utmeisling	2	2,17 m ³
Sandblåsing	1	226 m ²
Sandblåsing	2	932 m ²
Sandvasking	1	605 m ²
Sandvasking	2	408 m ²
Rescon: Silimp-100	2	57 m ²
Rescon: Silimp-100 + Protect Lasur	2	964 m ²
Rescon: Primer E10 + Cem-Elastic	1 og 2	953 m ²
Rescon: Epoxy L-L, Cem-S og Cem-L	1	197 m ²
<i>Utprøving hydrofoberingsmaterialer</i>		
Sandblåsing	1	60 m ²
Sandvasking	1	60 m ²
Forskjellige typer hydrofobering	1	120 m ²

For å gi et inntrykk av forskjellen i skadeomfang for de ulike flatene er det i tabell 5.3.3 vist utmeislingsvolumet for hver av disse.

Tabell 5.3.3: Skadeomfang - utmeislet volum på forskjellige flater.

Flate	Felt 1 (m ³)	Felt 2 (m ³)
Uk	1,00	0,76
Sør	0,17	0,26
Nord	0,76	1,15

5.3.3 Prøvetaking

Heftprøver

Det ble ikke tatt heftprøver av oppmørtlinger som ble utført for hånd. Heftprøver for sprøytemørtelen ble utført i 1995 og detaljert beskrevet i /19/. Heftprøver for overflatebehandlingene ble utført i 1996 og er beskrevet i /27/. Resultatene er oppsummert i tabell 5.3.4.

Tabell 5.3.4: Heftprøver.

Materiale	Heftfasthet (MPa)		
	Minimum	Brudd i	Gjennomsnitt
Rescon DS-RSF	1,2	Heftsone	2,28
Rescon DS-RSF m/inhibitor	0,9	Gammel betong	1,57
Silimp 100 + Protect Lasur	3,2	30 % i steinreir	5,21
Primer E10 + Cem-Elastic	1,30	-	1,65
Epoxy L-L, Cem-S og Cem-L	4,0	-	5,67

Heften for sprøytemørtlene er generelt lavere enn det en kunne forvente. Kravet til heft er 1,5 MPa for en serie av 3 prøver og 1,0 MPa for enkeltprøver.

Sprøytemørtel uten inhibitor tilfredsstillter kravet. Selv om det for sprøytemørtel med inhibitor bare er 1 enkeltprøve som underskriver kravet litt, så er den gjennomsnittlige heften vesentlig lavere enn for mørtel uten inhibitor.

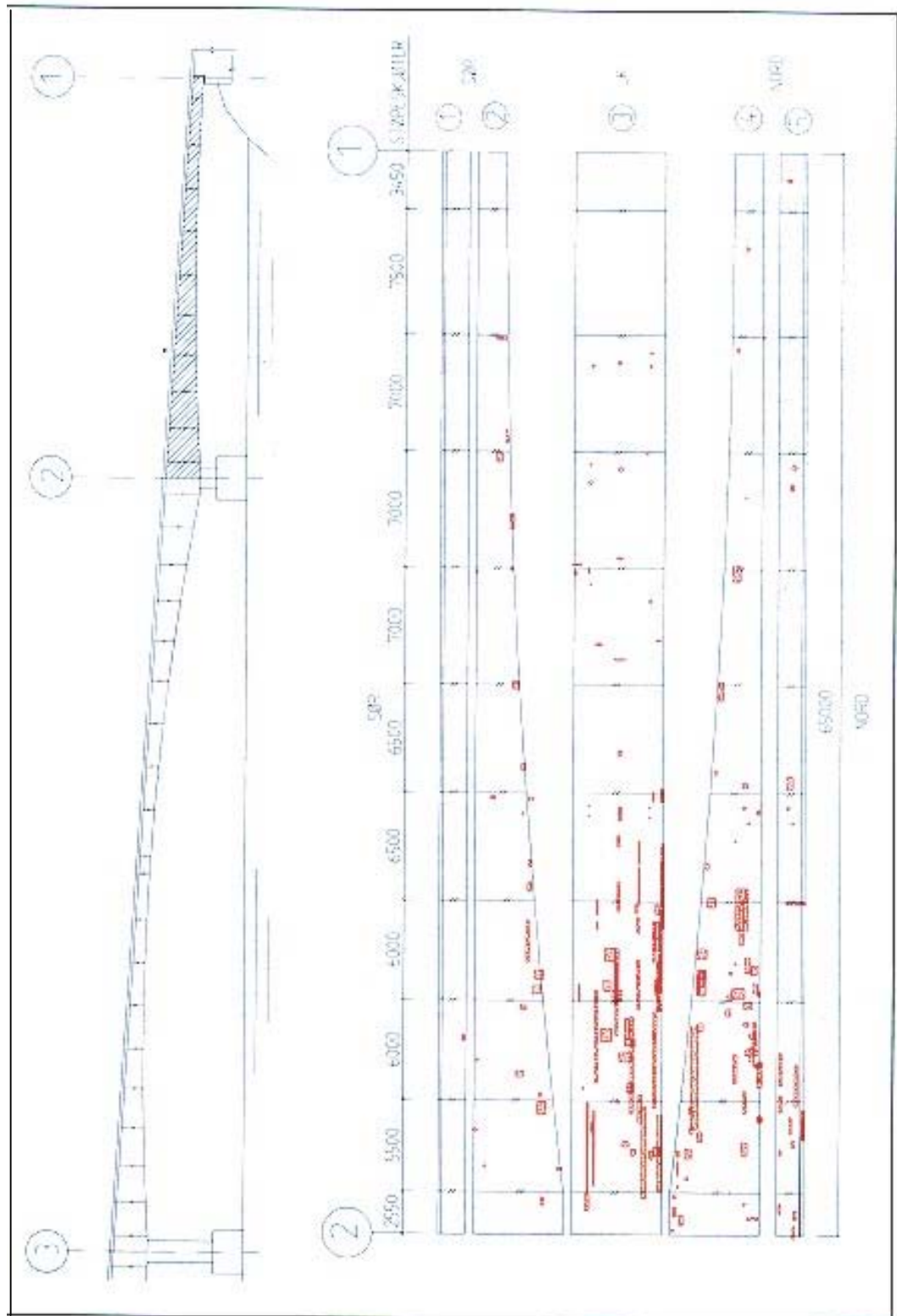
Kravet til heft for samtlige typer overflatebehandling var at ingen enkeltprøver skulle være under 0,8 MPa. Alle behandlingene tilfredsstillter disse kravene.

Vanndampdiffusjon

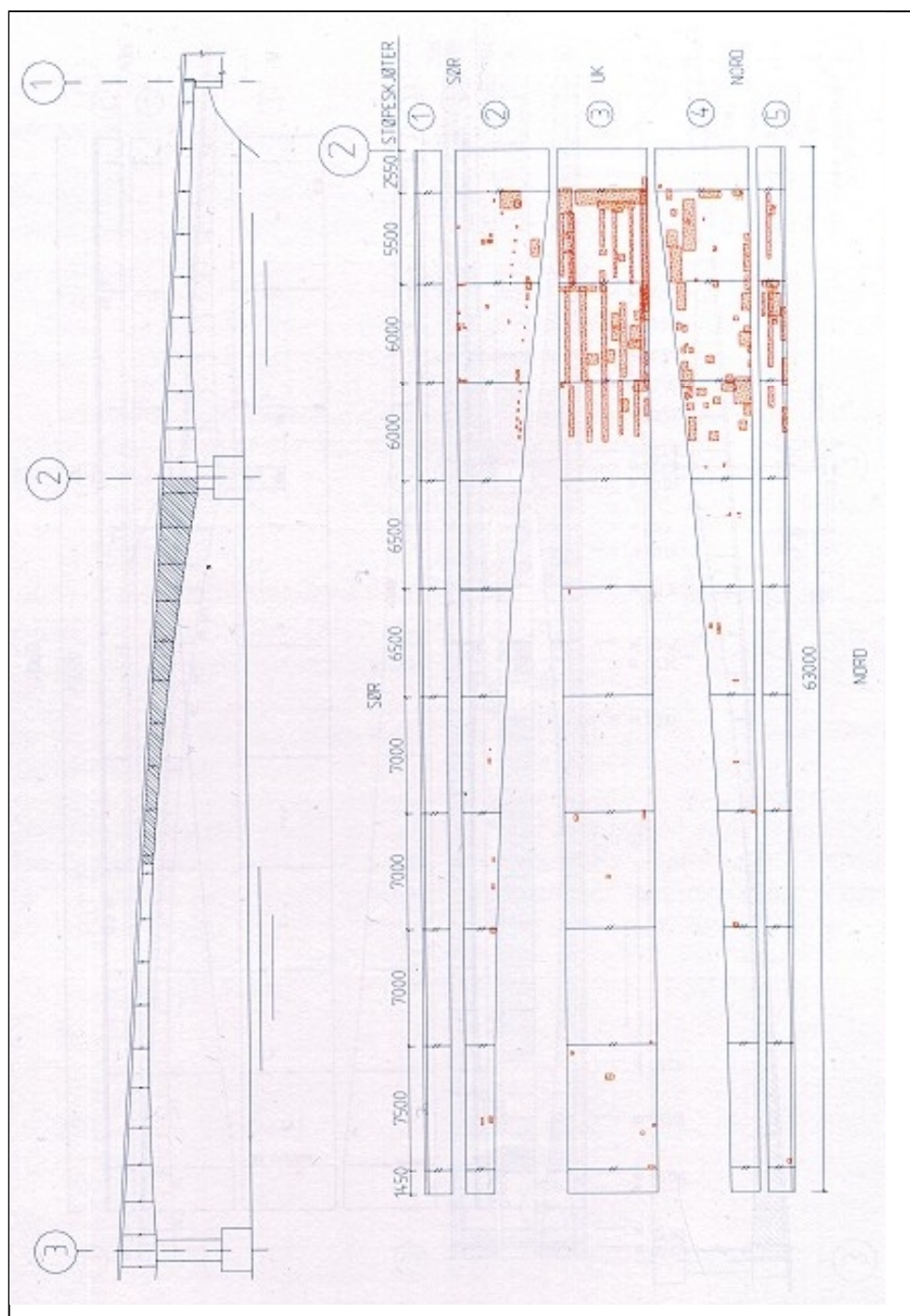
Det er målt vanndampdiffusjon og resultatene er vist i tabell 5.3.5.

Tabell 5.3.5: Vanndampdiffusjon, Rescon Silimp-100 og Rescon Protect Lasur.

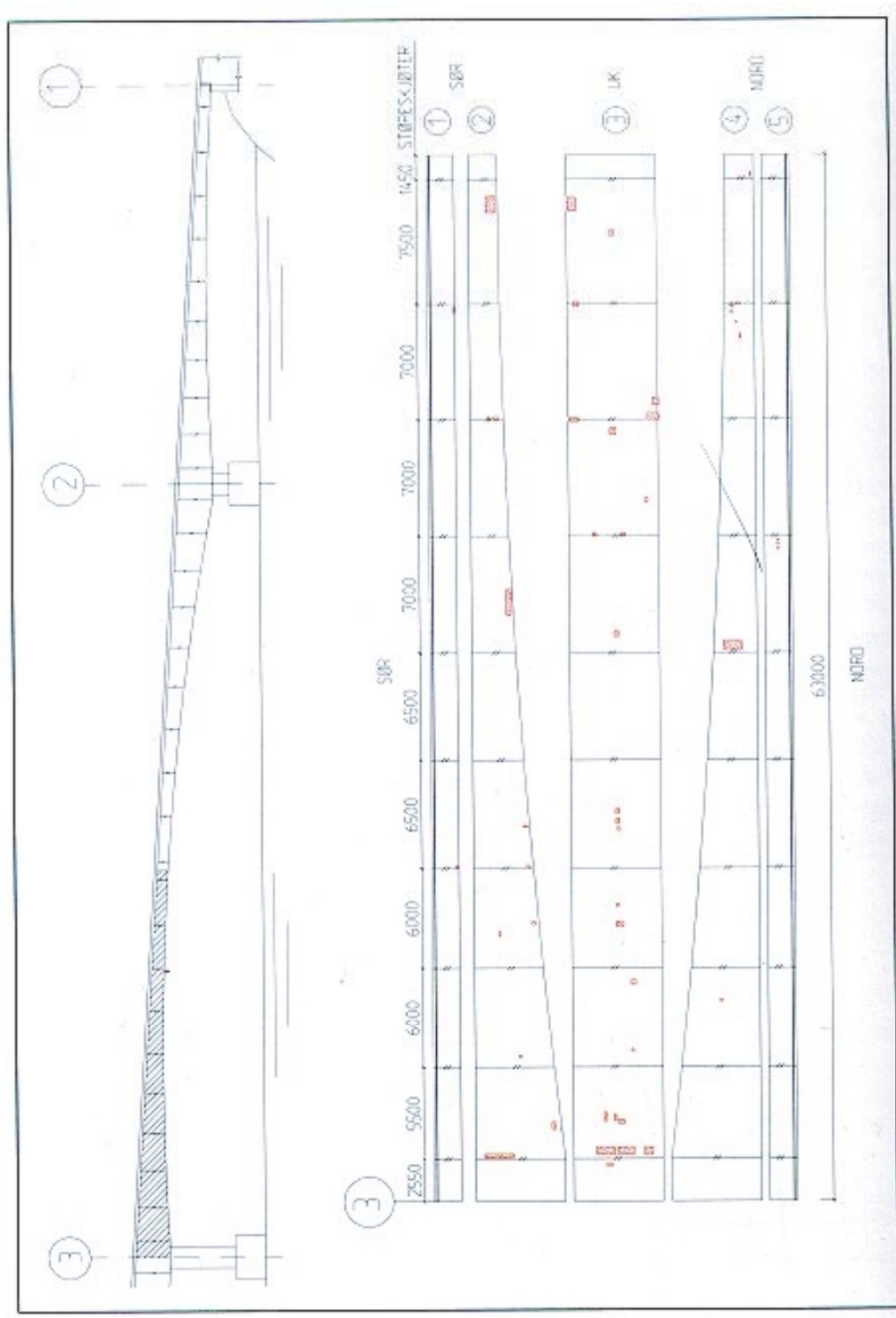
Prøve lokalisering	Type prøver	Vanndampdiffusjon *10 ⁻⁶ g/m ² Pah/m	Diffusjonsmotstandskoeffisient μ	Inntrengnings-dybde (mm) + malingsfilmtykkelse(mm)
Sør x = 105 y = 1,5	Betong med overflatebehandling	1,10		
	Betong uten overflatebehandling	5,69	117	
	Silimp-100 + Protect Lasur	0,14	4 835	1,3+ 0,5
Nord x = 105 y = 1,7	Betong med overflatebehandling	1,09		
	Betong uten overflatebehandling	6,01	111	
	Silimp-100 + Protect Lasur	0,06	10 535	0,7+ 0,5



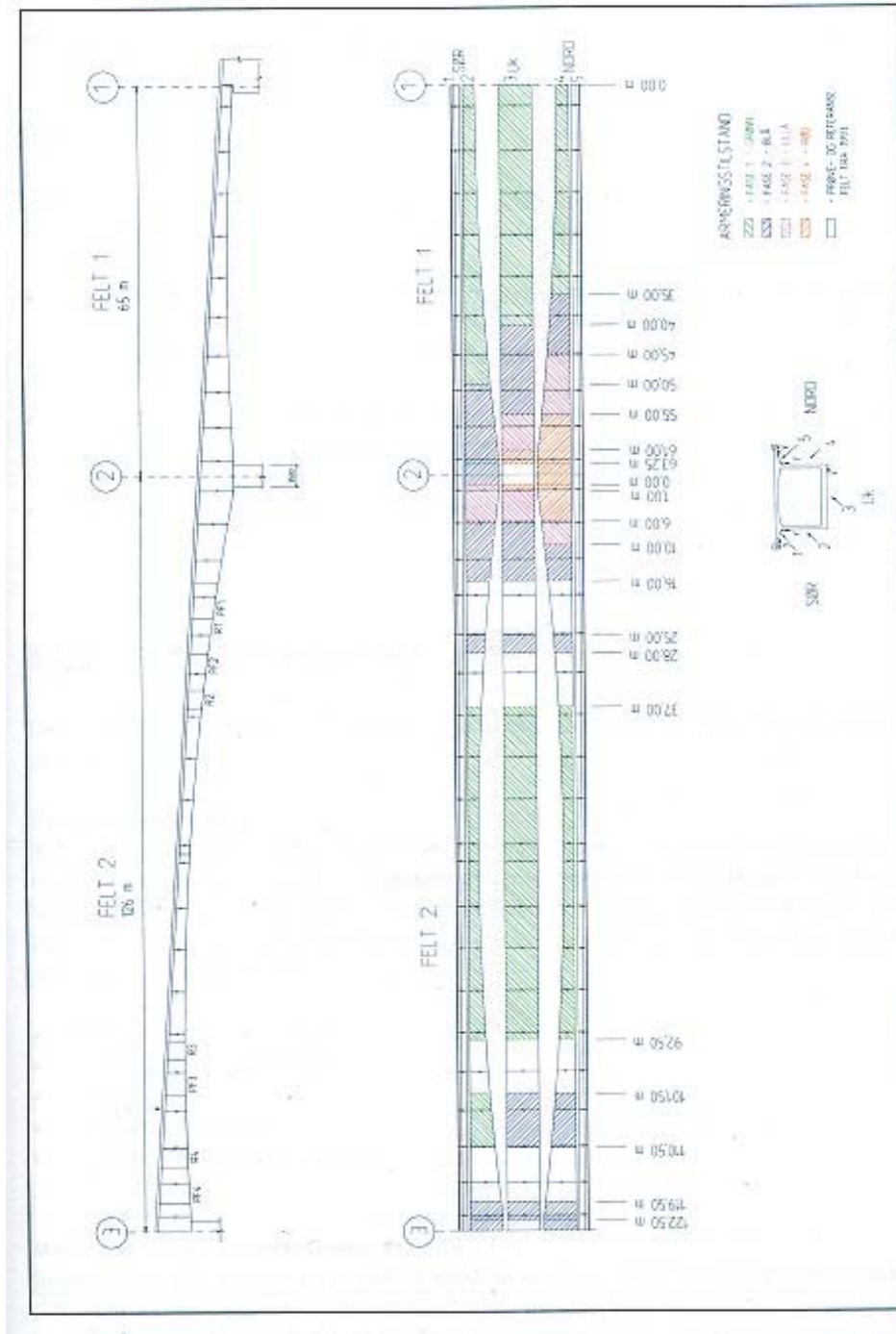
Figur 5.3.1 Utmeislinger i felt 1.



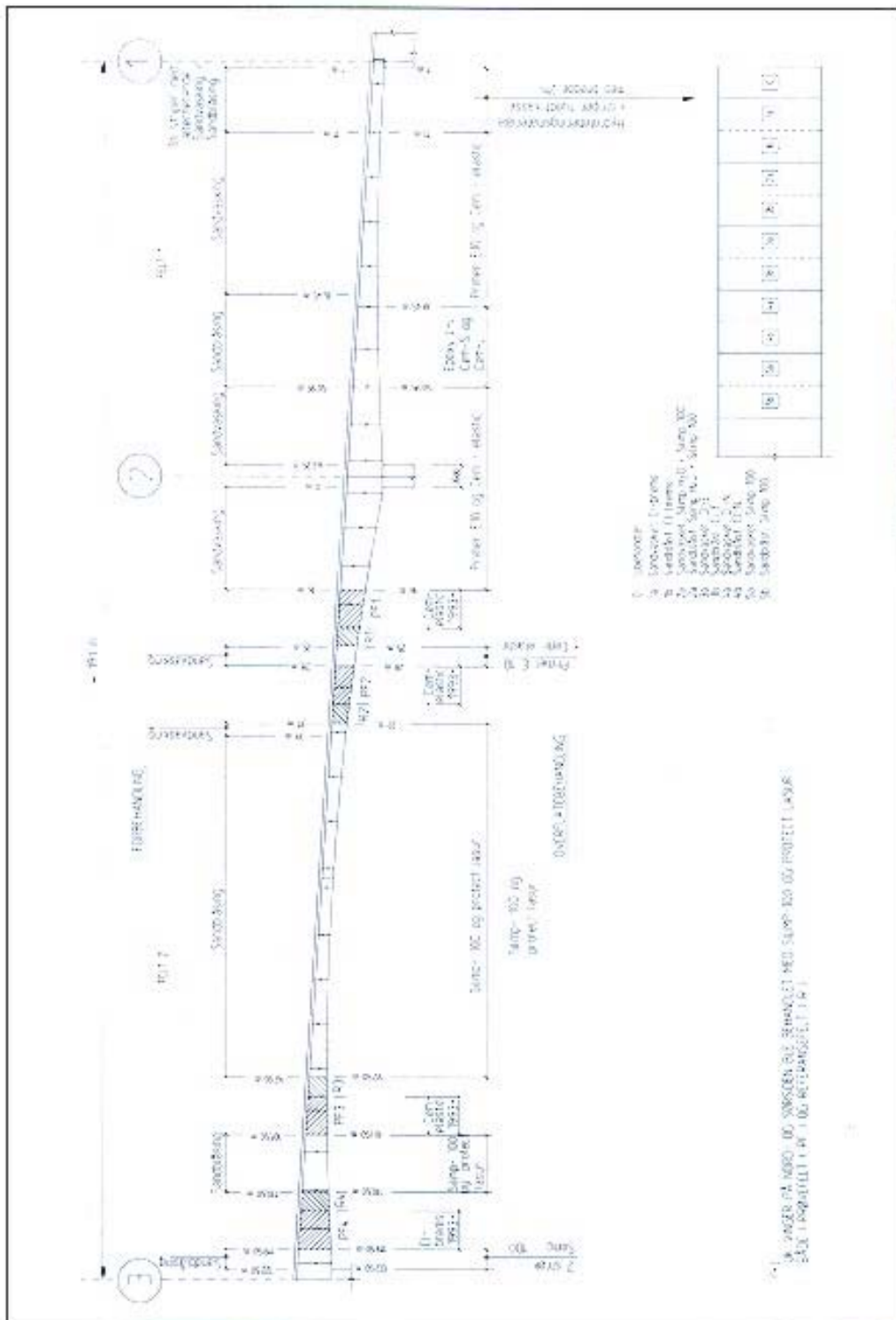
Figur 5.3.2 Utmeislinger felt 2, del 1.



Figur 5.3.3 Utmeislinger felt 2, del 2.



Figur 5.3.4 Armeringens korrosjonstilstand i felt 1 og 2.



Figur 5.3.5 Forbehandling og overflatebehandling felt 1 og 2.

5.4 Instrumentering

5.4.1 Målsetning

Instrumentering for måling av bestemte egenskaper ble gjennomført for alle 3 prøveparasjonene (1993, 1994 og 1995). Formålet var å:

- Kartlegge hvordan ulike reparasjons- og vedlikeholdstiltak påvirker armeringens korrosjonstilstand, betongens fuktforhold, betongens elektriske motstand og andre faktorer av betydning for armeringskorrosjon.
- Etterprøve og forhåpentligvis dokumentere hypoteser som var utgangspunktet for valg av vedlikeholdsmetoder ved prøveparasjonene.
- Komme fram til velegnet instrumentering som kan anbefales i fremtidige prosjekter.

5.4.2 Type instrumentering

De forskjellige typene instrumentering er kort beskrevet her. Detaljert beskrivelse er gitt i /26/.

Referanseelektroder

Referanseelektroder benyttes til å måle armeringsstålets elektrokjemiske potensial. Potensialverdien kan gi en grov indikasjon på armeringens korrosjonstilstand. Noen av referanseelektrodenes ble også benyttet ved gjennomføring av andre målinger, det vises til etterfølgende beskrivelse. I dette prosjektet ble følgende typer referanseelektroder utprøvd:

- ERE 10 (mangandioksyd)
- ERE 20 (mangandioksyd)
- Bly
- Rover GR (grafitt)
- Silvion WE10 (sølv/sølvklorid).

Måling av lineær polarisasjonsmotstand, LPR

Stålets elektriske respons på et påtrykt elektrisk signal omkring stålets egenpotensiale (korrosjonspotensiale) sier noe om størrelsen på korrosjonsstrømmer og eventuelt

annen elektrokjemisk aktivitet som pågår i øyeblikket. Høy LPR-verdi indikerer lav korrosjonshastighet, mens lav LPR-verdi indikerer at stålets passive tilstand er brutt og at korrosjon kan pågå.

LPR ble målt ved hjelp av innstøpte referanseelektroder og motelektroder (stålbolter).

FCB-sondeplate

Sondeplaten ble utviklet ved SINTEF FCB. FCB-sondeplate består av 3 stålbolter og en referanseelektrode. Den ble brukt til å måle potensial og LPR.

Måling av oksyngrensestrøm

Måling av oksyngrensestrøm i dybde med armeringen ble utført ved hjelp av innstøpte elektroder (referanseelektroder, arbeidselektroder hvor oksygenreduksjon pågår og motelektroder).

Måling av elektrisk motstand

I dette prosjektet ble det benyttet tre ulike sensorer for måling av elektrisk motstand:

- *Multiringelektroder.* Måler motstand mellom stålringer i varierende dybde fra betongoverflaten.
- *Stålbolter.* Måler motstand mellom innstøpte stålbolter plassert noen få cm fra hverandre.
- *Elektrisk ledende belegg.* Måler motstand mellom to parallelle striper av ledende belegg på betongoverflaten.

Relativ fuktighet i betong

I tillegg til å bruke motstandssonder som indikator på fuktinnhold ble det også installert sensorer for måling av relativ fuktighet og temperatur i betongen. Målingene ble utført i forskjellige dybder.

Temperatur

I tillegg til de kombinerte fuktighet/temperatursensorene ble det benyttet termoelementer av typen kobber/konstantan for å måle temperatur i forskjellige dybder i betongen.

5.4.3 Instrumentering ved prøvereparasjon 1993

Det ble utført omfattende instrumentering og måling i prøve- og referansefeltene for å følge opp tilstanden i tiden etter prøvereparasjonen. Formålet med den monterte instrumenteringen, type instrumentering og antall av hver er vist i tabell 5.4.1.

Tabell 5.4.1: Instrumentering prøvereparasjon 1993.

Formål	Type instrumentering	Antall av hver
Måling av potensialer	ERE 10 referanseelektroder	15
«	Bly referanseelektroder	12
«	Grafitt referanseelektroder	11
LPR-målinger	Referanseelektroder, motelektroder (bolter av karbonstål) og arbeidselektroder (armeringen)	13
LPR- og potensialmålinger	FBC sondeplate.	2
Måle oksyngrensestrøm	Referanseelektroder og stålbolter som arbeidselektrode og motelektrode	15
Måle elektrisk motstand	Multiringelektrode	15
«	Elektrodesett med bolter av karbonstål	15
«	Stripe med ledende belegg	14
Måle relativ fukt og temperatur i betongen	Relativ fukt og temperatursensorer	8
Måle temperatur i betongen	Termoelement	15

Dataregistreringssystemet, dvs. systemet som samler inn, lagrer og formidler informasjonen fra ovennevnte instrumentering, ble først montert i forbindelse med prøvereparasjon i 1994.

5.4.4 Instrumentering ved prøvereparasjon 1994

For de 3 prøvesøylene er formålet med instrumenteringen, type instrumentering og antall angitt i tabell 5.4.2.

Tabell 5.4.2: Instrumentering 1994.

Formål	Type instrumentering	Antall av hver
Måling av potensialer	ERE 10 referanseelektroder	12
«	Silvion WE10 referanseelektroder	6
LPR-målinger	Referanseelektroder, motelektroder (bolter av karbonstål) og arbeidselektroder (armeringen)	12
Måle oksyngrensestrøm	Referanseelektroder og stålbolter som arbeidselektrode og motelektrode	12
Måle elektrisk motstand	Multiringelektrode	12
Måle relativ fukt og temperatur i betongen	Relativ fukt og temperatursensorer (2 dybder)	8
Måle temperatur i betongen	Termoelement (3 dybder)	18

Arbeidet med instrumentering ble utført i en periode med gode værforhold. Boring av hull og innmørtling av sensorer ble gjort uten at det oppsto spesielle problemer.

Hullene i de vertikale søyleflatene ble boret en anelse på skrå oppover for lettere å kunne vaske ut smuss i hullet. Sensorene ble innmørtlet med Rescon Nonset 50 som var modifisert ved at silikainnholdet var fjernet.

Det ble montert et dataregistreringssystem hvor signalene/dataene fra instrumenteringen i 1993 og 1994 registreres og overføres vha. telemodem.

5.4.5 Instrumentering ved prøveparasjon 1995

Formålet med instrumenteringen ved prøveparasjon 1995, type instrumentering og antall er angitt i tabell 5.4.3.

Instrumentering ble montert utvendig på nordre kassevegg og søndre kassevegg i felt 1 ca 56 m fra akse 1.

I tillegg ble det montert instrumentering utvendig og innvendig på nordre kassevegg i avstand 43 m og 48 m fra akse 1.

Tabell 5.4.3: Instrumentering 1995.

Formål	Type instrumentering	Antall av hver
Måling av potensialer	ERE 20 referanseelektroder	4
«	Silvion WE10 referanseelektroder	4
LPR-målinger	Referanseelektroder, motelektroder (bolter av karbonstål) og arbeidselektroder (armeringen)	8
Måle oksyngengrensestrøm	Referanseelektroder og stålbolter som arbeidselektrode og motelektrode	4
Måle elektrisk motstand	Elektrodesett med bolter av karbonstål	8
Måle temperatur i betongen	Termoelement	10

5.5 Dokumentasjon/rapportering av prøve-reparasjonene

For hver prøveparasjon ble det utarbeidet følgende dokumenter:

- Tilbudsgrunnlag og kontrakt
- Prosjekthåndbok
- Sluttrapport fra entreprenøren
- Sluttrapport fra byggherren.

Tilbudsgrunnlag/kontrakt. I forkant av hver prøveparasjonene ble det laget tilbudsbeskrivelser med beskrivelse av alle arbeidene som skulle utføres. Disse danner grunnlaget for kontraktene.

Prosjekthåndbøkene fungerte som kvalitetshåndbøker for prøveparasjonene. Foruten en beskrivelse av organisasjon, inneholdt prosjekthåndbøkene en samling av prosedyrer og detaljerte beskrivelser av alle arbeider som var planlagt.

Entreprenørens sluttrapporter inneholdt detaljerte beskrivelser av arbeidene slik de ble utført. Videre ble det tatt med eventuelle avvik fra det som var planlagt samt nyttige erfaringer fra de arbeidsoperasjonene som ble utført. Resultater fra forhåndskartlegging og prøvetaking etter prøveparasjonen, sammen med en detaljert beskrivelse av instrumenteringen, utgjør også en verdifull del av dokumentasjonen. Utfylte sjekklister, kontrollskjemaer, osv. ble også vedlagt.

Byggherrens sluttrapporter tok for seg punkter som kontraktsforhold, organisering, gjennomføring av prosjektet, økonomi og kvalitetssikring og oppsummerer de erfaringene byggherren sitter igjen med etter de enkelte prøveparasjonene.

Video og foto. Ved prøveparasjon i 1993 var det i tillegg omfattende krav til dokumentasjon med video og foto. Formålet med videodokumentasjon var å fremstille visuelt hvordan spesielle aktiviteter ble utført slik at en senere kunne lage en introduksjonsvideo om reparasjon og vedlikehold av betong. Siden filmingen måtte utføres fra hengestillaset ble avstanden fra kameraet til objektet begrenset. Dette gjorde det vanskelig å ta oversiktsbilder.

På grunn av omfanget det var lagt opp til ble tidsforbruket ved videofilmingen stort. Erfaringen fra prøveparasjon 1993 tilsier at videodokumentasjon bør begrenses til visse aktiviteter som må vises med levende bilder for å ha noen informasjonsverdi. Det er viktig at det brukes stativ for å gi tilfredsstillende kvalitet ved video-opptak.

Som dokumentasjon er foto bra, men omfanget bør vurderes spesielt for hvert prosjekt. Det er viktig at de punktene det tas foto av blir merket entydig, dette gjelder spesielt inne i brukassen hvor det må angis hva som er opp og ned, samt himmelretning.

5.6 Erfaringer med hensyn på gjennomføring av reparasjoner

5.6.1 Rigg

Ved alle prøvereparasjonene ble det benyttet en brakkerigg som lå ca. 300 m fra landkaret i akse 1. I tillegg ble det etablert en fremskutt rigg ved landkaret i akse 1. Der ble det plassert verktøycontainer med nødvendig utstyr. På samme sted ble det lagret fat med hydrofobersprodukter og paller med mørtel. Andre produkter ble lagret inne i brukassa samt i container. Dette opplegget fungerte bra for de arbeidene som skulle utføres.

5.6.2 Stillas - innkledning

Prøvereparasjon 1993.

Ved denne prøvereparasjonen stilte byggherren hengestillas til rådighet, se foto 5.6.1. Med mange aktiviteter på flere felt samtidig ble det etterhvert nødvendig med økt stillaskapasitet. Dette ble løst ved å montere opp et ekstra hengestillas.

Det siste hengestillaset hadde ikke samme mobilitet som det første og ble derfor benyttet bare for prøvefelt 1.

Hengestillasene som ble benyttet her var smale og ikke særlig godt egnet når det skal utføres mange arbeidsoperasjoner samtidig. Det anbefales derfor å etablere større arbeidsplattformer når slike arbeider skal utføres.

Prøvereparasjon 1994

På søyle 4 og 5 ble det valgt stålstillas, type Cup-Lock, se foto 5.6.3. På de øvrige søylene ble det valgt lettstillas type Alby, se foto 5.6.4.

Stålstillaset hadde en arbeidsbredde på 1,20 m og var stødig å arbeide på. Stillasbredden ga godt arbeidsrom også ved bruk av stort utstyr. Stillaset hadde ingen boltepunkter på søyleflatene, men ble boltet i brukassa. Dermed unngikk en punkter som måtte flikkes etterpå. Det ble benyttet stillasheis på søyle 4 og 5. Dette ga stor besparelse ved flytting av utstyr, spesielt ved flytting av tørrsprøyteutstyr.

Lettstillaset hadde arbeidsbredde på 0,6 m og ga dårlig arbeidsrom ved tørrsprøyting og sandblåsing. Riktig avstand mellom munnstykket og betongflatene ved tørrsprøyting er ca. 50 cm. Dette er vanskelig å oppnå på et så smalt stillas. Ved

tørresprøyting måtte det benyttes en mann ekstra for flytting av utstyr, da det ikke var feste for stillasheis.

Stålstillaset er omlag 60 % dyrere enn lettstillaset, men der det skal utføres arbeider som krever tyngre utstyr kan dette likevel være regningsvarende.

Prøvereparasjon 1995

Det ble benyttet stillas som var hengt opp under begge feltene som inngikk i prøveparasjonen, se foto 5.6.5 og 5.6.6. Hovedplatingen besto av finerplater som hvilte på gitterdragere av stål og rammeverk av tre. Gitterdragerne var festet med stålstag som var låst i brudekket samt stålwirer som var festet i underkant av brukassa med ekspansjonsbolter. Dette var en kostbar løsning, men med mange prøveuttak, oppmålinger, osv. var det en riktig løsning som ble valgt i dette tilfellet. Fremdriftsmessig var denne løsningen fordelaktig da arbeid kunne foregå samtidig og på forskjellige steder, uavhengig av værforhold.

5.6.3 Vær - årstider - liggedager

Prøvereparasjon 1993 ble gjennomført i perioden 01.08.1993 - 10.10.1993. I hele denne perioden var det svært godt vær. Det var ikke avbrudd eller forsinkelser på grunn av været.

Prøvereparasjon 1994 ble utført i perioden 24.05.1994 - 24.09.1994. Værforholdene var bra, selv om det var mye regn og vind tidlig i perioden. Det var 4 liggedager i første halvdel av juni. På disse dagene var det vind med opp til orkan i kastene. Frist for ferdigstilling var 01.10.1994 og det ga likevel entreprenøren god tid til å utføre de beskrevne arbeidene. Dato for oppstart og ferdigstilling var gunstig med hensyn på vær og temperaturforhold.

Prøvereparasjon 1995 ble utført i perioden 08.05.1995 - 30.09.1995. Det var mye nedbør kombinert med sterk vind, men 3 uker med godt vær gjorde at overflatebehandlingen ble gjennomført som planlagt. På tross av det dårlige været var det kun 1 liggedag i løpet av anleggsperioden.



Foto 5.6.1: Hengestillas, prøveparasjon 1993.



Foto 5.6.2: Stillas prøveparasjon 1994.



Foto: 5.6.3:
Stållillas på søyle 4.

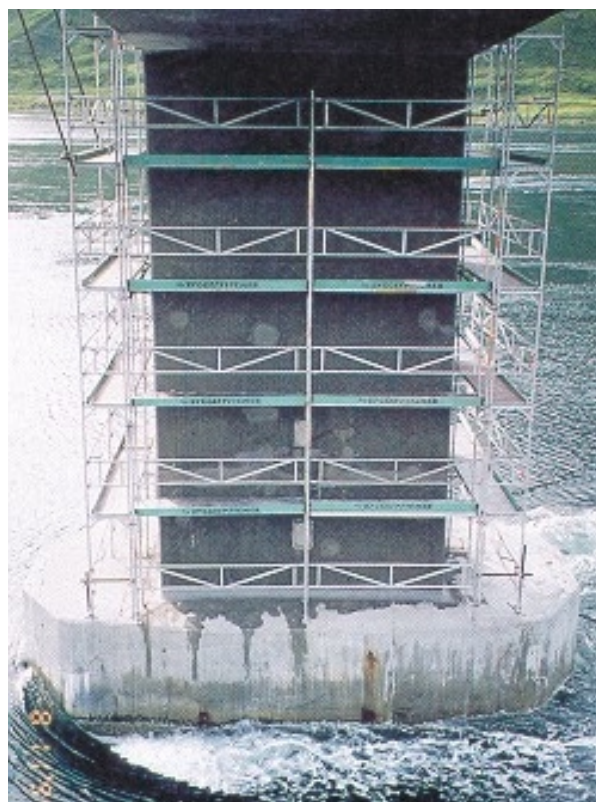


Foto 5.6.4:
Lettstillas på søyle 3.



Foto 5.6.5: Hengestillas, prøveparasjon 1995.



Foto 5.6.6: Hengestillas, prøveparasjon 1995.

6. Andre feltforsøk

6.1 Betonghelleprogrammet

6.1.1 Innledning

Etterfølgende beskrivelse er et utdrag av rapport /28/. 60 betongheller med størrelse 500 x 500 x 50 mm ble hengt opp på søylen i akse 6, se figur 6.1.1. Hellene ble overflatebehandlet med forskjellige hydrofoberingsmaterialer og slemmemasser, se oversikten i punkt 6.1.3. Det ble benyttet samme betongresept og utstøpingsmetode for samtlige heller, for at disse skulle være av tilnærmet samme kvalitet.

Målet med overflatebehandling av betonghellene er å gi økt kunnskap om effekten av ulike overflatebehandlinger med hensyn på:

- kloridinntrengning
- CO₂-inntrengning
- fuktforhold i betong før og etter overflatebehandling.

Spesielt ved hydrofobering er det interessant å se på hvilken materialsammensetning som gir best effekt, med tanke på:

- inntrengningsdybde ved ulike forbehandlingsmetoder og ulikt fuktinnhold i blokkene ved påføringen
- kloridbremsende effekt.

Et overordnet mål er å få økt kunnskap om materialenes levetid.

6.1.2 Utstøping/gjennomføring

Betongresept

Det ble proporsjonert en betong i henhold til Prosesskode-2 (1988) med masseforhold $v/c+2s \leq 0,4$ med følgende materialsammensetning pr. m³:

Sement:	433 kg, type P30 fra Norcem Kjøpsvik
Silika:	17 kg, fra Finnfjord Smelteverk, Finnsnes
Sand 0-10 mm:	819 kg, 5,7 % fukt, fra Sigerfjord sand
Pukk 10-16 mm:	827 kg, overflatetørr, fra Gullkista blokken
P-stoff:	3,6 kg, fra Scansem
SP-stoff:	5,5 kg, fra Scansem; Scanflyt 2
L-stoff:	0,5 kg, fra Rescon
Synk:	målt til 19 cm
Luftinnhold:	målt til 4,4 %
D _{maks} :	16 mm
Masseforhold v/c+2s:	0,398.

Betonghellene ble støpt ved Betong & Entreprenørsenteret AS i Kabelvåg 14. juni 1995.

Ved utregning av masseforholdet (effektivt) ble absorbert vann i tilslaget beregnet og ikke tatt med i totalt vanninnhold.

Det ble totalt støpt ut 87 heller med dimensjoner 500 x 500 x 50 mm. Hellene er uarmert. I hvert hjørne er det laget en utsparing (Ø 20 mm) for opphenging med 12 mm ekspansjonsbolter.

Utstøping/herdebetingelser

Forskalingen ble påført et meget tynt lag forskalingsolje. Alle hellene ble støpt ut av samme blandesats (1,4 m³) og gitt samme herdebetingelser. Blokkene ble støpt liggende og betongen ble komprimert ved vibrering (vibratorstav), trukket av med rettskive og pusset med trebrett. Umiddelbart etter pussing ble hellene dekket til med plastfolie (membranherdner ble ikke benyttet). To døgn etter utstøping ble blokkene avformet og plastfolien fjernet. Det ble ikke gitt videre etterbehandling.

Emballasje/lagring

Etter avforming ble alle hellene lagret på 4 europaller som ble forseglet med plastfolie rundt hver pall slik at det ikke ble tilført eller avgitt fukt. Pallene ble lagret utendørs og kjørt til brua 23. august 1995.

6.1.3 Overflatebehandling

Påføring

Det ble testet 2 typer forbehandling, sandblåsing og ingen forbehandling og 2 forskjellige fuktinnhold, vannmettet med grå overflate og 60-80 % vannmetningsgrad. Kontaktflaten med stålforskalingen ble benyttet som «eksponert flate», dvs. at det var denne som ble overflatebehandlet.

Hellene som skulle ha 60-80 % vannmetningsgrad ble ikke behandlet etter utpakking fra pallene. Det ble tatt ut prøve for kontroll av fuktinnholdet. Fuktinnholdet ble målt til 79 %.

Hellene som skulle vannmettes ble lagret i vannbad i 5 dager. Alle hellene ble sandblåst og påføringen av overflatebehandling startet umiddelbart etter sandblåsing.

Følgende overflatebehandlingsmaterialer ble testet:

- 1) Rescon CI-brems (silan/siloxan, 20 % løst i white-spirit)
- 2) Rescon CI-N (silan, 25 % løst i white-spirit)
- 3) Rescon CI-E (silan, 25 % løst i etanol)
- 4) Rescon Silimp 100 (100 % silan)
- 5) Rescon Silimp-H₂O (silan, 25 % løst i vann)
- 6) Ett strøk Rescon Silimp 100 + ett strøk silan/akrylat-overflate-behandling (Rescon Protect Lasur) som UV-beskyttelse og CO₂-brems
- 7) Rescon Primer E-10 + Rescon Cem-Elastic som elastisk overflatebehandling
- 8) Rescon Primer E-10 + Rescon Elastic som elastisk overflatebehandling
- 9) Rescon Epoxy L-L, Rescon Epoxy Cem-S og Rescon Epoxy Cem-L som tett sementbasert epoxybelegg
- 10) Ubehandlet referanse.

Påført mengde pr. betonghelle (0,25 m²) var som følger:

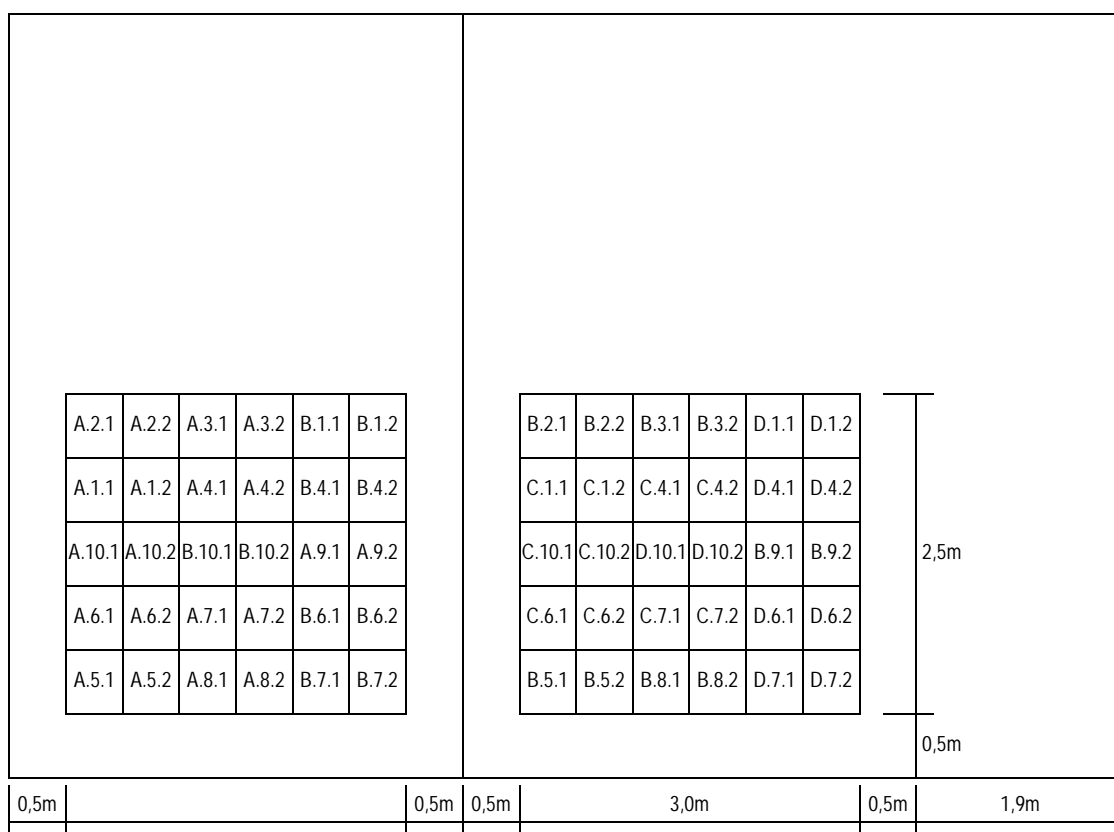
Hydrofoberingsmidler	2 x 50 ml
Rescon Primer E10	1 x 50 ml
Rescon Cem-Elastic	0,875 kg
Rescon Elastic	0,375 kg

Rescon Epoxy L-L	1 x 50 ml
Rescon Epoxy Cem-S	0,5 kg
Rescon Epoxy Cem-L	0,5 kg.

Betonghellene ble forseglet med epoxy på bakside og sidekanter etter behandling.

Plassering av heller

Hellene ble plassert på nord og vestside (nærmest nord) på søyle i akse 6 (utført 26. september 1995). De er plassert i 5 nivåer med 1. nivå i avstand 0,5 m fra topp fundament og alle hellene minimum 0,5 m fra hjørnene. Figur 6.1.1 viser nummerering og plassering av hellene på søyle i akse 6. Tabell 6.1.1 viser hvilken behandling de ulike betonghellene har. Bokstavene A-D angir forbehandling og fuktnivå ved overflatebehandling.



Figur 6.1.1: Plassering av heller, akse 6.

Tabell 6.1.1: Antall betongheller for ulike materialer.

Prøve nr.	Forbehandling: Fuktforhold:	A Sand- blåsing 60-80 %	B Sand blåsing Vannmettet	C Ube- handlet 60-80 %	D Ube- handlet Vannmettet	Totalt antall heller
1.1-1.2	Rescon CI-brems	2	2	2	2	8
2.1-2.2	Rescon CI-N	2	2			4
3.1-3.2	Rescon CI-E	2	2			4
4.1-4.2	Rescon Silimp-100	2	2	2	2	8
5.1-5.2	Rescon Silimp-H ₂ O	2	2			4
6.1-6.2	Rescon Silimp-100 + Protect Lasur	2	2	2	2	8
7.1-7.2	Rescon Primer E10 + Cem-Elastic	2	2	2	2	8
8.1-8.2	Rescon Primer E10 + Rescon Elastic	2	2			4
9.1-9.2	Rescon Epoxy L-L, Cem-S, Cem L	2	2			4
10.1-10.2	Referanse ubehandlet	2	2	2	2	8
	Totalt					60

6.1.4 Resultater

Referansebetong, både sandblåst og ubehandlet, ble undersøkt av SINTEF mht.:

- Diffusjonsåpenhet, etter testmetode NT-Build 369
- Kapillærabsorpsjon, etter testmetode NT-Build 368
- Bulkdifusjon, etter testmetode APM-302.

Tabell 6.1.2: Egenskaper for referansebetong, undersøkt av SINTEF.

Egenskaper	Ikke sandblåst	Sandblåst
Motstandstall, 10^7 , s/m ²	5,29	5,73
Kapillaritetstall, 10^{-2} , kg/m ² s	1,87	1,72
Sugporøsitet, %	14,1	13,8
Makroporøsitet (luft), %	3,8	4,0
Tørr densitet, kg/m ³	2210	2213
Vanndampdiffusjonskoeff., kg/msPa	2,02 $\cdot 10^{-12}$	1,76 $\cdot 10^{-12}$
Overflatekons., C ₀ , % Cl ⁻ av betongvekt	1,27 (s = 0,06)	1,36 (s = 0,12)
Diffusjonskoeffisient, D _{Cl} , 10^{-12} m ² /s	3,45 (s = 0,11)	3,46 (s = 0,46)

s = standardavvik for 3 prøver.

6.1.5 Foreløpige erfaringer

Til nå har det vist seg at måling av inntrengningsdybde er den beste metoden for å vurdere levetiden til hydrofobering.

Rescon Elastic hadde meget lang herdetid, eller den herdet ikke i det hele tatt. Det kan tyde på at ved fuktforhold i betongen som her, dvs. mer enn 60 % er det problemer med å få materialet til å sitte på betongen. Det er ikke tilstrekkelig heft. Dette kunne sees ved at hele belegget løsnet når man dro i det. I uke 35 i 1996 ble det utført prøvetaking på hellene. Resultatene fra dette vil bli rapportert i løpet av 1997.

6.2 Vannoverrislingsforsøket

6.2.1 Innledning

I dette delprosjektet bestemte en seg for å gjennomføre en enkel undersøkelse av kloridutvasking ved overrisling med ferskvann. Kloridinnholdet i betongen ble analysert før og etter vannoverrislingen. Overrislingen ble utført på to måter:

- Laboratorieforsøk på borkjerner fra brua - overrislet med ferskvann med vanlig romtemperatur.
- Feltforsøk på brua - overrisling med ferskvann gjennom perforert vannslange montert på kasseveggen.

Andre metoder for fjerning av klorider fra betong kan være høytrykksspyling med oppvarmet vann (60-70 °C) eller elektrokjemisk kloriduttrekk. Slike metoder ble diskutert, men ikke nærmere undersøkt i dette tilfellet.

Da dette forsøket ikke er gjengitt i egen rapport er det tatt med forholdsvis detaljert her.

6.2.2 Gjennomføring

Laboratorieforsøk

Det ble tatt ut 6 stk betongkjerner med diameter 150 mm og lengde ca 70 mm fra søyle i akse 3 på vestsiden. Fire av kjernene ble sendt til Rescon AS, men kun 2 av

prøvene ble brukt i forsøket. De to siste kjernene ble sendt til Norut Teknologi i Narvik for bestemmelse av kloridinnhold til bruk som referanse.

Ved mottak av kjernene i Rescon's laboratorium ble det foretatt kloridanalyser som referanse før vannoverrisling. Deretter ble alle flater unntatt den som skulle eksponeres forseglet med epoxy. Kjernene ble overrislet med ferskvann i 12 uker, hvor prosedyren var 4 timer overrisling og 4 timer tørking. Etter vannoverrisling ble det utført nye kloridanalyser.

Betongstøvet til kloridanalysene ble frest ut i dybder på 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 og 10-15 mm både før og etter overrisling. Kloridanalysene ble utført med potensiometrisk titrering hos Rescon AS.

Feltforsøk

Vannoverrislingen ble utført på kasseveggen på nordsiden av brua i felt 2. Det ble benyttet en $\frac{3}{4}$ " perforert hageslange med hullavstand ca. 15 cm. Slangen ble festet ca 0,5 m fra topp kassevegg i 2 meters lengde (X = 1 - 3 m i avstand fra akse 2). Vannoverrislingen startet 7. august 1995 og ble avsluttet 4. september 1995. Vannoverrislingen sto på kontinuerlig disse fire ukene med unntak av 2-3 timer hvert døgn for fylling av vanntank. Vannforbruket var ca. 1000 - 1200 l/døgn.

Det ble tatt ut 2 stk 100 mm betongkjerner før vannoverrislingen startet (kjerne 1: X = 1,74 , Y = 3,27; kjerne 2: X = 1,74, Y = 3,48) og 2 stk betongkjerner (kjerne 3: X = 1,40 , Y = 3,49; kjerne 4: X = 1,37 , Y = 3,23) umiddelbart etter avslutning av overrislingen. Kloridinnholdet i kjernene ble undersøkt ved Norut Teknologi.

I tillegg til betongkjernene ble det boret ut støv i fire ulike høyder på kasseveggen med 18 mm bor, etter avslutning av vannoverrislingsforsøket. Betongstøv ble boret ut både i området hvor det var utført vannoverrisling og ca. 1 m utenfor dette området. Kloridinnholdet i betongstøvet ble undersøkt ved Norut Teknologi.

6.2.3 Resultater

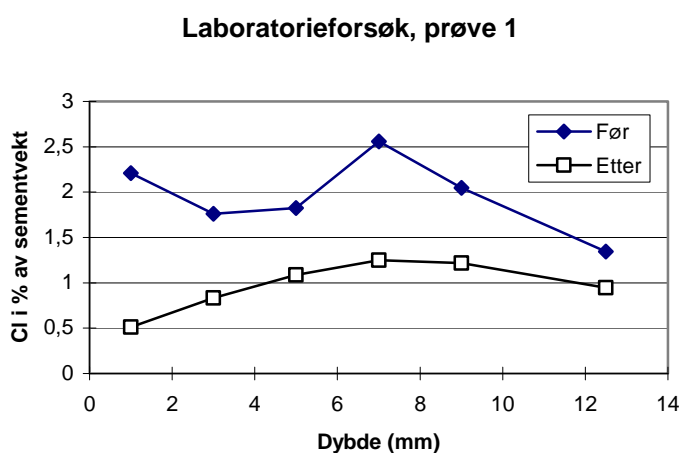
Resultatene av kloridmålingene er vist på følgende figurer:

- Figur 6.2.1 - 6.2.2: Laboratorieforsøk på de 2 kjernene
- Figur 6.2.3 - 6.2.4: Feltforsøk, analyse på borkjerner
- Figur 6.2.5 - 6.2.8: Feltforsøk, analyse av borstøv.

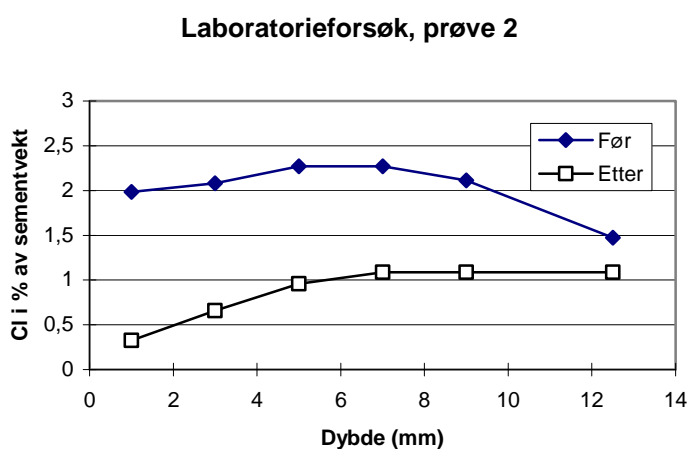
6.2.4 Diskusjon/erfaringer

Resultatene fra laboratoriet viser nokså klart at kloridene vaskes ut til en dybde av ca. 12 mm ved vekslende overrissing/tørking i en 12 ukers periode.

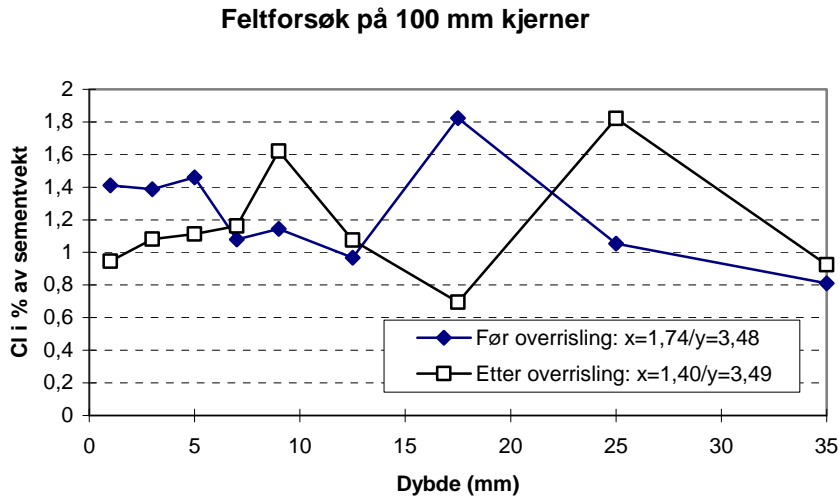
Resultatene fra feltforsøket er ikke like tydelige som laboratorieforsøket. Alle kloridprofiler fra de overrissede prøvene viser et lavere kloridinnhold i de ytterste 5 mm, men videre innover i betongen varierte det mye. Det bør derfor utføres flere forsøk i felt før en kan trekke sikrere konklusjoner.



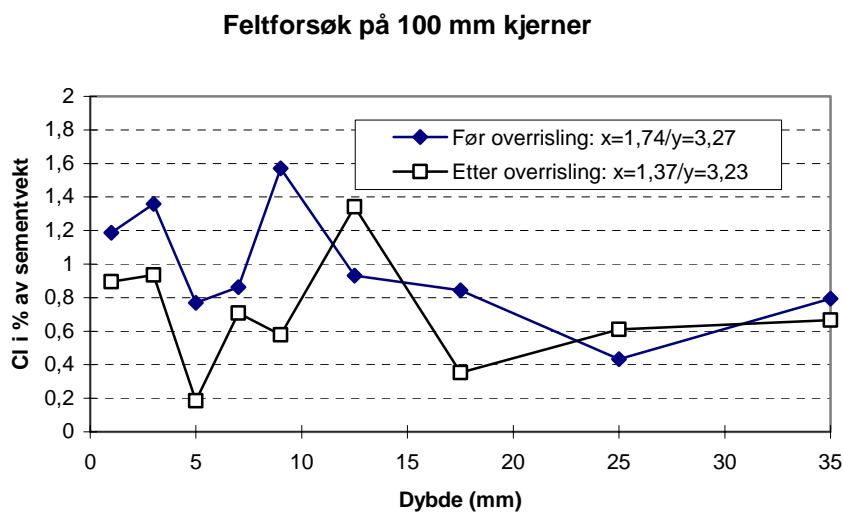
Figur 6.2.1: Laboratorieforsøk. Kloridinnhold før og etter vannoverrissing, prøve 1.



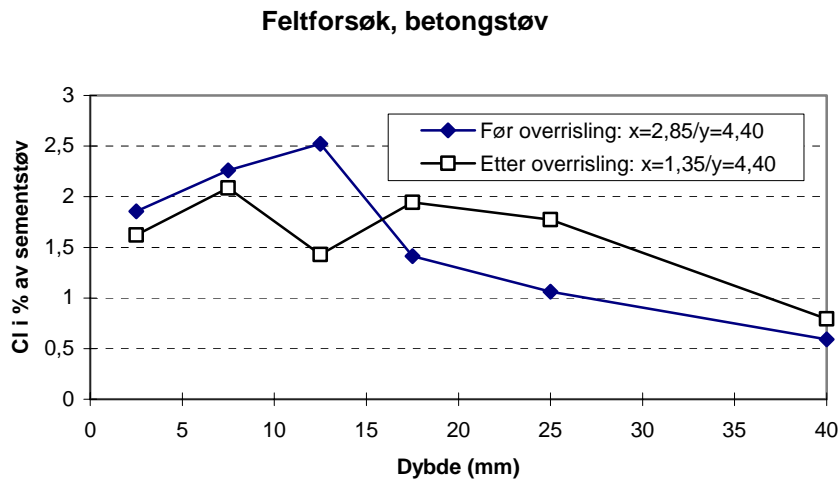
Figur 6.2.2: Laboratorieforsøk. Kloridinnhold før og etter vannoverrissing, prøve 2.



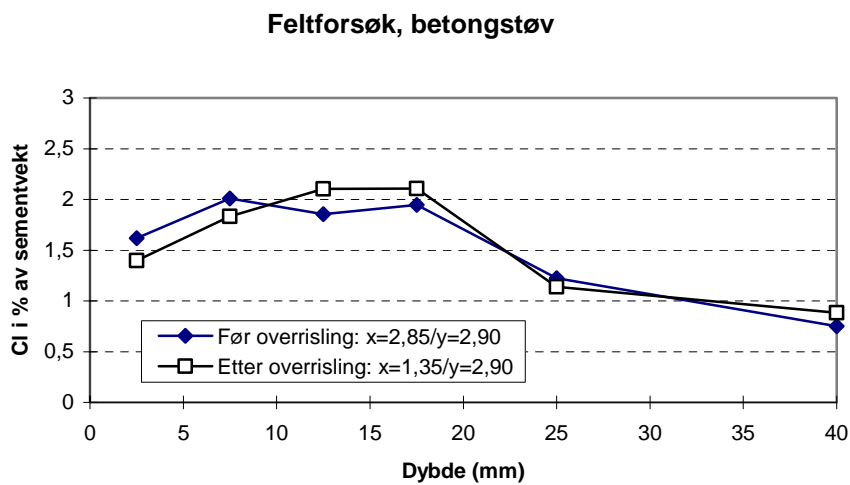
Figur 6.2.3: Feltforsøk, kloridinnhold før og etter vannoverrisling.



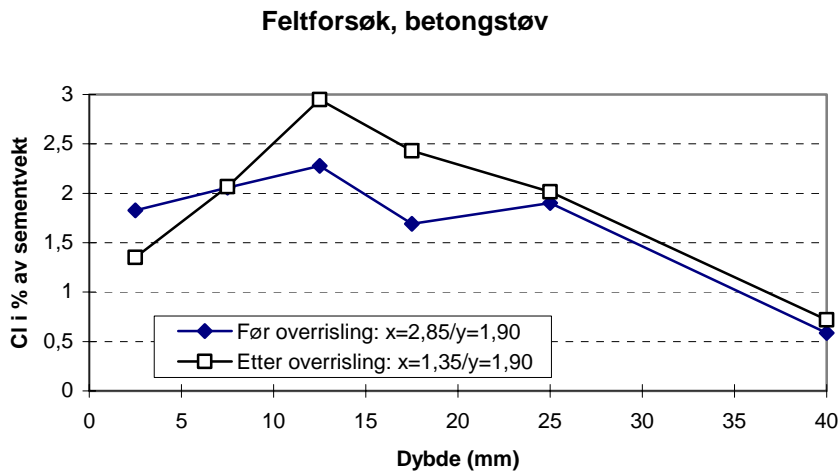
Figur 6.2.4: Feltforsøk, kloridinnhold før og etter vannoverrisling.



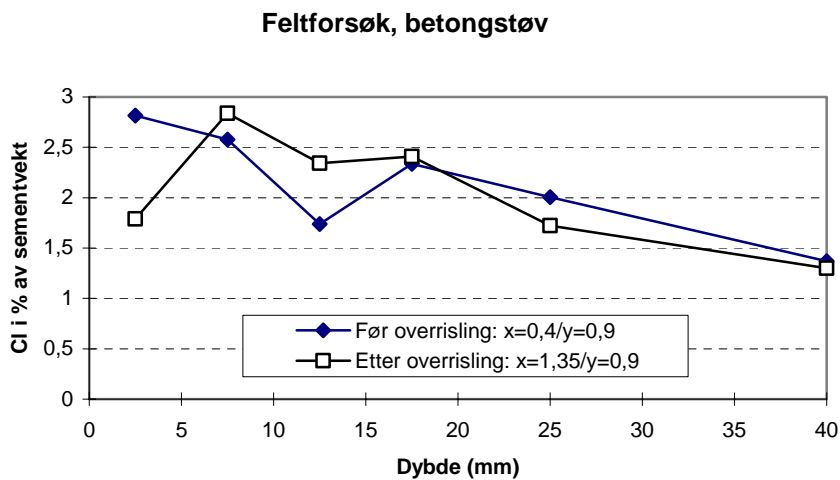
Figur 6.2.5: Feltforsøk, kloridinnhold før og etter vannoverrisling ($y=4,40$).



Figur 6.2.6: Feltforsøk, kloridinnhold før og etter vannoverrisling ($y=2,90$).



Figur 6.2.7: Feltforsøk, kloridinnhold før og etter vannoverrisling ($y=1,90$).



Figur 6.2.8: Feltforsøk, kloridinnhold før og etter vannoverrisling ($y=0,90$).

6.3 Riss/sprekker

6.3.1 Målsetninger

Formålet med undersøkelse av riss og sprekker i brua var å forsøke å finne svar på hvordan følgende faktorer påvirker eventuell armeringskorrosjon i riss:

- rissvidder
- overdekning
- karbonatisering
- kloridinnhold
- variabel værbelastning (le/lo effekt).

6.3.2 Registreringer og resultater

Prøvereparasjon 1994: . Det vises til /8/. På søylene ble det registrert vertikale riss. Disse ble karakterisert som åpne «døde» , dvs. at rissvidden og rissutstrekningen ikke endrer seg med tiden. Det ble også registrert horisontale og skrå riss med vinkel ca. 45° på søyle i akse 4. Skrårissene kan ha oppstått pga. torsjonsmomenter i byggeperioden. Horisontale riss kan ha oppstått på grunn av svinn, kryp og temperaturbevegelse i overbygningen. De horisontale rissene betegnes som åpne og levende, dvs. at de endrer seg med tiden pga. bevegelser i brua.

Prøvereparasjon 1995: På overbygningen var det svært lite riss. To riss ble imidlertid hugget opp for vurdering av korrosjon. Det ble ikke påvist korrosjon på armeringen i noen av rissene. Rissviddene ble målt til å være $\leq 0,2$ mm.

For å måle endring av rissvidder ble det benyttet gipslapper. Disse sto på i ca. 2 måneder. Det ble ikke registrert sprekker i gipslappene, dvs. at det ikke var endring av rissvidder så lenge målingene pågikk.

På kasseveggen ble det også boret ut kjerner i riss. Disse viste at rissene var gjennomgående i kassevegg som hadde en tykkelse på 300 mm.

Det var for få registreringer til å trekke sikre konklusjoner mhp hvilke faktorer som påvirker armeringskorrosjon i riss. Utfra de få opphugningene som ble gjort kan en ikke si at det er mer korrosjonsaktivitet i riss enn ellers på konstruksjonen.

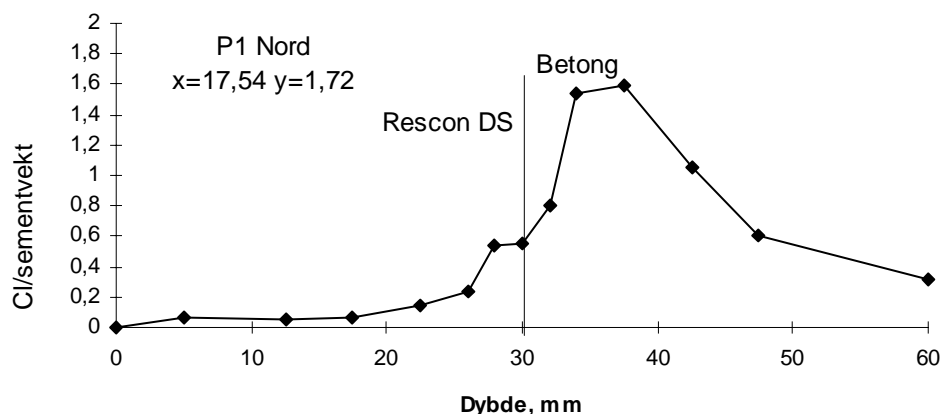
6.4 Kloridutjevning

Da kloridutjevning ikke er behandlet i egen rapport er det tatt med forholdsvis detaljert her.

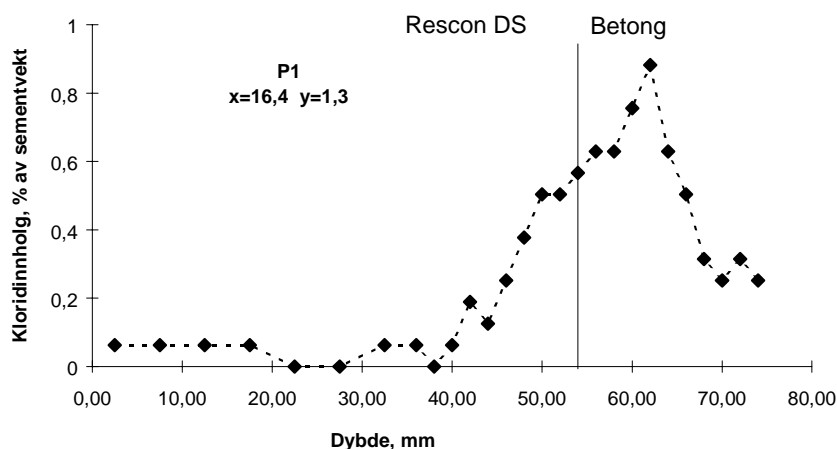
6.4.1 Kloridutjevning i mørtel, feltundersøkelser

Ved prøveparasjon 1993 ble 4 prøvelfelt på overbygningen reparert med forskjellige produkter. Utførelsen er beskrevet i kapittel 5.1.

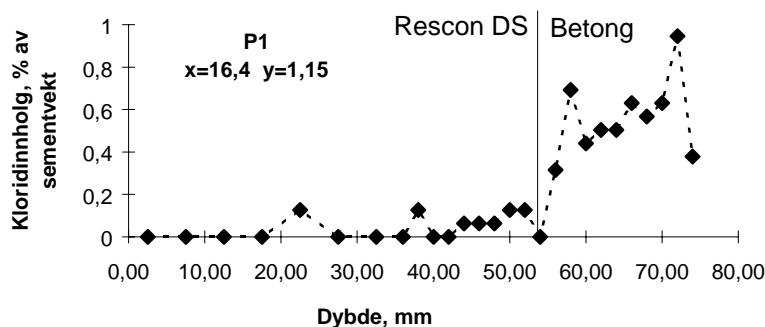
Det ble tatt ut 6 kjerner i 1995 og 2 kjerner i 1996, alle fra prøvelfelt 1. Figur 6.4.1, 6.4.2 og 6.4.3 viser eksempel på kloridutjevning fra eksisterende betong og inn i reparasjonsmørtel.



Figur 6.4.1: Eksempel på kloridutjevning i mørtel etter 2 års eksponering.



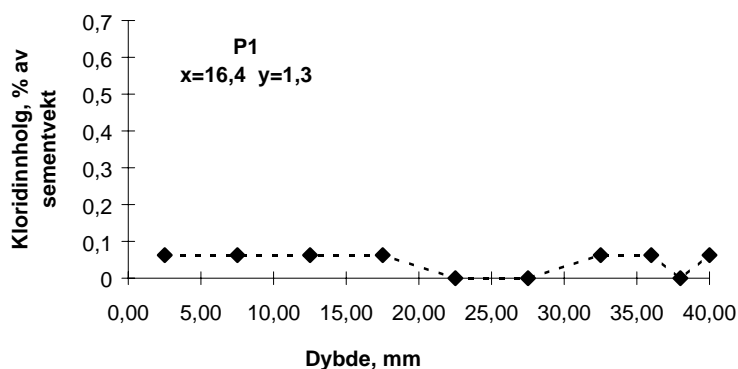
Figur 6.4.2: Eksempel på kloridutjevning i mørtel etter 3 års eksponering. (Overgangen fra mørtel til betong varierte fra 47 til 70 mm med middel på 62 mm).



6.4.3: Eksempel på kloridutjevning i mørtel etter 3 års eksponering.
(Overgangen fra mørtel til betong varierte fra 51 til 65 mm med middel på 58 mm).

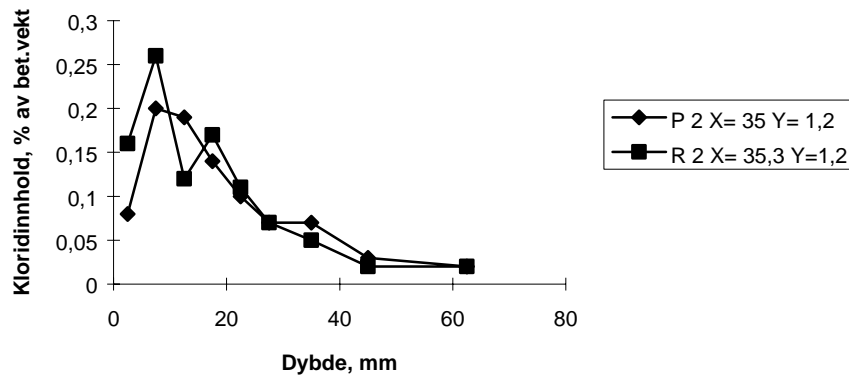
6.4.2 Kloridutjevning bak belegg, feltundersøkelse

Kjernene som ble benyttet til måling av kloridutjevning i mørtel viser at Rescon Cem-Elastic i prøvefelt 1 effektivt hindrer klorider å trenge inn, se figur 6.4.4.

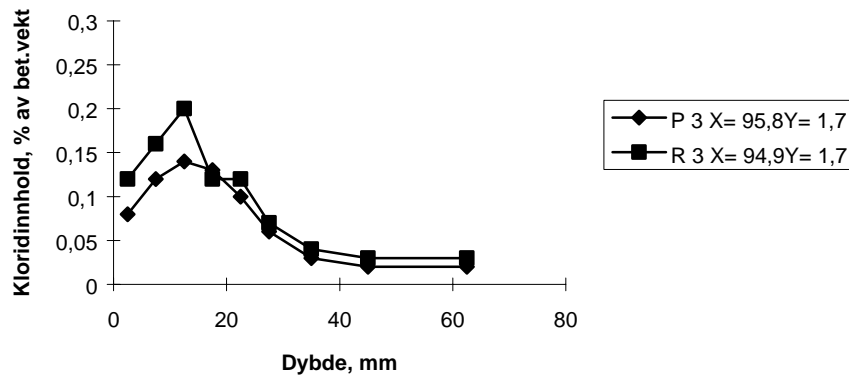


Figur 6.4.4: Kloridprofil i prøvefelt 1 etter 3 års eksponering.

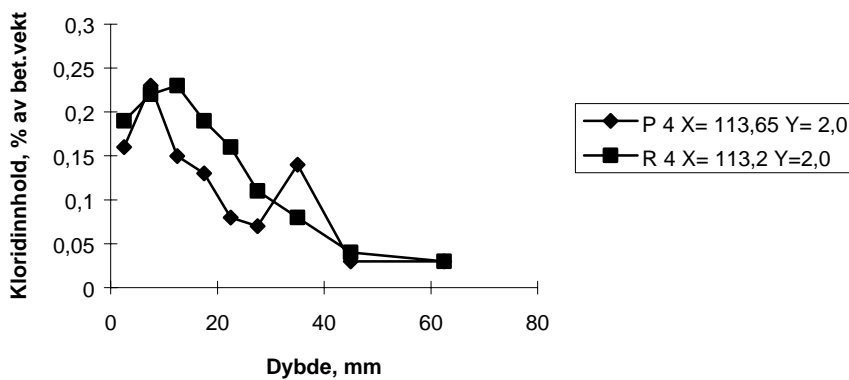
Kloridprofil er undersøkt i prøve- og referansefelt 2, 3 og 4 etter 3 års eksponering. Resultatene er vist i henholdsvis figur 6.4.5, 6.4.6 og 6.4.7.



Figur 6.4.5: Kloridprofil i prøve- og referansefelt 2 fra 1993.



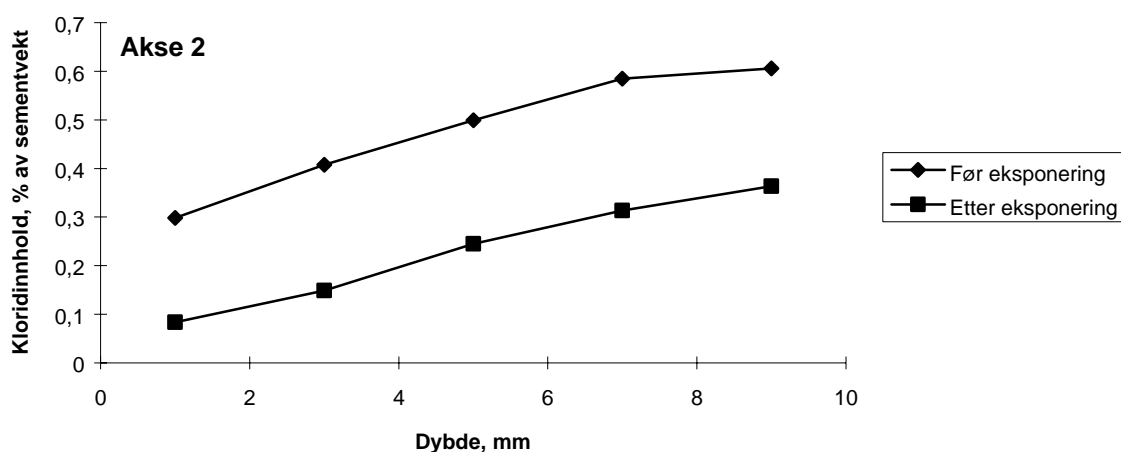
Figur 6.4.6: Kloridprofil i prøve- og referansefelt 2 fra 1993.



Figur 6.4.7: Kloridprofil i prøve- og referansefelt 4 fra 1993.

6.4.3 Laboratorieforsøk

Det ble våren 1995 tatt ut 4 kjerner fra søyle i akse 2 for å undersøke hva som skjer med kloridene bak en hydrofobert flate som utsettes for høyt damptrykk. Søyle i akse 2 ble hydrofobert med Rescon CI-brems i 1994. De fire kjernene ble behandlet med tett epoxy på sideflatene, de hadde ubehandlede endeflater. Kjernene ble eksponert med 90-95 % RF mot den hydrofoberte flaten og 40-60 % RF mot den indre delen av betongkjernen. Kjernene hadde en diameter på 100 mm og lengde på ca. 50 mm. Kloridinnholdet i de ytterste 10 mm ble bestemt før eksponering og etter eksponering i ca. 6 mnd. Resultatene er vist i figur 6.4.8 og representerer et gjennomsnitt av de 4 prøvene. Figuren viser at kloridinnholdet er betydelig redusert etter eksponeringen, men den gir ikke noen forklaring på hvorfor kloridinnholdet reduseres. En forklaring kan være at kloridene presses lengre inn i betongen. For å få svar på dette måtte en ha utført kloridanalyser i vesentlig større dybder enn 10 mm og dette ble ikke gjort.



Figur 6.4.8: Endring av kloridinnhold bak hydrofobering eksponert for høyt damptrykk.

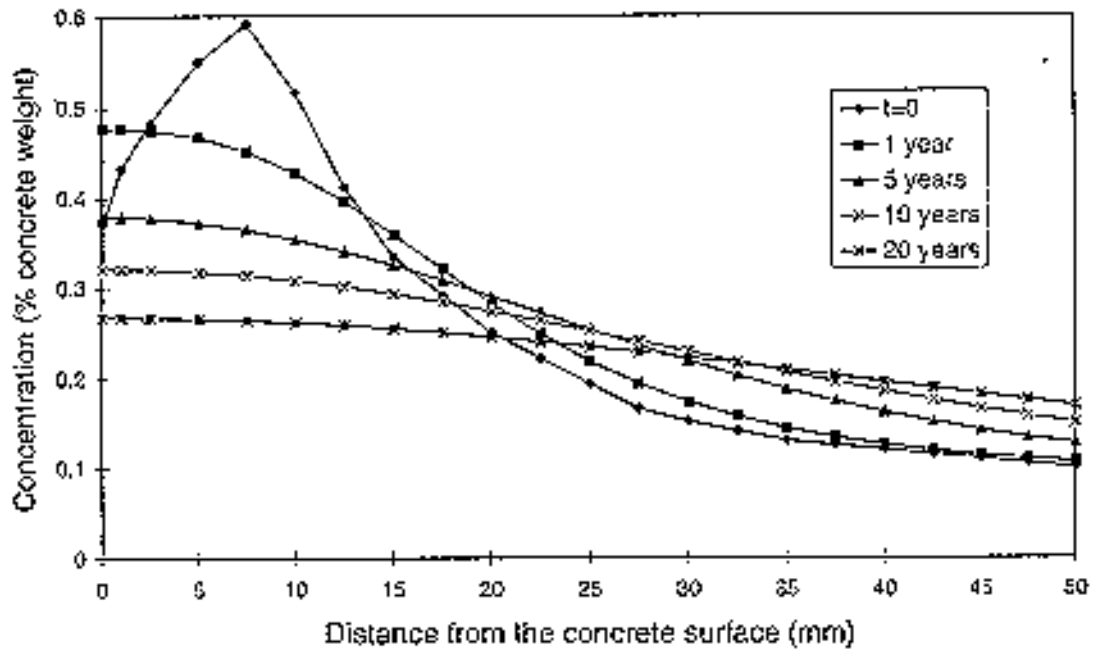
6.4.4 Teoretiske beregninger

I OFU-prosjektets regi ble det utført et studie av kloridtransport i betong ved elementmetoden. Studiet er utført ved NTNU, Institutt for Konstruksjonsteknikk, Gruppe for Betong, det vises til /31/. Rapporten konkluderer med at elementmetoden kan brukes for å forutsi sannsynlig forløp av kloridutjevning. Videreutvikling av metoden bør kombinere den teoretiske modellen med praktisk erfaring fra felt.

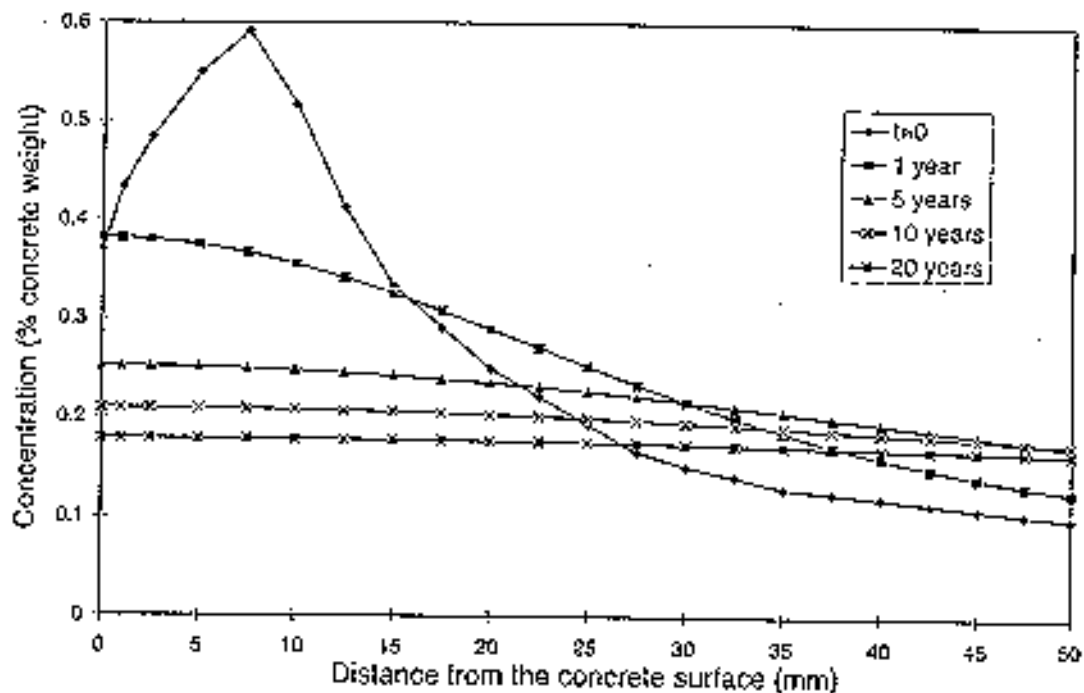
I det etterfølgende vises eksempel på beregning av kloridutjevning etter elementmetoden. Beregning ble utført for to betongkvaliteter med følgende kloriddiffusjonskoeffisienter:

- a) $D_{\text{effektiv}} = 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- b) $D_{\text{effektiv}} = 5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Figurene 6.4.9 og 6.4.10 viser kalkulert kloridutjevning av samme profil når det ikke er tilførsel av nye klorider.



Figur 6.4.9: Kloridutjevning over en periode på 20 år for betong med $D_{\text{effektiv}}=10^{-12}$.



Figur 6.4.10: Kloridutjevning over en periode på 20 år
for betong med $D_{\text{effektiv}}=5 \times 10^{-12}$.

6.5 Overflatebehandlings betydning for senere katodisk beskyttelse

6.5.1 Bakgrunn

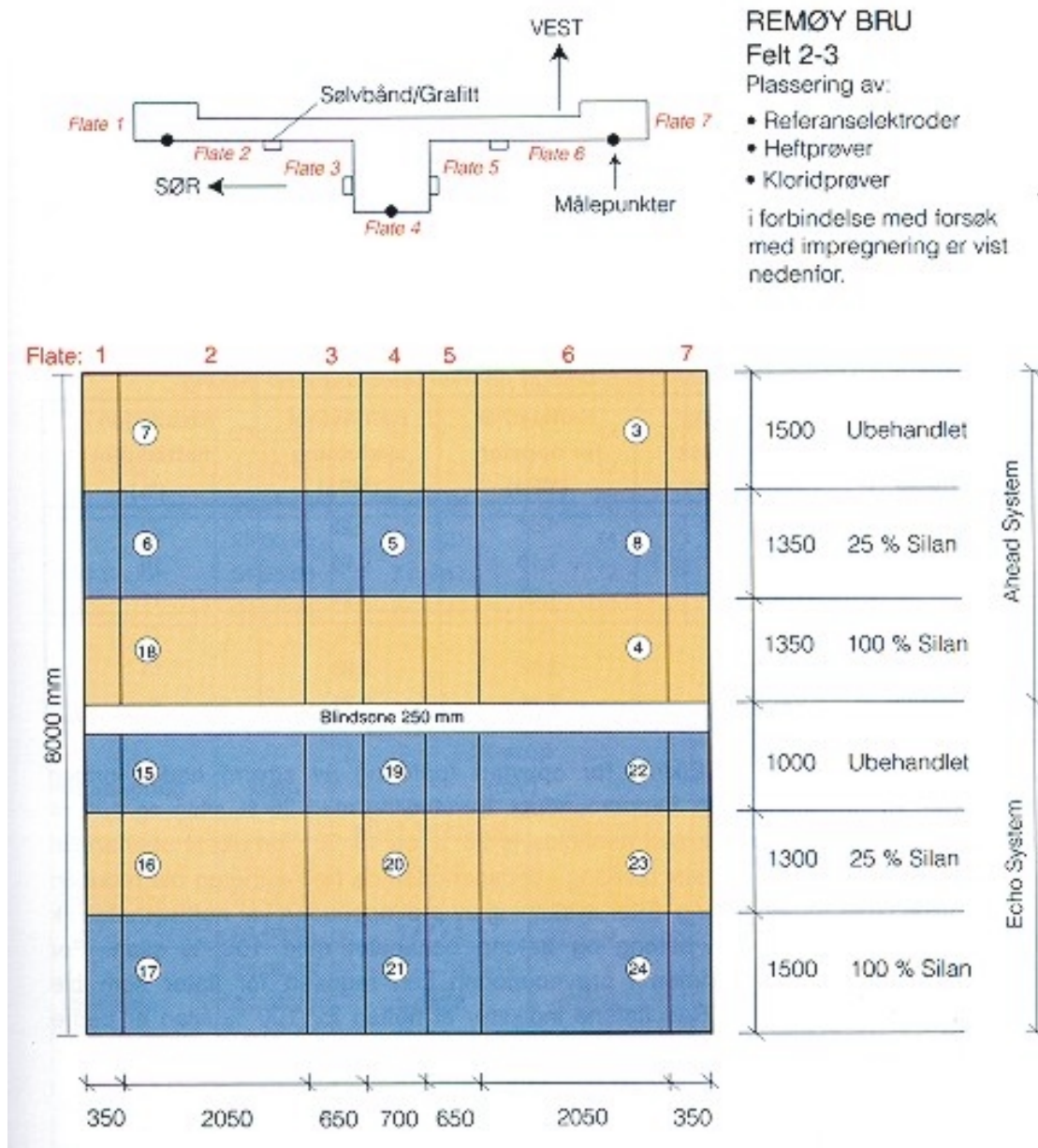
I løpet av prosjektperioden ble det flere ganger reist spørsmål om de aktuelle overflatebehandlingene kunne ha vesentlig betydning for heft og funksjon til katodisk beskyttelse med ledende belegg, dersom en senere måtte benytte dette.

For overflatebelegg ble det forutsatt at en fullstendig fjerning med sandblåsing eller sandvasking ville være tilstrekkelig både for heft og funksjon. Når det gjaldt hydrofobering, hvor inntrengningsdybden kan være inntil ca. 5 mm, var det stor usikkerhet til om sandblåsing/sandvasking ville være tilstrekkelig.

For å belyse dette nærmere ble det utført et feltforsøk på Remøy bru i Møre og Romsdal, det vises til /25/. Et sammendrag av forsøket er tatt med her.

6.5.2 Utførelse

Det ble etablert et prøvelfelt på brua som ble delt opp i 6 områder, se figur 6.5.1. Det ble benyttet to forskjellige typer hydrofoberingmidler, det ene med 25 % silan og det andre med 100 % silan. Før behandling ble betongoverflatene sandblåst.



Figur 6.5.1: Remøy bru, Møre og Romsdal.
 Tverrsnitt av brua og utbretting av prøvelfelt på overbygningen.

Prøvefeltet sto i 3 måneder før det ble påført katodisk belegg. Samtlige flater ble da sandblåst for å prøve og fjerne det ytterste laget av hydrofoberingen.

Det ble benyttet 2 typer katodisk belegg:

1. **Elkinet - AHEAD:** Består av ledende primer som inneholder polymer og grafitt. Beskyttes med et forholdsvis tett belegg.
2. **Ekoporconduct:** Epoxybasert maling som inneholder grafitt.

6.5.3 Resultater

Heftfasthet

Det ble tatt 16 heftprøver på begge beleggene før påsetting av strøm og 16 heftprøver etter at prøveperioden var avsluttet. Resultatene av disse prøvene er vist i tabell 6.5.1. Det understrekes at prøvegrunlaget er lite og derfor ikke kan sies å være representativt for de ulike systemene.

Tabell 6.5.1: Heftfasthet for katodiske belegg på overflatebehandlet betong.

Type katodisk beskyttelse	Behandling før katodisk beskyttelse	Heftfasthet før oppstart (MPa)	Heftfasthet avslutning (MPa)	Reduksjon i heftfasthet (%)
Elkinet AHEAD	Ubehandlet	1,57	1,22	22
	25 % silan	1,13	0,91	19
	100 % silan	1,37	1,22	11
Ekoporconduct	Ubehandlet	> 3	> 3	0
	25 % silan	2,32	2,03	13
	100 % silan	2,71	2,71	0

Av tabell 6.5.1 ser en at Elkinet før oppstart (påføring av strøm) hadde omlag halvparten av heftfastheten til Ekoporconduct. Behandling med 25 % silan og 100 % silan reduserte heftfastheten med henholdsvis 28 % og 13 % i forhold til ubehandlet betong. Det var også en negativ utvikling i driftsperioden da heftfastheten ble redusert for samtlige typer forbehandling. Etter avslutning av prøveperioden var heftfastheten lik for henholdsvis ubehandlet betong og betong behandlet med 100 % silan. For Ekoporconduct ble heftfastheten i prøveperioden kun redusert for flater som ble behandlet med 25 % silan. Resultatene indikerer at heften for 100 % silan er bedre enn for 25% silan.

Spenning

For Elkinet AHEAD ble det i hele prøveperioden brukt en spenning på 1,8 V. Dette systemet viste seg å være mer strømledende enn Ekoporconduct hvor spenningen lå på ca. 8 V.

Polarisasjon

På begge typer belegg ga forbehandlingene utslag på polarisasjonsverdiene. Ubehandlede områder hadde de høyeste verdiene og områder som var behandlet med 100 % silan de laveste verdiene.

IR-drop og Depolarisasjon

Det ble foretatt 3 fulle depolarisasjonsprøver. Avlesning av depolarisasjon ble gjort på innstøpte grafitt elektroder av typen Rover, se figur 6.5.1. Resultatene er vist i tabellene 6.5.2 og 6.5.3. IR-dropene ligger jevnt over noe høyere for Elkinet AHEAD fordi dette leder mer strøm enn Ekoporconduct. Det er imidlertid liten variasjon av IR-drop for de ulike forbehandlingstypene.

Tabell 6.5.2: Elkinet-AHEAD: IR-drop og depolarisasjon.

Behandling	Dato	IR-drop (mV)		24 timers depolarisasjon (mV)	
		sør/uk. bjelke/nord	Gjennomsnitt	sør/uk. bjelke/nord	Gjennomsnitt
Ubehandlet	28.05.96	30 / - / 7	19	537/ - / 174	356
	31.05.96	24 / - / 7	16	412/ - / 167	280
	04.06.96	24 / - / 7	28	459/ - / 170	315
25 % silan	28.05.96	10 / 17 / 26	18	264/ 105 / 95	155
	31.05.96	6 / 9 / 21	12	229/ 77 / 66	124
	04.06.96	6 / 8 / 21	12	257/ 89 / 73	140
100 % silan	28.05.96	7 / - / 21	14	106/ - / 101	104
	31.05.96	7 / - / 17	12	86/ - / 76	81
	04.06.96	7 / - / 17	12	98/ - / 85	92

Tabell 6.5.3: Ekoporconduct: IR-drop og depolarisasjon.

Behandling	Dato	IR-drop (mV)		24 timers depolarisasjon (mV)	
		sør/uk. bjelke/nord	Gjennomsnitt	sør/uk. bjelke/nord	Gjennomsnitt
Ubehandlet	28.05.96	0 / 4 / 3	2	70/ 71 / 167	103
	31.05.96	1 / 7 / 1	3	133/ 64 / 108	102
	04.06.96	1 / 7 / 1	3	186/ 72 / 128	129
25 % silan	28.05.96	4 / 4 / 4	4	56/ 40 / 135	77
	31.05.96	3 / 4 / 8	5	127/ 35 / 101	88
	04.06.96	3 / 4 / 8	5	183/ 38 / 117	113
100 % silan	28.05.96	2 / 4 / 2	3	57/ 78 / 147	94
	31.05.96	2 / 2 / 1	2	76/ 67 / 91	78
	04.06.96	2 / 2 / 1	2	91/ 75 / 109	92

Det vanligste kravet til depolarisasjon er 100 mV i løpet av 24 timer. For ubehandlet betong var det ikke noe problem å oppnå dette ved bruk av Elkinet AHEAD. Stort sett ble kravet også oppfylt for 25 % silan, men det var litt lavt for 100 % silan. Det var

lettest å oppnå depolarisasjonskriteriene på sørsiden som er mest utsatt for regn. For Elkinet AHEAD er det store forskjeller i depolarisasjon for henholdsvis ubehandlet og behandlet betong.

For Ekoporconduct ble kravet oppfylt for alle forbehandlingene med unntak av underkant bjelke. I underkant av bjelken er det vanskelig å skille mellom de forskjellige behandlingene. Depolarisasjonsverdiene er vesentlig lavere for Ekoporconduct enn for Elkinet AHEAD. Det er liten forskjell i depolarisasjon for ubehandlet og behandlet betong når det gjelder Ekoporconduct.

6.5.4 Konklusjon

Man trodde i utgangspunktet at hydrofobering med silaner ville virke svært negativt inn på katodisk beskyttelse med ledende belegg da silan reduserer ledningsevnen.

Det viste seg at med skikkelig sandblåsing før påføring av katodisk belegg, er det mulig å oppnå katodisk beskyttelse i områder som har vært hydrofobert, såfremt de har nok fukt. Det må imidlertid understrekes at forsøket er av begrenset omfang.

Det må også påpekes at hydrofoberingen bare ga negative egenskaper i forhold til katodisk beskyttelse. Blant annet ser det ut til at heftegenskaper og strømgjennomgang blir redusert.

Hydrofobering påvirket de to systemene på forskjellig måte. Blant annet ble depolarisasjonsverdiene for Elkinet AHEAD påvirket vesentlig mer enn for Ekoporconduct.

Det må derfor stilles følgende krav til katodiske beskyttelse med ledende belegg som skal påføres tidligere hydrofoberte flater:

- Belegget må ha nok kapasitet til å ivareta den økte motstanden
- Belegget må ha gode heftegenskaper i forhold til hydrofobert betong.

7. Produkt og metodeutvikling

7.1 Generelt

7.1.1 Faser i produktutvikling

Aktivitetene for utvikling av produkter kan deles i 6 faser. Et produkt går som regel gjennom disse fasene flere ganger inntil det blir funnet tilfredsstillende i alle faser. Det kan derfor være betydelig overlapping mellom de forskjellige fasene. Fasene i produktutviklingen er:

I Kravspesifisering

Aktiviteten i denne fasen består i å definere kravspesifikasjonene til et produkt i brusammenheng. Det må foretas en avveining av hva som skal kreves i forhold til hva som er praktisk, økonomisk og teknologisk akseptabelt.

II Kontakt med råvareleverandør

Neste fase er å ta kontakt med ledende råvareleverandører for å finne de råvarene som best egner seg for å oppnå de spesifiserte kravene. Råvare-leverandørene sitter inne med mye kunnskap som kan komme til nytte i kjemisk mixdesign og hvordan tilsvarende problemer løses andre steder i Europa.

III Idéutvikling og reseptplanlegging.

Eksisterende resepter går gjennom. Eksisterende produkter forbedres, og nye produkter planlegges. Retningsresepter fra internasjonale råvareleverandører gjennomgås og egne resepter settes opp med tilgjengelige råmaterialer. Et produkt kan bestå av opp til 12 - 13 delmaterialer, og det er derfor svært mange variasjonsmuligheter i reseptoppbyggingen.

IV Laboratoriearbeid

Produktene lages etter resonnement fra fase III. Det er kontinuerlig kontakt med råvareleverandører. Brukervennligheten av produktene vurderes.

V Testing av egenskaper i laboratoriet

Grunnleggende materialegenskaper testes i egne laboratorier på forskjellige måter alt etter produkttype.

VI Praktisk prøving i felt

- Vurdering av praktisk påføring utført av håndverker
- Fysikalske prøver i felt, f. eks. heftmålinger
- Større prøveparasjoner av aktuelle skader
- Tilbakemelding for eventuell endring av resepter.

7.1.2 Produktutvikling som følge av prøvereparasjonene

I OFU-prosjektet var det unike muligheter til å prøve ut produktene under realistiske forhold i felt. En kunne nøye vurdere praktisk applikasjons-problematikk og dokumentere arbeidene. Ved utvikling av nye produkter og videreutvikling av eksisterende produkter ble det lagt stor vekt på praktisk anvendbare og robuste materialer og løsninger.

En viktig detalj for overflatebehandlingen er betongoverflatens renhet og fukt. Renhet kan vi gjøre noe med, men fukten er vanskelig å styre. Materialene må være robuste med tanke på det klimaet konstruksjonen befinner seg i.

Fra å utføre prøvereparasjon 1993 med daværende produkter har det i prosjektperioden vært en utvikling av både materialer og utførelse som forhåpentligvis vil gi gode resultater med økt levetid for betongkonstruksjoner i værharde kyststrøk.

7.1.3 Produkter fra prosjektet

Tabell 7.1.1 viser hvilke produkter Rescon har utviklet, videreutviklet eller hvilke som er såkalte spin off-produkter fra prosjektet.

Nyutviklede produkter

I prosjektet kom det frem kunnskap som gjorde det nødvendig å utvikle nye produkter. Eksempel på dette er utvikling av reparasjonsmørtel med lite svinn. Visuelle observasjoner av riss i reparasjonsmørtler førte til en metodeutvikling med tanke på meisling av sår samt at det ble fokusert på mørtelens svinneegenskaper. Rescon arbeidet aktivt med svinnproblematikken og ved hjelp av spesielle sementkombinasjoner ble svinnet i reparasjonsmørtlene redusert 30-40 %. Rescon leverer nå Redirep-systemet med vanlig sementkombinasjon med normalt svinn og Redirep RSF med spesialsement og svinnkompenserende tilsetningsstoffer.

Et annet eksempel er utvikling av nye hydrofoberingsmaterialer. Ved undersøkelser av hydrofoberingen som ble utført på Gimsøystraumen bru i 1993, ble det observert meget liten inntrengningsdybde. Betongen var svært fuktig, og tradisjonell hydrofobering trenger dårlig inn i fuktig betong. Rescon arbeidet aktivt internasjonalt og prøvde ut nye kombinasjoner av hydrofoberingsmidler i felt som på laboratoriet ga bedre inntrengning i fuktig betong.

Videreutviklede produkter

Også produkter som var i salg hos Rescon da OFU-prosjektet startet ble forbedret gjennom prosjektet. Et eksempel kan være Rescon Protect Lasur som har blitt et "bedre" produkt på grunn av bruk av råstoffer som har bedre egenskaper enn de opprinnelige.

Tabell 7.1.1: Produkter som ble utviklet, videreutviklet eller "spin off-produkter".

Produkt	Ny- utviklet	Videre- utviklet	Spin-off
Overflatebehandling			
Rescon Redisan Betong maling		x	
Rescon CO ₂ - brems		x	
Protect Lasur		x	
Rescon Cem-Elastic	x		
Rescon Silimp H ₂ O	x		
Rescon Silimp 100	x		
Rescon CI-brems		x	
Rescon Silikatmaling	x		
Rescon Siliprimer	x		
Rescon Elastic		x	
Rescon Epoxy Cem-L	x		
Rescon Epoxy Cem-S	x		
Rescon Epoxy I		x	
Rescon Epoxy V-50 klar		x	
Rescon Epoxy SL-3		x	
Rescon Epoxy KB klar	x		
Rescon Epoxy SRG grønn		x	
Rescon Epoxy BI-R		x	
Rescon Epoxy C		x	
Rescon Epoxy S		x	
Rescon Epoxy Silovern		x	
Rescon Beta R Epoxy - kantforsegl.-epoxy			x
Rescon Beta R Epoxy Primer			x
Rescon Epoflex		x	
Rescon Resflex		x	
Rescon Resflex 400 Grå	x		
Rescon VR 10 membran			x
Rescon Fuktsperre			x
Rescon CP Primer		x	
Rescon BS-primer			x
Rescon Primer E-10	x		
Tilsetningsstoff			
Rescon Superflow 400 N	x		
Rescon Superflow 500	x		
Rescon Superflow 700	x		
Rescon HP-SF		x	
Rescon I-Cur	x		
Rescon Sprut NA 43	x		
Rescon Sprut LA-OS	x		
Rescon Sprut AF-OS	x		
Rescon Easypump	x		

Tabell 7.1.1 fortsetter.

Produkt	Ny- utviklet	Videre- utviklet	Spin-off
Membranherdner			
Rescon Cur-1		x	
Rescon Concur	x		
Rescon Cur-AF	x		
Rescon Cur-F	x		
Rescon Cur-Imp		x	
Rescon Cur-CI		x	
Rescon MH	x		
Mørtel			
Rescon DS		x	
Rescon DS m/fiber		x	
Rescon DS-RSF	x		
Rescon DS-KB	x		
Rescon Redirep 25		x	
Rescon Redirep 25 RSF	x		
Rescon Redirep 45		x	
Rescon Redirep 45 RSF	x		
Rescon Redirep 75		x	
Rescon Redisparkel		x	
Rescon Redisit		x	
Rescon Zinkbolt	x		
Rescon Rørmørtel			x
Rescon Nonset 50			x
Rescon Nonset 50 FF			x
Rescon Nonset 120			x
Rescon Nonset 120 FF			x
Rescon Nonset 400			x
Rescon Nonset 400 FF			x
Rescon Nonset 400/75			x
Rescon Conplan R			x
Rescon Conplan VR			x
Rescon Conplan BS			x
Rescon Conplan FS			x

Et annet eksempel kan være videreutvikling av alle epoxyvariantene. Rescon Epoxy C er en tett epoxy som til daglig benyttes på betong og stål i forbindelse med renseanlegg, oljetanker osv. Epoxy C og mange av de andre epoxyene er bearbeidet med tanke på HMS. Det er arbeidet med å finne nye råvarer som er mer helsevennlige, men samtidig gode nok.

Spin off-produkter

Spin off-produkter er produkter som er utviklet eller videreutviklet på grunn av den kompetansen Rescon har skaffet seg i prosjektet, men som ikke inngår i prosjektet.

Et eksempel kan være Rescon Conplan FS som er en selvutjevne avrettingsmasse. Avrettingsmasser har spesielle krav til svinn og tidligfastheter. Teknologien fra bruk av svinnkompenserte systemer er benyttet for å oppnå ønskede resultater på avrettingsmassen.

7.1.4 Helse, Miljø og Sikkerhet i produktutvikling

I løpet av prosjektperioden ble Rescon AS sertifisert av EMAS. EMAS er en forkortelse for Eco Management and Audit Scheme, eller oversatt til norsk miljøstyrings- og miljørevisjonsordning. Rescon ønsker ikke å utvikle, produsere og selge produkter som kan forurense ytre miljø og/eller påføre skadevirkninger på mennesker. Rescon søker kontinuerlig mer miljøvennlige løsninger.

Konkret fra prosjektet kan det nevnes at det er funnet og byttet til mer miljøvennlige herdere i mange epoksyvarianter. Det har blitt utviklet nye alkaliefrie akselleratorer.

Det er arbeidet aktivt innenfor alle maling og belegg for å unngå bruk av løsemiddel. Kun de mest miljøvennlige råvarene benyttes.

7.2 Håndmørtel

7.2.1 Reseptbearbeiding

I prosjektet ble det foretatt en nyutvikling og videreutvikling av Rescon's eksisterende håndmørtler. Det er lagt ned mye arbeid i reseptoptimalisering med variasjon i sement- og latekstyper, samt tilsetningsstoffer med variasjon i egenskaper. Utprøving har foregått på Rescon senteret i Nord-Odal, og det har vært nødvendig med besøk hos ulike europeiske råvareleverandører. Målet har vært å lage produkter som tilfredsstillt kravene beskrevet i /21/.

Håndmørtel krever at det brukes korrosjonsbeskyttelse på armeringen og heftbru. Disse er videreutviklet i prosjektet.

7.2.2 Utprøving i laboratorium og felt

Ved utvikling av nye produkter er det viktig med utprøving under realistiske forhold. Håndmørtlene er testet på Rescon's laboratorium under ulike klimaforhold. De er også utprøvd av ulike entreprenører. Tilbakemeldingen fra disse har ført til optimalisering av produktene.

Håndmørtling (med 45 MPa kvalitet) ble utprøvd på Gimsøystraumen bru, men kun i små felt, da det av tekniske og økonomiske årsaker i hovedsak ble valgt tørrsprøyting. Det ble kun benyttet heftbru og korrosjonsbeskyttelse av sement latexbasert type.

7.2.3 Produkter og dokumentasjonsplan fra prosjektet

Tabell 7.2.1 Dokumentasjon av produkter for håndmørtling.

Egenskap	Testmetode	Heftbru	Reparasjonsmørtel					Pore- sparkel
		Redisit	Redi- rep-25	Redi- rep-25 RSF	Redi- rep-45	Redi- rep-45 RSF	Redi- rep-75	Redi- sparkel
Trykk-/bøye- strekkfasthet	NS-EN 196-1							
E-modul	NS 3676							
Klorid- inntrengning	Saltkammer KS 70116							
Fritt svinn før 24 t	SINTEF pros.							
Fritt svinn 1-28 dg med svelling	DIN 52450							
Termisk utvidelse	TP-BC-PCC pkt. 5.10							
Ekspanderende reaksjoner	DGB og NB publ. 21							
	Utviklet i prosjektet							
Frostbestandighet	SS 13 72 44							
Vanndampdiff.	NT Build 369							
Elektrisk motst.	SINTEF pros.							
pH i porevann	SINTEF pros.							

Skraverte ruter: Det stilles krav

I tabell 7.2.1 er det gjengitt hvilke egenskaper som må dokumenteres for heftbruer, håndmørtler og poresparkler samt hvilke testmetoder som skal benyttes i dokumentasjonen. Dokumentasjonskravene er gjengitt og diskutert i /29/. Alle mørtlene kan leveres med korrosjonsinhibitor. Arbeidsbeskrivelse (metodebeskrivelse) for reparasjon med håndmørtel er utarbeidet, se /30/.

7.3 Sprøytemørtel

7.3.1 Reseptbearbeiding

I prosjektet ble det foretatt både en nyutvikling og en videreutvikling av Rescon's eksisterende sprøytemørtler. Det er lagt ned mye arbeid i reseptoptimalisering med utprøving av ulike sementkombinasjoner og tilsetningsstoffer med forskjellige egenskaper.

Arbeidet med utprøving har foregått på Rescon senteret i Nord-Odal, men det har vært nødvendig med flere besøk hos ulike råvareleverandører. Målet har vært å lage produkter som tilfredsstillende krav beskrevet i rapport /21/.

7.3.2 Utprøving i laboratorium og felt

Sprøytemørtlene er ikke enkle å teste ut i et laboratorium, derfor har det blitt benyttet mye ressurser til utprøving i felt.

På laboratoriet ble det laget egne prøvemethoder som skulle simulere felt. En kan f.eks. ikke støpe ut en tørrsprøytemørtel for hånd med samme v/c-tall som en som er sprøytet. Den blir da blir for stiv til å kunne støpes ut.

Ut fra de erfaringene som ble hentet fra prøveparasjon 1993 var en i det videre utviklingsarbeidet spesielt opptatt av å redusere tidligsvinnet.

Tidligsvinnet er sannsynligvis en av de største årsakene til opprissing.

De rent brukstekniske egenskapene som prelltap og støving var også egenskaper som ble prioritert.

7.3.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet

I tabell 7.3.1 er det gjengitt hvilke egenskaper som må dokumenteres for sprøytemørtler og hvilke testmetoder som skal benyttes i dokumentasjonen. Dokumentasjonskravene er gjengitt og diskutert i /29/.

Alle mørtlene kan leveres med korrosjonsinhibitor.

Arbeidsbeskrivelse (metodebeskrivelse) for reparasjon med håndmørtel ble utarbeidet og er gjengitt i rapport /30/.

Tabell 7.3.1 Dokumentasjon av produkter for tørrsprøyting.

Egenskap	Testmetode	Tørrsprøytemørtel		
		DS	DS-RSF	DS-KB
Trykk/bøye-strekkfasthet	NS-EN 196-1			
E-modul	NS 3676			
Kloridinntrengning	Saltkammer KS 70 116			
Termisk utvidelse	TP-BC-PCC pkt. 5.10			
Frostbestandighet	SS 13 72 44			
Vanndampdiffusjon	NT build 369			
Elektrisk motstand	SINTEF prosedyre			
pH i porevann	SINTEF prosedyre			

Skraverte ruter: Det stilles krav

7.4 Korrosjonsinhibitorer

7.4.1 Reseptbearbeiding

Rescon AS har testet de mest kjente inhibitorene på markedet, samt spesielle superplastiserende tilsetningsstoff som kjemisk sett kan ha en mulig korrosjonshindrende effekt. Det er flere tilgjengelige kjemikalier som man vet har korrosjonshindrende effekt på stål. Disse er testet på stål innstøpt i sementmørtel.

7.4.2 Utprøving på laboratorium og i felt

Inhibitorene ble testet på små betongprismer i laboratoriet. Inhibitorens effekt på betongens egenskaper i fersk tilstand og opp til 28 døgn ble også testet. Laboratorieforsøkene pågikk i ca. 2 år.

Utprøving i felt foregikk i hovedsak på Gimsøystraumen bru, men også på Stokksund bru. Det ble benyttet inhibitorer påført direkte på betong-overflatene og inhibitorer innblandet i mørtel og overflatebelegg.

Det er foreløpig for tidlige å trekke konklusjoner fra feltforsøkene, men de har så langt ikke vist noen negativ effekt.

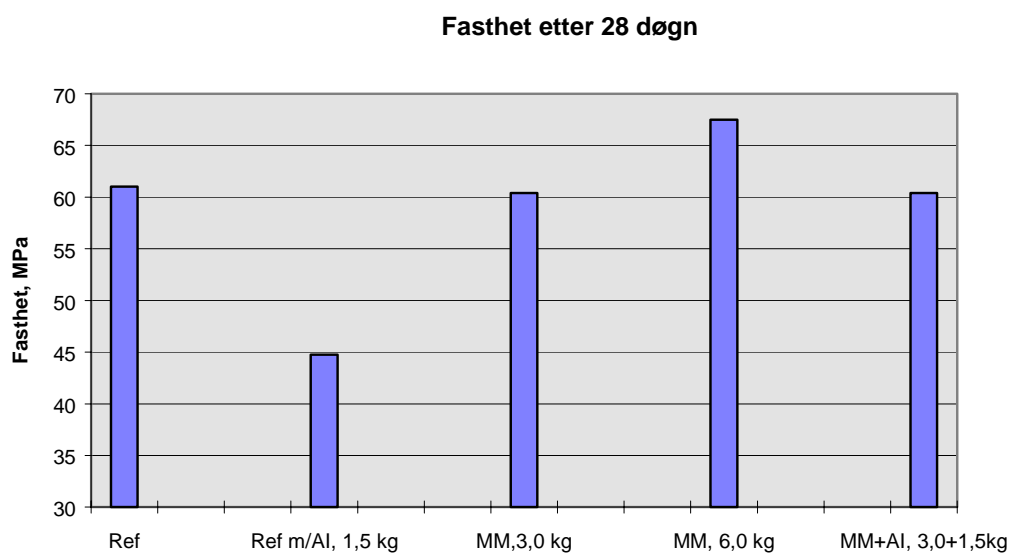
7.4.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet

Det ble i prosjektet utviklet en inhibitor, Rescon GFI-1 for mørtel og betong. I tillegg ble flere eksisterende inhibitorer testet. Det finnes i dag ingen kjente krav til dokumentasjon av inhibitorer. Egne forsøk viser interessante resultater med tanke på korrosjonshindrende effekter, det vises til figurene 7.4.1 - 7.4.8.

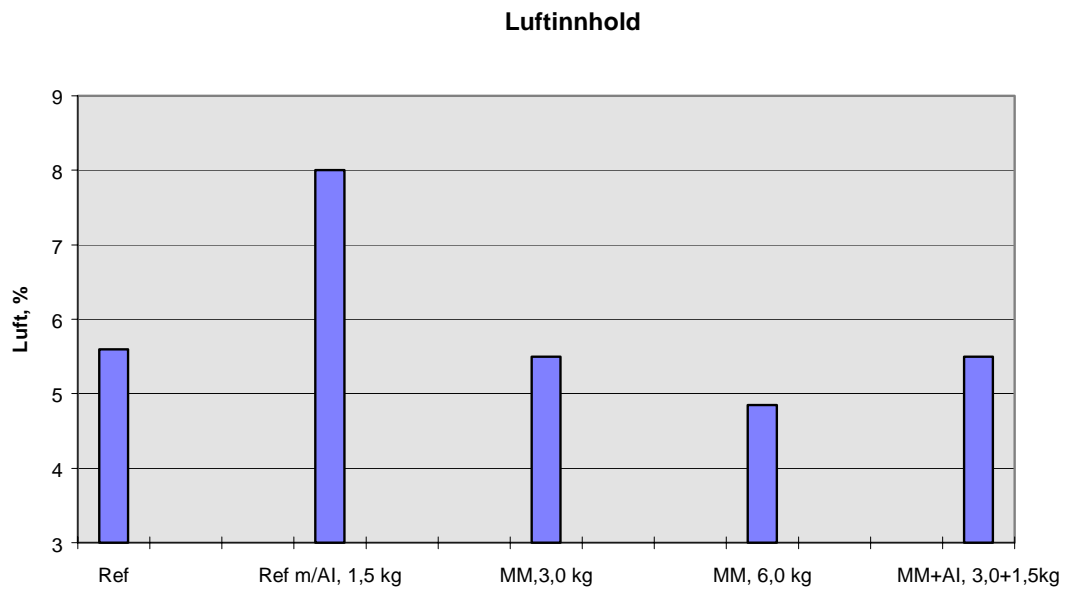
Spesielt interessant er resultatene med superplastiserende stoffer som Rescon HP-SF. Rescon HP-SF viser, ved siden av sin svinnreducerende egenskap, også noen av de mest interessante korrosjonshindrende resultater.

I figurene 7.4.1-7.4.8 er det benyttet følgende forkortelser:

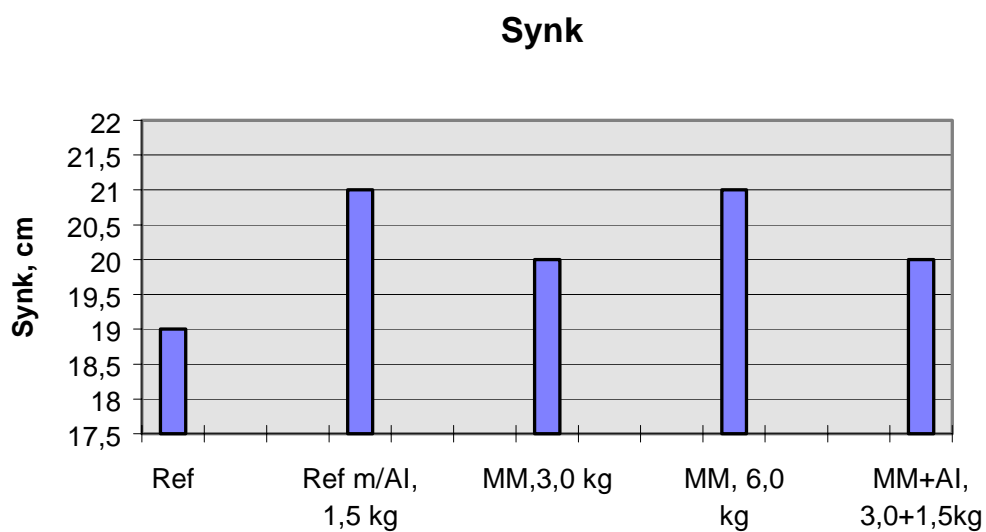
- Ref = Referansebetong
- MM = Modifisert melamin, Rescon HP-SF
- AI = Ambiotisk Inhibitor, Rescon GFI-1



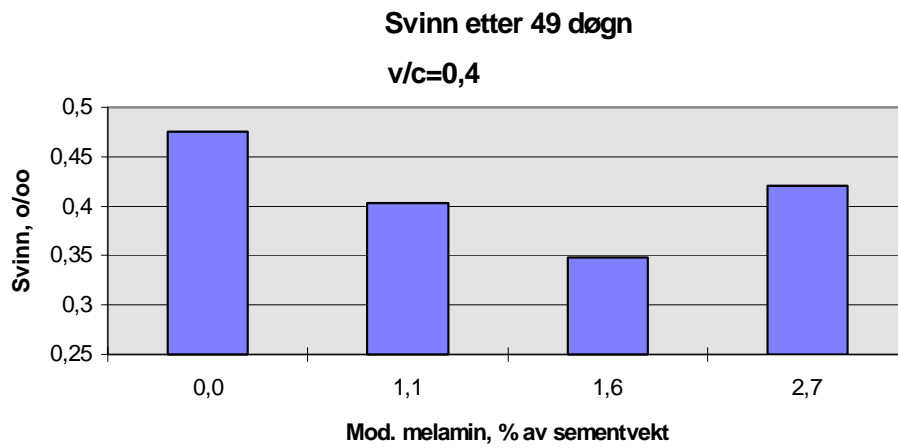
Figur 7.4.1: Betongfasthet med og uten inhibitor.



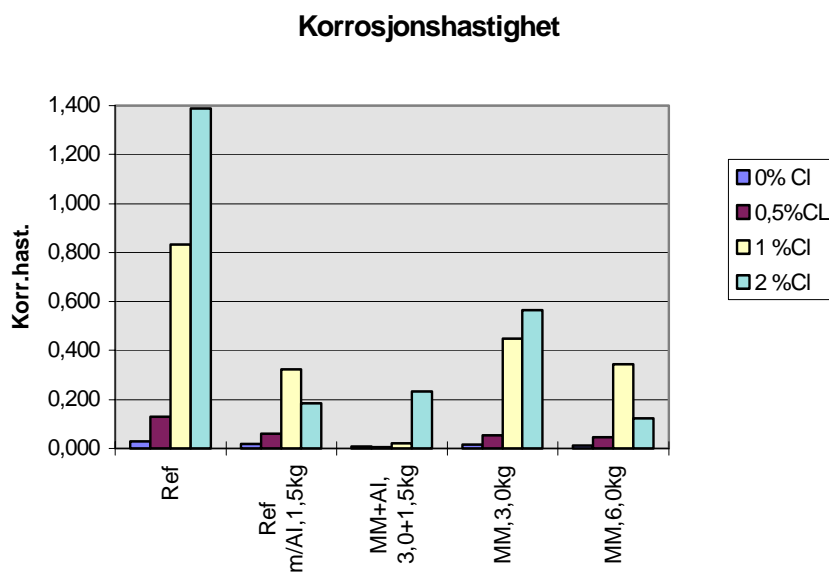
Figur 7.4.2: Luftinnhold i betong med og uten inhibitor.



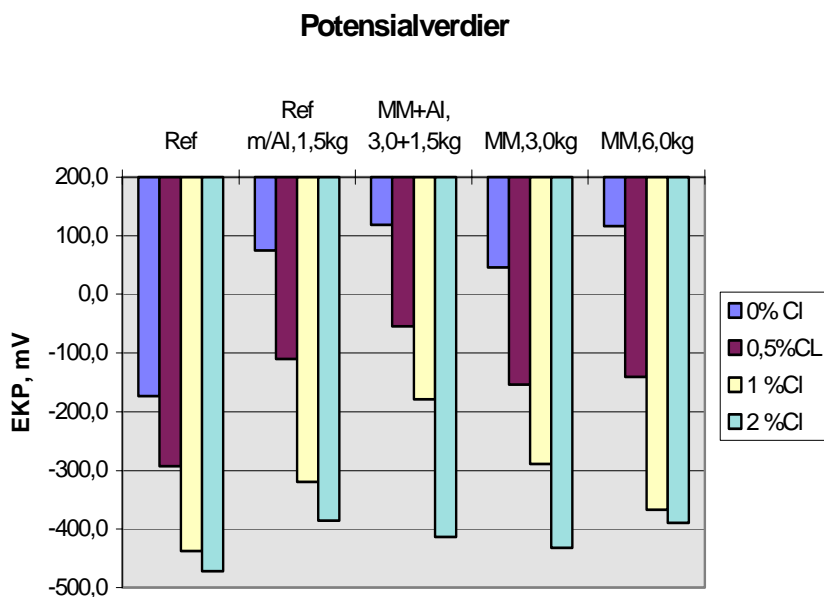
Figur 7.4.3: Synk på betong med og uten inhibitor.



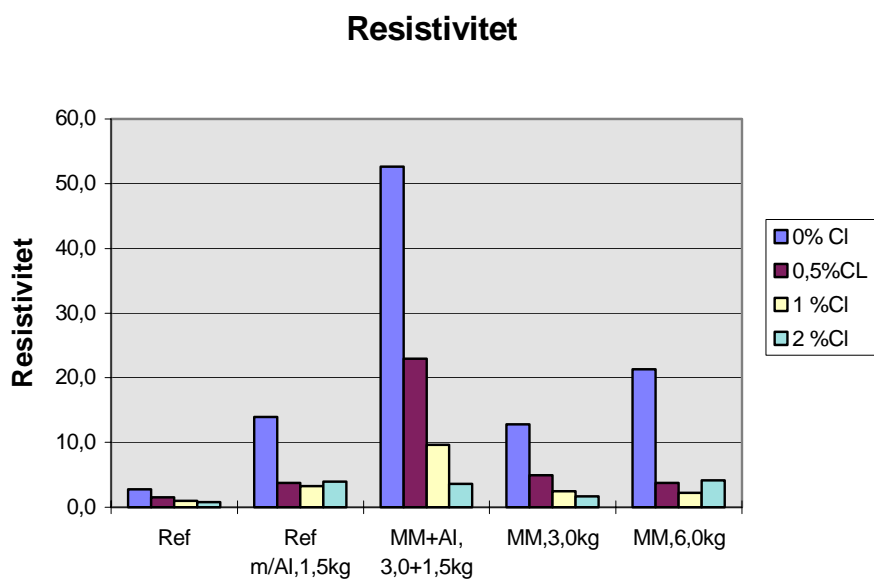
Figur 7.4.4: Svinn målt på betong med og uten Rescon HP-SF.



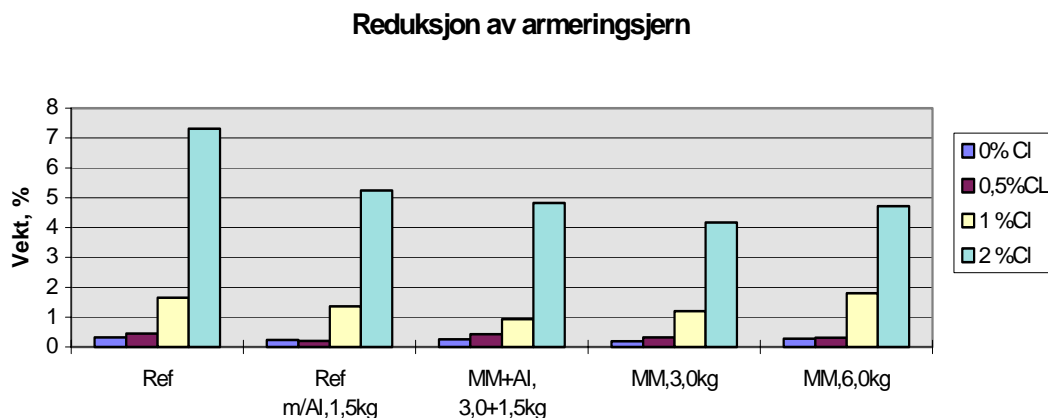
Figur 7.4.5: Korrosjonshastighet målt på betong med og uten inhibitor.



Figur 7.4.6: *Potensialverdier målt etter 95 uker på betong med og uten inhibitor og med forskjellige kloridinnhold.*



Figur 7.4.7: *Resistivitet målt etter 95 uker på betong med og uten inhibitor og varierende kloridinnhold.*



Figur 7.4.8: Vekttap målt på armeringsjern etter 95 uker i betong med forskjellige inhibitorer og kloridinnhold.

7.5 Hydrofobereende impregnering

7.5.1 Reseptbearbeiding

Ved starten av prosjektet hadde Rescon AS et velkjent og relativt anerkjent produkt for hydrofobering av betong, Rescon CI-brems. Rescon CI-brems er godkjent av Statens vegvesen og benyttet på mange titalls tusen kvadratmeter. Erfaringer fra prøveparasjonene på Gimsøystraumen bru ga Rescon idéer om produktforbedringer. Reseptoptimalisering ble foretatt i samarbeid med råvareleverandør, prøving i laboratoriet og ved forsøk i felt.

Inntrengningsdybde ble ansett som den viktigste faktoren for vurdering av hydrofoberingens effekt og levetid.

7.5.2 Utprøving i laboratorium og felt

Mange ulike resepter på hydrofoberingmaterialer, silaner/siloxaner med og uten løsemidler ble testet i laboratorium og felt. I laboratoriet ble materialene testet under ulike fuktforhold for å simulere forholdene i felt.

Det ble gjennomført flere store feltforsøk på Gimsøystraumen bru. Feltforsøkene er beskrevet i sluttrapporter fra prøveparasjon 1993, 1994 og 1995, det vises til /3/, /8/ og /19/.

I disse feltforsøkene på selve brukonstruksjonen ble det variert med :

- Forskjellige typer løsningsmidler (vann, etanol og organiske løsningsmidler) og 100 % systemer
- Lengde på alkydkjede
- Betong med forskjellig fuktinnhold
- Betongoverflater med forskjellig forbehandling.

Det ble også utført kontrollerte feltforsøk hvor hydrofoberingsmidler og overflatebelegg ble påført betongheller som senere ble montert på en av søylene på brua. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 6.1 betonghelleprogrammet.

7.5.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet

Det er utviklet 2 nye hydrofoberingsmaterialer i prosjektet, Rescon Silimp 100 og Rescon Silimp H₂O. I tillegg er Rescon CI-brems forbedret. Rescon Silimp 100 er en spesiell kombinasjon av 100 % silaner, dvs. ingen løsemidler. Den har vist seg å ha meget gode egenskaper mhp. inntrengning i fuktig betong.

Rescon Silimp H₂O er silan som mikroemulsjon i vann.

Tabell 7.5.1 viser hvilke egenskaper som skal dokumenteres for de ulike hydrofoberingsmidlene og hvilke testmetoder som skal benyttes i dokumentasjonen. Dokumentasjonskravene er beskrevet og diskutert i rapport /29/.

Tabell 7.5.1: Aktuelle krav til dokumentasjon av hydrofoberingsmaterialer.

Egenskap	Testmetode	CI-brems	Silimp 100	Silimp H ₂ O
Inntrengningsdybde	SINTEF KS 70 127			
Kloridinntrengning	SINTEF KS 70 116			
Løsningsevne for asfalt	Utviklet i prosjektet			
Frostbestandighet	SS 13 72 44			

Skraverte ruter: Det stilles krav.

7.6 Overflatebelegg

7.6.1 Reseptbearbeiding

Overflatebelegg på betong kan deles inn i følgende grupper:

- Hydrofobering + barrieremaling
- Tykkfilmsmaling
- Tykkfilmsbelegg.

Det er lagt ned mye arbeid i å finne frem til aldringsbestandige råvarer som har egenskaper som tilfredsstillende de krav som har fremkommet i prosjektet. Resept-optimaliseringen har også vært praktisk rettet, spesielt på elastiske sement-/lateksbelegg og epoxy-/polyuretanbelegg. Målet har vært å lage produkter som kan brukes i værharde kyststrøk i Norge, samt å forenkle påføringsteknikken for å gi god økonomi.

7.6.2 Utprøving i laboratorium og felt

Alle overflatebelegg er først testet i laboratoriet med tanke på bruker-vennlighet og kontroll av ønskede effekter. Produktene er så utprøvd i stor skala på Gimsøystraumen bru.

Som eksempel på produkt- og metodeutvikling kan nevnes elastisk sement-/lateksbelegg (Rescon Cem-Elastic) og epoxybelegg (Rescon Epoxy Cem-S).

Påføringsmetode i prøveparasjon 1994, var henholdsvis slemming og sparkling.

Reseptoptimalisering vinteren 1995 på Rescon Cem-Elastic og Rescon Epoxy Cem-S hadde som mål å kunne påføre produktene med sprøyte. Rescon Cem-Elastic og Rescon Epoxy Cem-S ble begge påført med sprøyte ved prøveparasjon 1995. Dette reduserte kostnadene mer enn 50 %, sammenlignet med utførte arbeider i prøveparasjon 1994.

7.6.3 Produkter og dokumentasjon fra prosjektet

I tabellene 7.6.1 og 7.6.2 er det gjengitt hvilke egenskaper som må dokumenteres for de ulike overflatebeleggene og hvilke testmetoder som skal benyttes i dokumentasjonen. Dokumentasjonskravene er beskrevet og diskutert i rapport /29/.

Tabell 7.6.1: Aktuelle dokumentasjonskrav for overflatebehandling.

Egenskap	Testmetode	Maling						Elastisk sement-basert	Poly-urethan
		Protect Lasur	CO ₂ -brems	Cur-Cl	Betong maling	Silikat-maling	Elastic	Cem-Elastic	Resflex 400
Klorid-inntrengning	SINTEF KS 70116								
Hefffasthet	pr EN 1542: 1995								
Motstand mot karbonatisering	SINTEF prosedyre								
Frostbestandighet	SS 13 72 44								
Frost bak belegg	Utviklet i prosjektet								
Rissoverbyggende evne	ZTV-SIB90 TL OS pkt. 6.9 og 6.10								
Vanndampdiffusjon	NT Build 369								

Skraverte ruter: Det stilles krav.

Tabell 7.6.2: Dokumentasjonskrav for epoxybaserte overflatebelegg

Egenskap	Testmetode	Epoxy						
		Epoxy L	Epoxy L-L	Epoxy C	Epoxy CFS	Epoflex	Epoxy Cem-L	Epoxy Cem-S
Klorid-inntrengning	SINTEF KS 70116							
Hefffasthet	pr EN 1542: 1995							
Motstand mot karbonatisering	SINTEF prosedyre							
Frostbestandighet	SS 13 72 44							
Frost bak belegg	Utviklet i prosjektet							
Rissoverbyggende evne	ZTV-SIB90 TL OS pkt. 6.9 og 6.10							
Vanndampdiffusjon	NT Build 369							

Skraverte ruter: Det stilles krav

7.7 Økonomi

Produktutvikling foregikk fra våren 1993 til og med høsten 1996, dvs. nesten 4 år. Det ble brukt ca. 4,0 mill. kr. på denne produktutvikling. Det ble arbeidet med krav til dokumentasjon for produktene frem til 1996. Selve dokumentasjonsarbeidet ble startet i 1996 og vil bli ferdigstilt i 1997. Frem til 01.01.97 ble det brukt ca. 2,0 mill. kr. i produktdokumentasjon, og det er planlagt å bruke ca. 0,8 mill. kr. i 1997.

8. Reparasjonsmetoder- erfaringer/anbefalinger

8.1 Generelt

Målet var at instrumenteringen som ble montert ved prøveparasjon 1993 skulle gi tilbakemelding om hvilke produkter som skulle testes ved prøveparasjon 1994 og tilsvarende at instrumenteringen fra prøveparasjonene 1993 og 1994 skulle gi tilbakemelding om hvilke produkter som skulle testes ved prøveparasjon 1995.

Resultatene fra instrumenteringen var imidlertid ikke tilgjengelige i prosjektperioden. Erfaringer/anbefalingene i dette kapitlet er derfor bygget på visuelle observasjoner, utprøving av forskjellige produkter osv.

8.2 Mekanisk reparasjon

8.2.1 Produkter

For å sikre et godt resultat må det benyttes en mørtel som herder raskt og har lite svinn. Dette er viktig på konstruksjoner som er spesielt utsatt for vind og/eller sol som kan gi for rask avdamping av vann og fare for riss.

Ved de første prøveparasjonene ble det brukt Rescon Redirep til håndmørtling og Rescon DS til tørrsprøyting. På grunn av problemene med svinnriss i disse mørtlene ble svinnegenskapene endret. Ved den siste prøveparasjonen (1995) ble det brukt Rescon Redirep RSF og Rescon DS-RSF til henholdsvis håndmørtling og tørrsprøyting. Det ble ikke påvist riss ved denne prøveparasjonen.

Det vises ellers til kapittel 7.2 og 7.3 når det gjelder utvikling av disse mørtlene.

8.2.2 Statiske vurderinger

I de tilfeller hvor mekanisk reparasjon omfatter fjerning av større mengder betong kan det være nødvendig å sette grenser for hvor dypt det kan meisles og/eller hvor store arealer som kan meisles samtidig. Det er viktig at en på forhånd har utført statiske beregninger som avklarer hvor mye som kan fjernes samtidig uten å svekke konstruksjonens bæreevne, f .eks. ved at armeringsjern knekker ut.

På fritt frembygg-bruer foregår det en kraftomlagring over tid som er vanskelig å kontrollere. Det bør derfor legges inn store sikkerhetsfaktorer i beregningene for slike bruer.

8.2.3 Metoder for fjerning av betong

Fjerning av betong ble utført med vannmeisling og meisling for hånd ved hjelp av luft/strøm. Det kan være fornuftig å sandblåse betongoverflatene før en går i gang med å fjerne betong da det ofte avdekkes flere skader/riss, på ferdig sandblåst flate. Dette gjelder spesielt der det skal utføres håndmeisling.

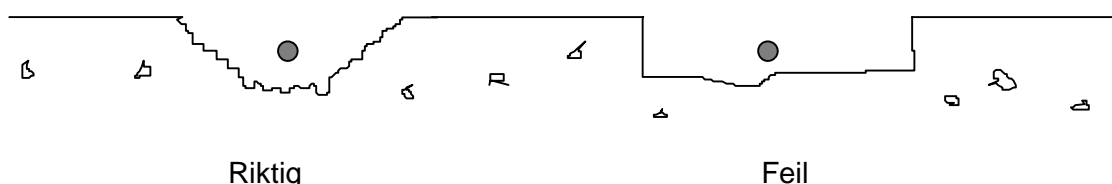
Valg av metode for å fjerne betong vil være en økonomisk og ikke minst menneskelig avgjørelse. Å meisle for hånd er meget tungt, det sliter på den utførende og bør kun utføres der skadeomfanget er lite.

Erfaringene med vannmeisling i dette prosjektet er begrensede da det kun ble brukt på et mindre område på overbygningen i forbindelse med prøveparasjon 1993. Vannmeisling er imidlertid en effektiv metode som sparer den utførende, men kan være kostbar.

8.2.4 Sårutforming/rengjøring

Ved de første prøveparasjonene ble det krevd at det skulle lages sårkanter i 90° med betongoverflaten og i dybde ca. 15 mm. Det ble brukt vinkelsliper for å lage disse kantene. Dette viste seg å være uheldig da de glatte flatene fungerte som rissanvisere.

Ved den siste prøveparasjonen ble det, ved hjelp av meiselmaskin, lagd sårkanter i 45° på flaten. Dette ga en ru flate og gjorde det i tillegg mulig å sprøyte i 90° på sårkantene, noe som viste seg å gi en bedre utførelse. Det ble ikke avdekket riss i såravgrensningene ved denne reparasjonen.



Figur 8.2.1: Riktig og feil såravslutning.

Ved meisling av betong er det viktig at en ikke bare følger minimumskravene til det som skal fjernes. Dette kan føre til trange opphugninger som er umulig å mørtle opp

på en tilfredsstillende måte. Opphugningene må gjøres så romslige at de sikrer god oppfylling med mørtel.

Etter at betong er fjernet i nødvendig omfang må armering og sårflater sandblåses for å fjerne korrosjonsprodukter og urenheter. Det er umulig å blåse direkte på armeringens bakside, det vil si at det er kun rikosjett fra sand blåst på betongen som kan rense armeringsjernet på baksiden. Det er derfor vanskelig å oppnå kravet til Sa 2-2,5.

Sandblåsing er væravhengig da blåsemiddelet legger seg på fuktige flater.

8.2.5 Oppmørtling for hånd

Utførelse

For oppmørtling av mindre sår kan det være praktisk å benytte håndmørtling i stedet for sprøyting.

Før oppmørtlingen bør armeringen påføres en korrosjonsbeskyttelse. Dette er spesielt viktig der overdekningen er liten. Korrosjonsbeskyttelsen må påføres armeringen umiddelbart etter at rengjøringen er utført for å unngå ny forurensing av klorider.

Det bør brukes en heftbru for å sikre heften mellom gammel betong og reparasjonsmørtel. Betongen må forvannes slik at den er svakt sugende ved påføring av heftbrua. Reparasjonsmørtelen legges vått i vått med heftbrua.

Etterbehandling

Alle reparerte områder må etterbehandles umiddelbart for å hindre for rask uttørking. Sårene som ble reparert for hånd på Gimsøystraumen bru i 1993 og 1994 ble påført ett strøk med Rescon Cem-Elastic. Denne fungerte både som en membranherdner og rissoverbygger.

Usikkerheter

Håndmørtling er et håndverk, og det er opptil håndverkeren om resultatet blir godt. Oppmørtling på under-opp flater og fylling bak armeringsjern er ofte vanskelig. Vannmengde bestemmes ofte av den konsistens som er praktisk for påføring av mørtelen, men da kvaliteten bestemmes av v/c-tallet er det viktig ikke å bruke for mye vann.

8.2.6 Tørresprøyting

Utførelse

Flater som skal sprøytes må forvannes. De skal være svakt sugende ved sprøytingen. Det er bortkastet å bruke heftbru og/eller korrosjons-beskyttelse, da dette blåses vekk

ved tørrsprøytingen. Det har vist seg at tørrsprøyting gir tildels samme effekt som sandblåsing. Dette krever imidlertid at sprøytingen utføres umiddelbart etter at armering og sårflater er rengjort da de i sterk vind kan bli tilført saltholdig vann.

Det må brukes sprøyteutstyr hvor det er mulig å redusere kapasiteten tilstrekkelig til at det også kan brukes til sprøyting av mindre sår. Ved sprøyting bak armering kan det også være behov for å redusere matingen.

Sprøyting bak armeringen er vanskelig og må vies stor oppmerksomhet for å unngå at det oppstår hulrom. Det må sprøytes på skrå for å sikre oppfylling. En metode som har vært brukt er å sprøyte opp til armeringsnivået, vente til mørtelen har satt seg og deretter sprøyte opp resten.

Det skal sprøytes 90° på flaten. Dette er også mulig på sårkantene dersom det er laget avslutninger på 45° ved meislingen. Det bør ikke sprøytes tykkere lag enn 4 cm pr. sprøyteomgang.

Da mørtelspruten kan separere seg anbefales det ikke at det sprøytes i sterk vind. Ved oppstartning av sprøytingen bør hele såret sprøytes med noe bløtere masse, for at ikke støv og prell skal legge seg på flaten og redusere heften.

I områder med frilagt armering bygger mørtelen seg opp på de høyeste punktene (armeringsjern og tilslag) slik at overflaten lett blir ujevn. Ujevnheter bør skrapes ned etter hvert for å hindre at de forplanter seg til overflaten. Sluttlaget bør sprøytes med noe økt vanntilsetning slik at glatting blir lettere.

Da avslutningen av sprøytemørtler ofte har noe dårligere kvalitet enn resten, bør sårene sprøytes ca. 10 mm utenfor opprinnelig betongoverflate eller det kravet til overdekning som er satt.

Det er en fordel å bearbeide avslutningene mellom reparasjon og gammel betong ekstra. Dette er et svakt punkt som bør kontrolleres nøye.

Etterbehandling

Det skal påføres rikelig med membranhardner umiddelbart etter oppmørtling. Det bør benyttes en voksbasert membranhardner. Denne må imidlertid fjernes med sandblåsing før overflatebehandling.

Rescon Cem-Elastic kan også benyttes som membranhardner på reparasjoner, noe en har god erfaring med i dette prosjektet. Rescon Cem-Elastic påføres i ett strøk à 1 - 2 kg/m².

Usikkerheter

Tørrsprøyting er på samme måte som oppmørtling for hånd et håndverk, og det er opptil operatøren om resultatet blir godt.

- Fylling bak armeringsjern er ofte vanskelig
- Vannmengde bestemmes av operatør i sprøytemunnstykket, og det bestemmer kvaliteten på mørtelen.

Andre usikkerheter er hvordan rystelser i konstruksjonen under arbeidet innvirker på mørtelens egenskaper som f. eks. heft.

8.2.7 Kontroll av utførelse/prøvetaking i felt

Det må utarbeides arbeidsbeskrivelser (prosedyrer) med tilhørende kontrollskjemaer for alle arbeider hvor det er stilt spesielle krav til utstyr, utførelse, vær under utførelse, etterkontroll, osv.

Etter hver arbeidsoperasjon må det utføres en egenkontroll i form av en visuell kontroll eller prøvetaking der dette er relevant.

Avtrekkprøver på rengjort flate bør utføres for å dokumentere overflatens hefffasthet før påføring av reparasjonsmaterialer.

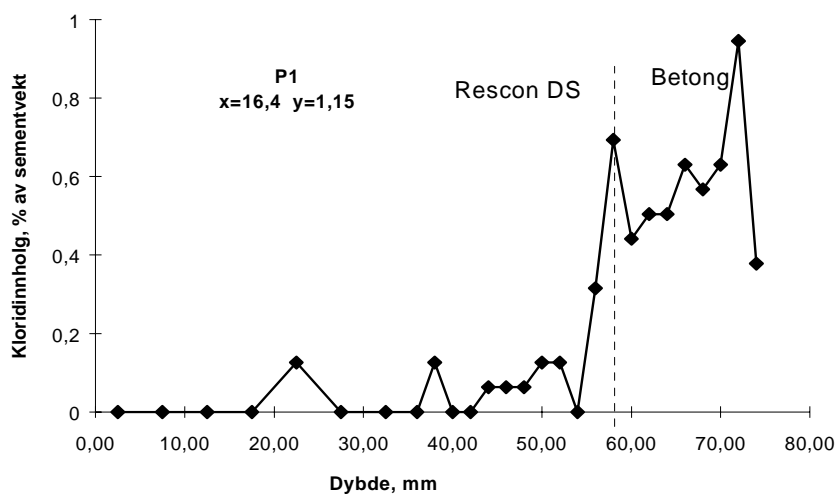
Etter oppmørtling må det tas nye avtrekkprøver for å dokumentere mørtelens hefffasthet.

8.2.8 Effekt av mekanisk reparasjon

Ikke-bærende mekaniske reparasjoner, som var aktuelle i dette tilfellet, har som hovedformål å reetablere det basiske miljøet rundt armeringen og forhindre eller redusere videre korrosjon.

De kan også gi en utjevning av gjenværende klorider i betongen. Figur 8.2.2 viser et eksempel på hvordan en i utgangspunktet kloridfri mørtel kan være med på å utjevne kloridene fra den bakenforliggende betongen. Overgangen fra mørtel til betong varierte fra 51 til 65 mm med middel på 58 mm. Dersom det skjer en slik utjevning av klorider vil kloridinnholdet i den eksisterende betongen reduseres og dermed også faren for armeringskorrosjon.

Ved visuell kontroll 1-3 år etter utførelse av de mekaniske reparasjonene er det ingen tegn på opprissing forårsaket av korrosjon. Det er heller ikke observert noen form for bom. Instrumenteringen har imidlertid til nå ikke påvist noen effekter av mekanisk reparasjon, hverken i positiv eller negativ retning.



Figur 8.2.2: Eksempel på kloridutjevning i mørtel etter tre års eksponering.

8.2.9 Uavklarte forhold vedrørende mekaniske reparasjoner

Det er diskusjon om hvorvidt lokale mekaniske reparasjoner av skader på grunn av kloridindusert armeringskorrosjon kan gi økt korrosjonsrisiko i overgangssonen mellom reparert og ikke-reparert flate. Dette blant annet fordi omkringliggende betong kan ha forskjellig ledningsevne i forhold til reparasjonsmørtelen og at det kan oppstå riss i overgangssonen.

Reparasjonene ble i dette tilfellet utført med mørtler med tilnærmet lik ledningsevne som den omkringliggende betongen og det ble brukt mørtler med lite svinn for å redusere faren for riss.

Det har ikke vært mulig i prosjektet å dokumentere om korrosjon oppstår i overgangssonen eller ikke.

8.3 Hydrofobering

8.3.1 Produkter

Hovedformålet med hydrofobering er å begrense videre inntrengning av klorider. For at hydrofoberingmidlet skal fungere som forutsatt må det trenge godt inn i betongen. Brukonstruksjoner langs kysten har ofte et meget høyt fuktinnhold. Det er derfor viktig å bruke hydrofoberingmidler som har god inntrengningsevne i betong med høyt fuktinnhold.

God inntrengningsdybde er også viktig for å hindre at hydrofoberingmidlet legger seg på overflaten av betongen som et belegg. Det har vist seg at hydrofoberingmidler som blir liggende på overflaten er svært tette. Dette kan gi en negativ effekt med tanke på vandampdiffusjonen.

Ved de to første prøvereparasjonene (1993 og 1994), ble det brukt Rescon Cl-brems. Prøvene viste at inntrengningsdybden var svært liten i den fuktige betongen (mindre enn 0,1-0,2 mm).

Forsøk i laboratoriet med 100 % silan og 25 % silan viste at 100 % silan hadde best inntrengning både i tørr og fuktig betong. Hydrofoberingmidler på kystbruer bør derfor være rene silaner med molekyllengde som gir best mulig inntrengningsdybde i fuktig betong. Det ble ved feltforsøk, betonghelleforsøkene på Gimsøystraumen bru, påvist inntrengning på opp til 3-4 mm i en betong med 100 % vannmetningsgrad ved bruk av 100 % silan (Rescon Silimp 100). Ved den siste prøvereparasjonen (1995) ble det derfor brukt 100 % silan (Rescon Silimp 100).

Levetid-fremtidig vedlikehold

Det finnes lite dokumentasjon av levetid for hydrofobering i felt. En forutsetning for en lang levetid er at produktet har fått en god inntrengning. På den måten vil det ikke brytes ned av UV-lys.

Normalt antas en levetid på ca 10 år. Når produktet ikke lenger er effektivt, er det ikke noe problem å utføre en ny behandling med hydrofoberingmiddel.

8.3.2 Underlag

Betydning av sementhud

Sementhud er en naturlig barriere for inntrengning av vann og klorider, og dette kan være en effekt en vil beholde. Sementhud hindrer imidlertid også hydrofoberingmidlet i å få god inntrengning.

Dette skyldes ikke bare at sementhuden har en mindre permeabilitet enn resten av betongen, men at sementhuden ofte er forurenset med f. eks formolje.

Den endelige betydningen av sementhuden er ikke klarlagt da det fortsatt pågår undersøkelser om dette, se blant annet kapittel 6.1. Konklusjonen til nå er imidlertid at sementhuden bør fjernes/åpnes før hydrofobering.

Betydning av riss

Hydrofobering er mindre effektiv hvis det er mye riss eller sprekker i betongen. Det er imidlertid en stor forskjell om rissene er tilstede ved hydrofoberingen eller om de oppstår etterpå. Riss som er tilstede i betongen under påføring kan delvis bli fylt av hydrofoberingsmidlet, slik at også rissveggene blir hydrofobert.

Dersom det oppstår riss etter hydrofobering mister denne mye av sin effekt ved levende riss med rissvidder over 0,05-0,1 mm.

Fukt i underlag

Jo mindre fukt i underlaget, desto bedre blir inntrengning. 100 % silan med riktig molekylkjedelengde vil imidlertid ha en bedre inntrengning i fuktig betong enn løsningsmiddelholdige hydrofoberingsmidler. Det er imidlertid meget viktig at det ikke er fritt vann på overflaten. Hydrofoberingsmiddelet vil da reagere med overflatevannet og danne siloxan-forbindelser. Siloxan-forbindelsene vil ha for stor molekyl-størrelse til å kunne trenge inn i betongen, samtidig som de ikke får noen heft til OH^- ioner i betongen.

Rengjøring av underlag

Underlaget skal være rent og tørt, uten løse partikler. Overflaten skal også gjøres ren for klorider da disse ødelegger heften mellom hydrofoberingsmidlet og betongoverflaten.

Sandblåsing er en sikker forbehandlingsmetode. Den rengjør betongoverflaten tilstrekkelig uten å tilføre fukt og anbefales derfor.

Sandvasking og høytrykkspyling med roterende dyse er også gode rengjøringsmetoder av betongoverflater før hydrofobering, men tilføring av fukt er negativt og krever god opptørking etterpå. Sandvasking har sin fordel i at det ikke er særlig væravhengig. Vannet gjør at sand og løs forurensning renner av. Ved krav om vannmengde på min. 75 l/min. kan imidlertid vannhenting være tidkrevende. Dersom det ikke kan påvises at sandvasking har noen effekt mhp. kloridutvasking kan det være aktuelt å redusere kravet til vannmengde noe.

Noen søyler ble rengjort med høytrykksspyling mens en søyle ikke ble rengjort for eventuelt å se forskjeller i inntrengningen av hydrofoberingsmidlet. Beskrevet vannmengde ved høytrykksspyling var min. 120 l/min., og et trykk på min. 15 MPa. Det ble ikke registrert synlige forskjeller på flatene før og etter spyling.

Dersom det velges en annen forbehandlingsmetode enn sandblåsing, bør den prøves ut på et representativt prøvefelt.

8.3.3 Utførelse

Hydrofoberingsmidlet skal påføres i minst to strøk. Påføring skal alltid skje ovenfra og nedover. Hydrofoberingsmidlet skal påføres med en mengde og hastighet som gir det tid til å renne 30 - 40 cm nedover veggen og trekke seg litt inn i betongen før en følger etter med påføringen.

Andre strøk skal påføres akkurat i det første strøk har trukket seg inn, og betongen igjen begynner å få igjen sin lyse farge. Vanligvis vil mellomstrøktiden ligge mellom 12 og 24 timer.

Ved den første prøvereparasjonen ble hydrofoberingen utført med materull. Dette fungerte ikke da det ble altfor mye spill og søl. Problemet var verst på under-opp flater, men også på vertikale flater var det for mye spill. Senere ble det benyttet sprøyting med samme type sprøyteutstyr som ved understellsbehandling av biler. Dette gir middels forstøving og fungerte bra. Det anbefales derfor at det benyttes slikt sprøyteutstyr.

På hydrofoberte flater oppsto det skjolder i overflaten da noen flater var sterkere sugende enn andre. Det ble gjort forsøk på å fjerne skjoldene med et ekstra støk hydrofobering, men dette var ikke vellykket. Dette betyr at en må akseptere skjolder på de flatene en hydrofoberer. Dersom dette ikke er akseptabelt må det benyttes annen type behandling.

Materialforbruket vil variere svært mye avhengig av betongflatens beskaffenhet. Som eksempel kan nevnes at på flater som var forskalet med finerlemmer og har en meget glatt overflate, ble det samlede forbruket på tre strøk 0,33 l/m². På flater som var bordforsalet og hadde en ruere overflate ble det samlede forbruket så høyt som 0,75 kg/m² på tre strøk.

Prøvefelt

Det bør etableres et prøvefelt som har som mål å verifisere at krav til forbehandling, forbruk og inntrengningsdybde overholdes.

8.3.4 Kontroll av utførelses/prøvetaking i felt

Kontroll av utførelse i felt er i første omgang visuell kontroll.

- Kontroll av underlaget: det skal være overflatetørt
- Kontroll av forbruket: det skal være som beskrevet
- Kontroll av påføring: påføringen skal starte øverst og det skal renne 30-40 cm, det gir rimelig riktig forbruk, men må kontrolleres.

Det er vanskelig å kontrollere hydrofoberingens effekt på byggeplass. Den beste måten er å kontrollere inntrengningsdybde ved å skjære ut betongbiter eller bore ut små kjerner, knekke bitene/kjernene, tørke dem i 50-60 °C og bruke vann som indikator for å måle inntrengningsdybden.

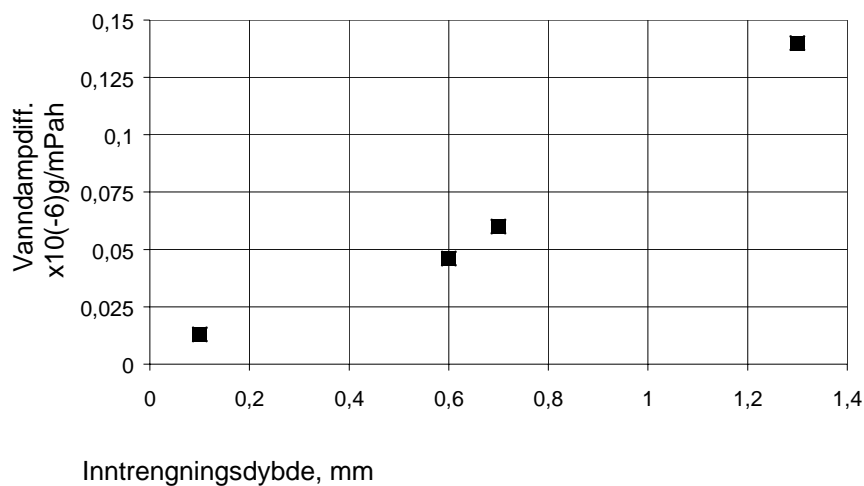
Inntrengningsdybden kan måles dagen etter hydrofoberingen er utført. Krav til inntrengningsdybde kan bestemmes etter å ha testet hydrofoberingsmidlet på et representativt prøvefelt.

8.3.5 Effekt av hydrofobering

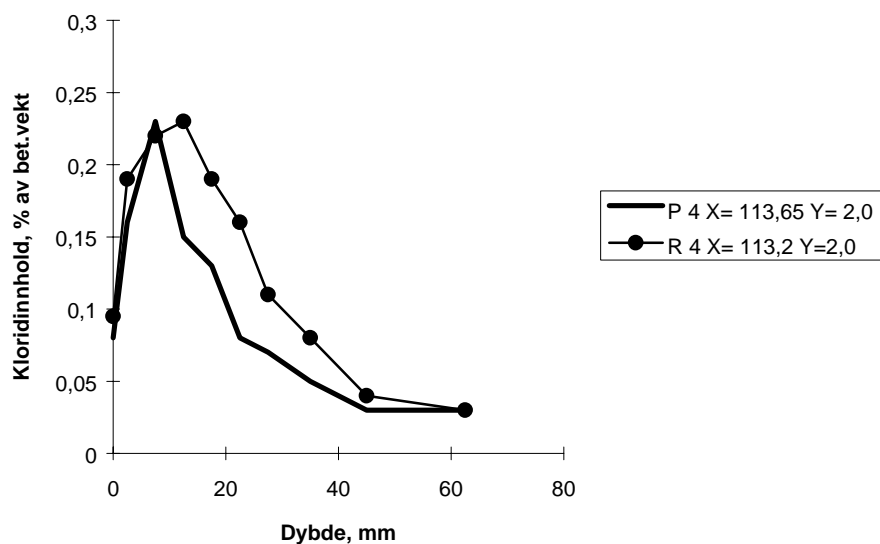
Instrumenteringen har til nå ikke påvist noen direkte endring av korrosjons-aktivitet bak hydrofobering. Det er imidlertid påvist at tilgangen på oksygen reduseres 30-40 ganger. Dette kan skyldes at hydrofoberingen stabiliserer fukten i betongen ved å hindre uttørkning, dvs. at den bremser vanndampdiffusjonen.

Det er målt inntrengningsdybde og vanndampdiffusjon på 4 steder på Gimsøystraumen bru. Resultatene, som er vist i figur 8.3.1 viser at vanndampdiffusjon gjennom hydrofoberingen bestemmes av inntrengningsdybden. En stor inntrengningsdybde gir åpen hydrofobering. En liten inntrengningsdybde gir tett hydrofobering. Til sammenligning er betongen på Gimsøystraumen målt til $5-8 \times 10^{-6}$ g/mPah, sement huden er målt til $0,6-0,9 \times 10^{-6}$ g/mPah, 2 mm Rescon Cem-Elastic er målt til $0,19 \times 10^{-6}$ g/mPah.

Figur 8.3.2 viser et eksempel på at det ikke er skjedd store endringer når referansefelt sammenlignes med hydrofobert betong etter 3 år (prøvereparasjon 1993). Det er viktig å være oppmerksom på at inntrengningsdybden i dette tilfellet var mindre enn 0,1 mm. Inntrengningsdybde er, som tidligere nevnt, en viktig parameter for evaluering av hydrofoberingsmidlets effekt.



Figur 8.3.1: Vanndampdiffusjon som effekt av hydrofoberingsmaterialets inntrengningsdybde.



Figur 8.3.2: Eksempel på kloridprofiler på referansefelt (R4) og bak hydrofobering (P4) etter 3 års eksponering.

8.3.6 Usikre/uavklarte faktorer

Som usikre/uavklarte faktorer kan nevnes:

- Kloridutjevning
- Endring av fuktinnhold
- Endring av motstand
- Endring av armeringens korrosjonstilstand
- Liten erfaring med levetid
- Effektivitet ved riss i betongen er ikke dokumentert
- Kan gi dårlig heft ved senere behandling
- Kan være en ulempe ved senere bruk av katodisk beskyttelse, beskrevet i kapittel 6.5
- Hvilke faktorer har mest betydning for hydrofoberingsmaterialets effekt? Dette er et sentralt spørsmål som vi håper å kunne vite mer om ved å følge opp de arbeidene som er utført.

8.4 Overflatebelegg

8.4.1 Produkter

Overflatebelegg eller filmdannende belegg for betong kan deles inn i følgende grupper:

1. Hydrofobering + barrieremaling
2. Tykkfilmsmaling
3. Tykkfilmbelegg.

Overflatebelegg er først og fremst beregnet brukt på flater der det ennå ikke er oppstått armeringskorrosjon (F1-flater). Hovedformålet med en løsning med overflatebelegg er i størst mulig grad å hindre videre inntrengning av klorider.

1. Hydrofobering + barrieremaling

Det ble benyttet Rescon Cl-brems og Rescon Silimp 100 som hydrofoberingsmidler. Rescon Protect Lasur ble benyttet som barrieremaling.

Hensikten med denne materialkombinasjonen var at hydrofoberingsmaterialet skulle hindre kloridinntrengning og at barrieremalingen skulle hindre CO₂-inntrengning og beskytte hydrofoberingsmidlet mot nedbrytning av UV-stråler. Materialene er diffusjonsåpne, men bygger ikke over bevegelige riss.

Best resultat med tanke på heft og inntrengningsdybde ble oppnådd ved å bruke Rescon Silimp 100 som primer for Rescon Protect Lasur. Forbruket av Rescon Silimp 100 skal være fra 0,1 - 0,2 kg/m, påført i et strøk. Forbruket av Rescon Protect Lasur

skal være 0,2 - 0,4 kg/m². Det estetiske vil være av avgjørende faktor. Rescon Protect Lasur kan farges etter NCS og RAL fargekart.

Når kan hydrofobering + barrieremaling anbefales?

Hydrofobering og barrieremaling egner seg på betongkonstruksjoner uten beveglige riss som skal beskyttes mot klorider og CO₂ og der det er krav om vandamp-diffusjonsåpenhet.

2. Tykkfilmsmaling

Rescon Elastic ble testet som tykkfilmsmaling på betongheller som ble montert på søyle i akse 6 for eksponering over tid, se også kapittel 6.1.

Rescon Elastic er en énkomponent vannbasert tykkfilmsmaling. Den har normalt meget gode egenskaper med tanke på kloridbremsende effekt, karbonatiseringsbremsende effekt, diffusjonsåpenhet og sprekkeover-byggende evne selv i minusgrader. Overflatebehandlingen ble påført både vannmettet betong og betong med fuktinnhold på 60 - 80 % vannmettingsgrad. Rescon Primer E-10 ble benyttet som primer for Rescon Elastic.

Erfaringer fra påføring av vannbasert tykkfilmsmaling i fuktig klima (over 80 % relativ fuktighet) er at malingen ikke herder ut, dvs. at vannet ikke forsvinner fra malingsfilmen. Dette vil sette store begrensninger på bruk av dette materialet i kystklima.

Når kan elastisk tykkfilmsmaling anbefales?

Elastisk tykkfilmsmaling egner seg på konstruksjoner som skal beskyttes for klorider og CO₂, der det er krav til vandampdiffusjonsåpenhet og rissoverbyggende egenskaper.

Elastisk tykkfilmsmaling har meget gode materialegenskaper hvis det blir påført under ideelle tørre forhold. Det vil si at det må stilles strenge krav til tørr betongoverflate og værforhold under utførelse. Ideelle bruksområder vil være betongkonstruksjoner i tørre klima.

3. Tykkfilmbelegg

Det ble testet ut tre forskjellige tykkfilmbelegg:

- Sementbasert elastisk belegg: Rescon Cem-Elastic
- Epoxy-polyurethan belegg: Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex
- Epoxy-sement belegg: Rescon Epoxy L-L + Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoxy Cem-L.

Sementbasert elastisk belegg: Rescon Cem-Elastic

Rescon Cem-Elastic er et robust sement/lateks tykkfilmsbelegg. Rescon Cem-Elastic har meget gode egenskaper med tanke på kloridbremsende effekt,

karbonatiseringsbremsende effekt, diffusjonsåpenhet og sprekkeoverbyggende evne selv i minusgrader. Rescon Cem-Elastic kan påføres både tørre og fuktige flater.

Rescon Cem-Elastic ble benyttet ved alle tre prøvereparasjonene, men ble flere steder kombinert med andre materialer. Følgende material-kombinasjoner ble benyttet:

- a) 3 strøk Rescon Cem-Elastic
- b) 2 strøk Rescon GFI-2 (inhibitor) + 3 strøk Rescon Cem-Elastic tilsatt Rescon GFI-2.
- c) 1 strøk Rescon CI- brems + 3 strøk Rescon Cem-Elastic
- d) 1 strøk Rescon Primer E10 + 3 strøk Rescon Cem-Elastic.

Kombinasjonene b) og c) viste seg å gi heftproblemer. Rescon Primer E10 ble utviklet i slutten av prosjektperioden og ble benyttet ved siste prøvereparasjon. Dette synes så langt å være den beste løsningen.

Rescon Cem-Elastic inneholder sement og vil derfor kunne gi fargeskjolder i avslutninger under utførelse. Stilles det spesielle krav til estetikk må Rescon Cem-Elastic overmales med Rescon Redisan Betongmaling eller Rescon Silikatmaling.

Når kan Rescon Cem-Elastic anbefales?

Rescon Cem-Elastic er egnet til bruk på betongkonstruksjoner som skal beskyttes for klorider og CO₂, der det i tillegg stilles krav til vanddamp-diffusjonsåpenhet og rissoverbyggende egenskaper. Materialet har spesielt gode hefteegenskaper på fuktige overflater. Det egner seg derfor til bruk i kystklima.

Epoxy-polyurethan belegg: Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex

Rescon Epoflex er en elastisk epoxy som er tett for klorider og CO₂. Materialet har liten diffusjonsåpenhet, har svært god heft til betong og kan bygge over beveglige riss.

Før påføring av Rescon Epoflex bør overflaten helsparkles med Rescon Epoxy Cem-S for å fjerne porer. Dette gir også en ru flate med gode hefteegenskaper for Rescon Epoflex.

Når kan Rescon Epoflex anbefales?

Rescon Epoflex er egnet til bruk på betongkonstruksjoner som skal beskyttes for klorider og CO₂, der det i tillegg stilles krav til belegg med rissoverbyggende egenskaper.

Epoxy-sement belegg: Rescon Epoxy L-L + Cem-S + Cem-L

Rescon Epoxy L-L er en ren epoxy som brukes som primer. Rescon Epoxy Cem-S er en sementbasert epoxy-sparkel for betong. Rescon Epoxy Cem-L er et trekomponent epoxy-sement lim som blant annet benyttes til overflatebehandling av betong.

Denne materialkombinasjonen ble testet ut delvis av praktiske hensyn når det gjaldt påføringsteknikker og delvis av teoretiske hensyn for i ettertid å kunne vurdere om den kan redusere hastigheten på armeringskorrosjon som pågår.

Når kan Rescon Epoxy L-L + Cem-S + Cem-L anbefales?

Dette systemet har ikke spesielle fordeler i forhold til de andre og enklere systemene og anbefales derfor ikke uten videre på kloridbelastede kystbruer.

8.4.2 Underlag

Til rengjøring av betongflatene ble det enten benyttet sandblåsing eller sandvasking. Hvilke rengjøringsmetode som velges vil blant annet avhenge av hvor fuktømfintlige overflatebehandlingsmaterialene er. Rescon Elastic og Rescon Epoflex må ha tørre flater. Sandblåsing vil derfor være å foretrekke. Hydrofoberingsmidler har også bedre effekt på tørre flater så også her vil sandblåsing være å foretrekke. Rescon Cem-Elastic kan påføres overflater som er både tørre og fuktige. Heften til underlaget blir like god i begge tilfeller.

Kravene til sandblåsing var at all forurensning skulle fjernes, og at flaten skulle gi tilstrekkelig heft til senere overflatebehandlinger.

Det bør unngås å blåse på vått underlag da blåsemiddelet fester seg på overflaten og spyling ville vært nødvendig for å få rengjort flatene igjen. Alle flater må blåses rene for sand og støv etter sandblåsing.

Til sandvasking ble det benyttet utstyr som ga et dysetrykk på 15,5 MPa og en vannmengde på 84 l/min med kaldt vann. Forbruk av sand var ca. 0,5 kg/m² betongoverflate.

Sandvasking har sin fordel ved at det ikke er særlig væravhengig. Vannet gjør at sand og løs forurensning renner av. Ved krav om vannmengde på minimum 75 l/min kan imidlertid vannhenting være tidkrevende. Dersom det ikke kan påvises at sandvasking har noen effekt mhp. kloridutvasking, kan det være aktuelt å redusere kravet til vannmengde noe.

8.4.3 Utførelse

1. Hydrofobering + barrieremaling

Både Rescon CI-brems, Rescon Silimp 100 og Rescon Protect Lasur ble påført med det samme luftdrevne sprøyteutstyret. Det kan benyttes enkle trykkluftsprøyter eller malesprøyter. Sprøytingen startet ovenfra og fortsatte ned til fundamentet.

Det var forskjell på overflatene mhp. inntrengning av Rescon Silimp 100. Felter hvor hydrofoberingssmidlet trakk raskt inn ble sprøytet to ganger.

Rescon Protect Lasur ble påført 12-24 timer etter hydrofobering. Rescon Protect Lasur er noe «tyngre» å sprøyte enn Rescon Silimp 100, og forstøver mindre. Påføringen er derved noe mer tidkrevende.

Det er vanskelig å fylle alle porer med sprøytingen. En bør derfor gå over med pensel og fylle synlige ufylte store porer. På nært hold kan man se noen skjolder og noe sig. Det bør vurderes å påføre Protect Lasur i to strøk med porepensling mellom, dersom man ønsker en mer ensartet flate. Det skal ikke anvendes poresparkel.

Prøvefelt

Det bør etableres et prøvefelt som er representativt for de flatene som skal overflatebehandles. Dette danner grunnlag for verifisere at krav til forbehandling, heft, forbruk og farge overholdes.

2. Tykkfilmsmaling, Rescon Elastic

Ved påføring av Rescon Elastic må betongoverflaten være helt tørr. I tillegg må betongen være tørr i en dybde på 50 mm fra overflaten og innover, dvs. ikke overstige 80 % RF, og vannmettingsgraden skal ikke være større enn 80 %.

Rescon Primer E-10 ble benyttet som primer. Etter at primeren hadde tørket, ble Rescon Elastic påført i to strøk. Rescon Elastic kan påføres med rull, kost eller sprøyte. Mellomstrøkstiden skal være 6-24 timer.

Det er viktig at malingsfilmen blir poretett. Hvis det er store porer som malingen ikke fyller, så vil det være nødvendig med poresparkling før maling.

3. Tykkfilmsbelegg

Sementbasert elastisk belegg: Rescon Cem-Elastic

Rescon Cem-Elastic ble påført i tre-fire strøk avhengig av påføringsmetode. Ved de to første prøveparasjonene ble materialet påført med slemmekost, men arbeidet er tungt spesielt på under-opp flater.

Beskrevet forbruk var 3,5 kg/m² på tre strøk. Det viste seg å være praktisk umulig å påføre mer enn 2,5 kg/m² på tre strøk når massen påføres for hånd. Det ble derfor påført ytterligere ett strøk slik at en kom opp i beskrevet forbruk. For å komme nærmest mulig beskrevet forbruk ble det påført relativt mye pr. strøk. Dette førte til at det oppsto små "tunger" under store porer. Det ble gått over med pensel i porene mellom første og andre strøk.

Temperaturen var innenfor de krav som er stilt, men likevel så høy at massen størknet relativt hurtig. Dette førte til at man på nært hold kan se skjøter der det ble avbrudd i påføringen.

Ved de to første prøvereparasjonene ble det på noen områder benyttet inhibitor eller hydrofobering før påføring av Rescon Cem-Elastic. Disse ble påført med sprøyte.

Ved den siste prøvereparasjonen ble det benyttet Rescon Primer E-10. Denne ble sprøytet med luftdrevet sprøyte og rullet over med malerrull. Primeren tørket hurtig og gjorde at Rescon Cem-Elastic kunne påføres umiddelbart etter at flaten var primet. Dette er gunstig, da man ikke er avhengig av lange godværsperioder.

Ved denne prøvereparasjonen ble Rescon Cem-Elastic sprøytet ved hjelp av en liten monopumpe og trykkluft. Dette er vesentlig raskere enn å benytte kost. Beskrevet mengde var også i dette tilfellet 3,5 kg/m².

For at massen skal forstøve ved sprøyting benyttes det en dyseåpning på 7 mm. Sprøytingen er derved ømfintlig for klumper i massen. Tørrstoffet som pakkes i sekker har lett for å danne klumper ved lagring, noe som kan føre til propp i munnstykket.

Som for de fleste overflatebehandlinger som sprøytes, er også Rescon Cem-Elastic ømfintlig for vind. Tildekking må derfor påregnes.

Første strøk må ses på som poresparkling og påføres i mengde på 2-2,5 kg/m². Deretter påføres ett strøk Rescon Cem-Elastic i mengde 1-1,5 kg/m² vått i vått med det første strøket. For å spare materialkostnader kan poresparkling eventuelt gjøres med andre materialer. Dersom poresparkling skal gjøres med Rescon Cem-Elastic skal man være forsiktig med å beskrive påføringsmengder uten å ta hensyn til flatens beskaffenhet. Tykkelsen på belegget vil variere lokalt avhengig av vedkommende som sparkler. Fordelen med Rescon Cem-Elastic som poresparkel er at all påføring kan gjøres samme dag. Om samtlige porer er fylt, eller om de kun er forseglet er usikkert.

Rescon Cem-Elastic «snerker» seg raskt slik at det kan sprøytes kontinuerlig uten nødvendige mellomstrøktider. Toppstrøk ble sprøytet uten sparkling for å få en jevn flate. Forbruk av Rescon Cem-Elastic var 4,3 kg/m² inklusiv porefylling. Det er viktig at oveflaten blir poretett.

Skille etter stillasetasjene er vanskelig å unngå, da massen tørker fortere enn hva som er mulig å påføre.

Påføring av Rescon Cem-Elastic ved sprøyting har vist seg å være robust med tanke på utførelse i fuktig klima og i sterk vind. Flatene ble forsøkt tildekket i sterk vind og regn, men å få en tildekking helt tett er tilnærmet umulig. Dette har ført til noen lysere partier der det har kommet vann inn på flaten.

Epoxy-polyurethan belegg: Rescon Epoxy Cem-S + Rescon Epoflex

Betongoverflaten ble primet med Rescon Epoxy V-50, klar. Primeren kan påføres med rull, kost eller sprøyte.

Porer i underlaget ble sparklet med Rescon Epoxy Cem-S. Rescon Epoxy Cem-S kan påføres både fuktige og tørre flater. Den kan påføres ved hjelp av sprøyte eller den må sparkles på for hånd med bredsparkel som ved tradisjonell sparkling. Rescon Epoxy Cem-S er lett å påføre, men vanskelig å etterglatte. Alle porene i betongen ble fylt, men det oppsto en del mindre porer i sparkelen. Disse var imidlertid ikke større enn at de ble dekket etter andre strøk Rescon Epoflex. Rescon Epoxy Cem-S ble påført med et forbruk på 1,98 kg/m². Beskrevet mengde var 2-4 kg/m². Det er flatens overflatestruktur som bestemmer forbruket. Sideveggene har mange og store porer, mens undersiden er tilnærmet porefri.

Rescon Epoflex ble påført med rull. Beskrevet mengde var 3,6 kg/m² påført i tre strøk. Det viste seg å være praktisk umulig å påføre denne mengden i tre strøk uten at det oppstod betydelige sig. Det ble derfor bestemt å påføre ytterligere to strøk, men totalt påført mengde ble allikevel bare 2,39 kg/m². Erfaringene av dette er at Rescon Epoflex bør påføres med rull i 4 strøk à 0,5 kg/m².

På søndre flate ble fjerde strøk påført i direkte sol, noe som resulterte i bobler pga. for rask herding. Disse ble skrapet bort før siste strøk ble påført. Påføring i direkte sol bør derfor unngås.

Epoxy-sement belegg: Rescon Epoxy L-L + Cem-S + Cem-L

Dette belegningssystemet er tidkrevende å påføre og det er relativt strenge krav til mellomstrøktider og værforhold når det gjelder priming/sparkel. Det må derfor legges opp til forholdsvis små felter av gangen.

Rescon Epoxy L-L ble påført med rull og etter 3-4 timer ble flaten poresparklet med Rescon Epoxy Cem-S. Rescon Epoxy Cem-S ble påført med sparkelspade.

Rescon Epoxy Cem-L ble sprøytet på ved hjelp av monopumpe og trykkluft. Den ble påført i tre strøk med et samlet forbruk på 3,61 kg/m².

Det ble gjort forsøk med å sprøyte Rescon Epoxy Cem-S med samme utstyr som blir benyttet på Rescon Cem-Elastic og Rescon Epoxy Cem-L. Dette gikk uten problemer. Forutsetningen er imidlertid at det benyttes korte slanger, da massen er tung å pumpe. Etter sprøyting ble Rescon Epoxy Cem-S ble dradd ut med sparkel. Forbruk Rescon Epoxy Cem-S ble regnet ut til 1,81 kg/m². Rescon Epoxy Cem-L ble sprøytet på i tre strøk den med et samlet forbruk på 3,40 kg/m².

Det er arbeidet videre med metoder for påføring av Rescon Epoxy Cem-S. Ved å bruke enkle sparkelsprøyter med variator 1-15 l/min med stator/rotor D-4, dyseåpning 5-7 mm kan Rescon Epoxy Cem-S pumpes i slangelengder på over 25 m. Forsøkene

er gjort i forbindelse med hovedoppgave «Utvikling av sprøytbare sement-epoxy-baserte masser for beskyttelse av betong» av Roy Hansen ved Oslo Ingeniørhøgskole.

8.4.4 Kontroll av utførelse/prøvetaking i felt

1. Hydrofobering + barrieremaling

For kontroll av hydrofoberingen vises det til kapittel 8.3.4.

Kontroll av utførelse

- Overflaten skal være fri for olje, fett, støv og andre forurensninger som kan hindre god heft.
- Overflatetemperatur skal være 3 °C over duggpunkt.
- Temperaturen på overflaten: $+5 < T < +25$ °C. Temperatur skal være over 5 °C minst 24 timer etter påføring.
- Temperatur i luft under utførelse: $+5 < T < +25$ °C. Temperatur skal være over 5 °C minst 24 timers etter påføring.
- Relativ fuktighet i luft, maks. 90 %.
- Vindhastighet maks. 10 m/s.
- Temperaturstigning på overflaten på over 10 °C pr. time skal unngås.
- Materialene skal oppbevares frostfritt.
- Malingen skal omrøres til en homogen masse.
- Mellomstrøks tid for Rescon Silimp 100 og Rescon Protect Lasur skal være 1-3 døgn. Leverandørens mellomstrøks tider må følges.
- Forbruket må kontrolleres opp mot det aktuelle arealet for å bestemme tykkelse da fysisk måling er vanskelig.

Kontroll av ferdig flate

- Heftprøving etter avtale med byggherren. Krav til heft, >1,2 MPa ved 20 °C. Bruddet skal være i malingen, ikke mellom maling og betong.

Det er ikke krav til poretett flate, som på de andre filmdannende behandlingene.

2. Tykkfilmsmaling

Kontroll av utførelse

- Overflaten skal være fri for olje, fett, støv og andre forurensninger som kan hindre god heft.
- Overflatetemperatur skal være 3 °C over duggpunkt.
- Temperaturen på overflaten: $+5 < T < +25$ °C. Temperatur skal være over 5 °C minst 24 timers etter påføring.
- Temperatur i luft under utførelse: $+5 < T < +25$ °C. Temperatur skal være over 5 °C minst 24 timers etter påføring.
- Relativ fuktighet i luft, maks. 80 % under utførelse og 24 timer etter utførelse.
- Vindhastighet maks. 10 m/s.
- Temperaturstigning på overflaten på over 10 °C pr. time skal unngås.

- Materialene skal oppbevares frostfritt.
- Nøyaktige beskrivelse fra leverandøren med bruk av primer og mellomstrøkstider må følges.
- Forbruket må kontrolleres mot det aktuelle arealet for å bestemme tykkelse da fysisk måling er vanskelig. Det bør i tillegg vurderes å ta ut prøver for stikkprøve-måling av tykkelse.

Kontroll av ferdig flate

- Visuell kontroll med hensyn til jevnhet, tetthet, utseende osv. Det godkjennes ingen synlige porer.
- Heftprøving etter avtale med byggherren. Heftprøvingen kan utføres etter 2 ukers herding. Bruddet skal være i malingen, ikke mellom maling og betong. Heftfasthet bør være $> 1,2$ MPa ved 20°C .

3a. Tykkfilmsbelegg, sementbasert elastisk belegg

Kontroll av utførelse

- Overflaten skal være fri for olje, fett, støv og andre forurensninger som kan hindre god heft.
- Overflaten kan være tørr eller fuktig, men det skal ikke være fritt vann tilstede.
- Temperaturen på overflaten: $+5 < T < +30^{\circ}\text{C}$.
- Temperatur i luft under utførelse: $+5 < T < +30^{\circ}\text{C}$.
- Relativ fuktighet i luft, maks. 98 %.
- Vindhastighet maks. 10 m/s.
- Sterk sol som fører til overflatetemperatur over $+30^{\circ}\text{C}$ eller temperaturstigning på overflaten på over 10°C pr. time, skal unngås.
- Nøyaktige beskrivelse fra leverandøren med bruk av primer og mellomstrøkstider må følges.
- Forbruket må kontrolleres mot det aktuelle arealet for å bestemme tykkelse da fysisk måling er vanskelig. Det bør i tillegg vurderes å ta ut prøver for stikkprøve-måling av tykkelse.

Kontroll av ferdig flate

- Visuell kontroll med hensyn til jevnhet, tetthet, utseende osv. Det godkjennes ingen synlige porer.
- Heftprøving etter avtale med byggherren. Krav til heft bør være $> 0,8$ MPa ved 20°C . Heftprøving kan utføres 2 uker etter påføring. Bruddet skal være i belegget, ikke mellom belegg og betong.

3b. Tykkfilmsbelegg, epoxy-polyurethan belegg.

Kontroll av utførelse

- Overflaten skal være fri for olje, fett, støv og andre forurensninger som kan hindre god heft.
- Overflaten skal være tørr.
- Temperaturen på overflaten: $+5 < T < +30^{\circ}\text{C}$.
- Temperatur i luft under utførelse: $+5 < T < +30^{\circ}\text{C}$.

- Relativ fuktighet i luft, maks. 90 %.
- Vindhastighet maks. 10 m/s.
- Sterk sol som fører til overflatetemperatur over +30 °C eller temperaturstigning på overflaten på over 10 °C pr. time, skal unngås.
- Nøyaktige beskrivelse fra leverandøren med bruk av primer og mellomstrøktider må følges.
- Forbruket må kontrolleres mot det aktuelle arealet for å bestemme tykkelse da fysisk måling er vanskelig. Det bør i tillegg vurderes å ta ut prøver for stikkprøve-måling av tykkelse.

Kontroll av ferdig flate

- Visuell kontroll med hensyn til jevnhet, tetthet, utseende osv. Det godkjennes ingen synlige porer.
- Heftprøving etter avtale med byggherren. Krav til heft bør være > 1,5 MPa ved 20 °C. Heftprøving kan utføres 1 uke etter påføring. Bruddet skal være i belegget, ikke mellom belegg og betong.

3c. Tykkfilmsbelegg, epoxy-sement belegg.

Kontroll av utførelse

- Overflaten skal være fri for olje, fett, støv og andre forurensninger som kan hindre god heft.
- Overflaten kan være tørr eller fuktig, men det skal ikke være fritt vann tilstede.
- Temperaturen på overflaten: +5 < T < +30 °C.
- Temperatur i luft under utførelse: +5 < T < +30 °C.
- Relativ fuktighet i luft, maks. 98 %.
- Vindhastighet maks. 10 m/s.
- Sterk sol som fører til overflatetemperatur over +30 °C eller temperaturstigning på overflaten på over 10 °C pr. time, skal unngås.
- Nøyaktige beskrivelse fra leverandøren med bruk av primer og mellomstrøktider må følges.
- Forbruket må kontrolleres mot det aktuelle arealet for å bestemme tykkelse da fysisk måling er vanskelig. Det bør i tillegg vurderes å ta ut prøver for stikkprøve-måling av tykkelse.

Kontroll av ferdig flate

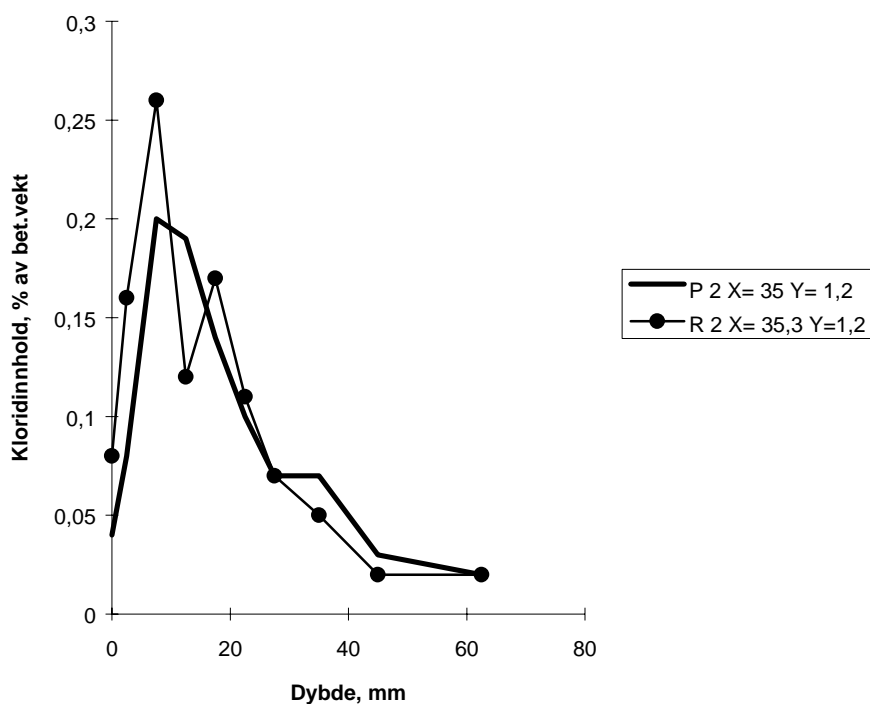
- Visuell kontroll med hensyn til jevnhet, tetthet, utseende osv. Det godkjennes ingen synlige porer.
- Heftprøving etter avtale med byggherren. Krav til heft bør være > 1,5 MPa ved 20 °C. Heftprøving kan utføres 1 uke etter påføring. Bruddet skal være i belegget, ikke mellom belegg og betong.

8.4.5 Effekt av overflatebehandling

Generelt er å si at for alle beleggene så har instrumenteringen til nå ikke påvist noen direkte endringer av korrosjonsaktiviteten som kan skyldes overflatebehandlingen.

Oksygentilførselen til katodereaksjonen er imidlertid redusert. Dette kan skyldes at overflatebehandlingen bremser vanntransporten.

Kloridinnholdet ble målt på nordsiden av brua på prøve- og referansefelt 2 fra prøveparasjon 1993. Resultatene er vist i figur 8.4.1. Figuren gir indikasjoner på at det skjer en kloridutjevning bak Rescon Cem-Elastic.



Figur 8.4.1: Eksempel på kloridprofil i prøvefelt bak Rescon Cem-Elastic og referansefelt etter 3 års eksponering.

8.4.6 Usikre/uavklarte faktorer

En har fått verdifull erfaring ved å beskrive utførelsen nøye og følge opp og dokumentere arbeidene. Videre er det utført omfattende dokumentasjon i laboratoriet og tatt ut mange prøver fra brua. Viktige egenskaper for de ulike beleggene, som f.eks. vanddamdiffusjon, kloridbremsende effekter, heft til underlaget, er dokumentert i laboratoriet. Usikkerhetene ligger nå i hvilke endringer av armeringens

korrosjonstilstand de ulike beleggene vil føre til. Noen interessante faktorer som en håper å kunne få bedre kunnskap om i oppfølgingsprosjektet er:

- kloridutjevning
- fuktendringer i betongen
- oksygentilgang til jernet
- heft over tid
- korrosjonsaktivitet.

9. Økonomi- ressursvurderinger

9.1 Kostnader

9.1.1 Prøvereparasjon 1994

Stillaskostnader

Entreprisekostadene for prøveparasjonen i 1994 var kr. 3.935.419 der stillaskostnadene utgjorde kr. 790.000, dvs 20 %. Denne summen fordeler seg på stillas på alle åtte søylene på brua. Det ble benyttet aluminiumstillas på alle søylene bortsett fra akse 4 og 5 der det ble montert Cuplock stålstillas. Totalt søyleareal var på 1935 m², som gir en stillaskostnad på 408 kr/m². For denne type reparasjon er dette en svært høy kostnad pr. m².

Byggherren stilte her krav om at det skulle være adkomst på alle søylene samtidig og at stillaset skulle stå til alle søylene var ferdigbehandlet. Man sikrer ved et slikt valg en meget rasjonell drift ved at man har muligheter for at mange arbeidsoperasjoner kan foregå samtidig på ulike steder, samt at man kan justere arbeidene ved dårlig vær. Dette sikrer dessuten en meget god kontrollmulighet for byggherren ved at det er adgang i hele perioden vedlikeholdsarbeidene pågikk.

Sannsynligvis ville man ved vanlig vedlikehold valgt å montere stillas på et par søyler og flyttet disse videre etterhvert som arbeidene ble ferdig.

Overflatebehandling:

Etterkalkulasjon viste følgende kostnader:

Rescon CI-brems:	kr 36 pr. m ²
Rescon CI-brems + Rescon Protect Lasur:	kr 35 pr. m ²
Rescon CI-brems + Rescon Cem-Elastic:	kr 203 pr. m ²
Rescon Epoflex m/epoxy-sementsparkel:	kr 500 pr. m ² .

Disse enhetsprisene inkluderer kun materialkostnader og arbeidstimer med timepris på kr 325. Administrasjon, fortjeneste og andel av rigg og stillas er ikke tatt med.

Enhetsprisene er derfor relative tall og ikke kalkylepriser.

Etterkalkulasjon av timeverk (TV) viste følgende enhetstider:

Rescon CI-brems:	0,06 TV/m ²
Rescon CI-brems + Rescon Protect Lasur:	0,06 TV/m ²

Rescon CI-brems + Rescon Cem-Elastic:	0,44 TV/m ²
Rescon Epoflex m/epoxy-sementsparkel:	0,91 TV/m ² .

Impregnering og Protect lasur har blitt sprøytet på mens Rescon Cem-Elastic og Rescon Epoflex har blitt påført med slemmekost og malerrull. Det er helt klart at behandlinger som sprøytes på flatene er mindre arbeidskrevende og dermed gir en langt billigere utførelse.

9.1.2 Prøvereparasjon 1995

Stillaskostnader:

Entreprisekostnadene for 1995 var kr 4.403.569 der stillaskostnadene var på kr. 1.442.700, dvs 33 % av totale entreprisekostnader. Dette inkluderte fast stillas på begge feltene som ble rehabilitert, ca 2290 m². På grunn av omfattende forhåndskartlegging og oppfølging av prøvefelt fra prøveparasjon 1993 og diverse befaringer i anleggsperioden satte byggherren krav om dette.

Overflatebehandling:

Etterkalkulasjon av de ulike overflatebehandlingene viste følgende kostnader:

Rescon Silimp 100 + Rescon Protect Lasur:	kr 49 pr. m ²
Rescon Primer E 10 + Rescon Cem-Elastic:	kr 159 pr. m ²
Rescon Epoxy L-L + Cem-S + Cem-L:	kr 364 pr. m ² .

Til grunn for kalkulasjonen ligger kun materialkostnadene og arbeidstimene til påføring av materialene. Administrasjon, fortjeneste og andel av rigg og stillas er ikke tatt med.

Enhetsprisene er derfor relative tall og ikke kalkylepriser.

Sammenlignet med 1994 har kostnadene for impregnering økt med kr 13. Dette skyldes materialprisen på Silimp-100 som ble benyttet i 1995.

Kalkulasjon av timeverk (TV) viste følgende enhetstider:

Rescon Silimp 100 + Rescon Protect Lasur:	0,065 TV/m ²
Rescon Primer E 10 + Rescon Cem-Elastic:	0,259 TV/m ²
Rescon Epoxy L-L + Cem-S + Cem-L:	0,591 TV/m ² .

For 1995 reparasjonen har det blitt fokusert på å få alle materialene sprøytbare. Både Rescon Cem-Elastic og delvis epoxy beleggingen ble sprøytet, og når man sammenligner med 1994 viser enhetstidene en klar reduksjon som viser at sprøyting av materialene er kostnadsbesparende.

10. Effekt / kostnader

I tillegg til å vurdere kostnadene til de ulike overflatebehandlingene er det noen andre viktige forhold som må tas i betraktning. Materialenes effekt og levetid er viktig. Dette spesielt med hensyn på når man må gjenta behandlingen.

Materialenes robusthet mot vær og vind ved påføring er avgjørende. I et værhardt kystklima bør man velge materialer som ikke setter strenge krav til tørre forhold, lav luftfuktighet og rigide mellomstrøktider. Fleksibilitet og robusthet må vurderes sammen med materialkostnader.

Effekten av ulike overflatebehandlinger målt mot kostnader er et meget viktig moment. Det er også av stor betydning at man velger rett behandling avhengig av tilstanden til konstruksjonen.

Overflatebehandlingene på Gimsøystraumen bru har stått i altfor kort tid til at man kan si noe om effekten av de ulike materialene målt opp mot hverandre. Når man kan si noe om effekten og levetiden av overflatebehandlingene vil dette sammen med kostnadene kunne gi bedre svar på hva som bør velges som den optimale.

10.1 Vedlikeholdsstrategier og -metoder

I forkant av prøveparasjonene 1994 og 1995 ble det foretatt en kostnadsanalyse for å sammenligne forskjellige vedlikeholdsstrategier og vedlikeholdsmetoder, det vises til /24/.

De mest utslagsgivende faktorene ved sammenligning av forskjellige vedlikeholdsmetoder er:

- Enhetspriser
- Andel mekaniske reparasjoner
- Effekt og levetid av overflatebehandlingene
- Restverdi
- Realrente.

I det følgende er det gjort en vurdering av i hvilke grad prosjektets erfaringer har påvirket disse faktorene.

Enhetspriser

Enhetsprisene som ble benyttet for prøveparasjon 1994 var delvis stipulert av materialleverandøren og delvis hentet fra andre tilsvarende prosjekter.

Etterkalkulasjon viste at det var inntil ± 25 % variasjon på reparasjons- og vedlikeholdskostnadene. Den største forskjellen var på stillaskostnadene som var 3-4 ganger høyere enn det som var brukt i sammenligningene. Grunnen til de høye stillaskostnadene er beskrevet i kapittel 9.1 og en mente at de ikke skulle tillegges vekt i vurdering av vedlikeholdsmetoder.

For sammenligning av vedlikeholdsmetoder for prøveparasjon 1995 ble det benyttet erfaringspriser fra prøveparasjon 1994. På samme måte som for prøveparasjon 1994 var det kun stillaskostnadene som avvek vesentlig fra det som ble brukt i sammenligningene.

Variasjonene i enhetspriser vil derfor ikke være utslagsgivende for sammenligningen av vedlikeholdsmetoder.

Andel mekaniske reparasjoner

I sammenligningen av vedlikeholdsmetodene for prøveparasjon 1994 var det for lavt og middels kloridinnhold antatt at det ikke var behov for mekaniske reparasjoner. For høyt kloridinnhold var det antatt at behovet var ca. 15 % av flaten.

Etterkalkulasjon viste at skadeomfanget på søylene bare var ca. 5 %. Dette betyr at kostnadsforskjellen mellom lavt/middels kloridinnhold og høyt vil bli redusert, men den innbyrdes rekkefølgen for de forskjellige vedlikeholdsmetodene vil påvirkes lite kloridinnhold, se figur 8.1 i /24/.

Effekt og levetid for overflatebehandlinger

OFU-prosjektet har så langt ikke gitt noe svar på effekten og levetiden til de ulike typene overflatebehandlinger som ble benyttet. Erfaringer med dette antar en først å få mot slutten av oppfølgingsperioden.

Restverdi

Sammenligning av de forskjellige vedlikeholdsmetodene er gjort i et tidsrom på 30 år. Kostnader som påløper etter dette vil slå lite ut i en nåverdiberegning og er av den grunn neglisjert.

Etter perioden på 30 år er det imidlertid forutsatt at restverdien av brua er den samme uansett vedlikeholdsmetode. Dette er noe en ikke kan være sikker på, men OFU-prosjektet har så langt ikke kunnet dokumentere forskjeller mellom de ulike

vedlikeholdsmetodene som kan påvirke restverdien. Det er mulig at en i slutten av oppfølgingsperioden har mer dokumentasjon om dette.

Realrente

Realrentens størrelse vil påvirke sammenligningen av de ulike vedlikeholdsmetodene forholdsvis mye. Statens vegvesen har imidlertid bestemt at det skal brukes 7 % realrente og at det ikke skal tas hensyn til kortsiktige variasjoner.

Oppsummering

På det nåværende tidspunkt har ikke OFU-prosjektet kunnet dokumentere endringer som påvirker de utførte sammenligningene av vedlikeholdsmetoder.

11. Måloppnåelse - uavklarte forhold

11.1 Generelt

Målsetningen med OFU-prosjektet og prøvereparasjonene er beskrevet i kapittel 2 og kan oppsummeres som følger:

1. Metodeutvikling og dokumentasjon av lokale mekaniske reparasjoner
2. Dokumentasjon av funksjonen til ulike typer overflatebehandlinger
3. Grunnlag for kravspesifikasjon i prosjektets reparasjonsanbefaling
4. Erfaringsdata vedrørende ulike faglige problemstillinger knyttet til bestandighet, vedlikehold og reparasjon
5. Utprøving og videreutvikling av metoder for instrumentering.

Generelt trodde man at resultatene fra de forskjellige prøvereparasjonene ville komme mye raskere enn det som har vært tilfelle. Dette har gjort at en ennå ikke har fått svar på alle målene en satte seg. Det er imidlertid bestemt at det skal foretas en videre oppfølging av prøvereparasjonene i de neste 5-10 årene for å samle mest mulig erfaringer om disse.

I det etterfølgende er det gitt en vurdering av hvordan prosjektgruppen mener at måloppnåelsen for de ovennevnte punktene var ved prosjektets avslutning og hva som gjenstår som uavklarte forhold.

11.2 Metodeutvikling og dokumentasjon av mekanisk reparasjon

Omfanget av vannmeisling og tørrsprøyting har vært forholdsvis begrenset slik at det er lite nytt å tilføre når det gjelder metoder, men en viktig faktor å merke seg er faren for utknekking av armeringsjern når større områder frilegges. På tross av at det i dette tilfellet var utført beregninger av knekk lengder for armeringen, så knakk armeringen ut ved mindre lengder enn beregnet. Dette skyldes at armeringsspenningene er større enn beregnet pga. kryptomlagringer.

Da skadeomfanget var lite ble det for det meste brukt håndmeisling og tørrsprøyting. På dette området har en trukket erfaringer når det gjelder sårutforming og krav til tidligsvinn for mørtler.

Det er utført testing av forskjellige reparasjonsmørtler etter eksisterende og nye metoder for å få klarlagt hvilke som er best egnet til å dokumentere mørtler som skal benyttes på betongkonstruksjoner i kloridbelastet klima. Dette har resultert i forslag til dokumentasjonskrav for håndmørtler og sprøytemørtler.

Uavklarte forhold er:

- Kloridutjevning i reparasjonsmørtel
- Hvordan påvirkes korrosjonsaktiviteten av en lokal reparasjon
- Effekt av inhibitorer i reparasjonsmørtler.

Det forventes at oppfølgingsprosjektet vil gi svar på flere av disse forholdene.

11.3 Dokumentasjon av overflatebehandlinger

Målet var å få dokumentert funksjonen til ulike overflatebehandlinger som:

1. Hydrofobering
2. Akrylbasert maling
3. Elastisk slemmemasse
4. Epoxy.

OFU-prosjektet har så langt gitt mange erfaringer når det gjelder typer av overflatebehandlinger som bør brukes samt påføringsteknikker. Metoder for sprøyting av hydrofoberingsmidler og Rescon Cem-Elastic ble blant annet utviklet.

Det er utført testing av forskjellige materialer etter eksisterende og nye metoder for å få klarlagt hvilke som er best egnet til å dokumentere materialer som skal benyttes på betongkonstruksjoner i kloridbelastet klima. Dette har resultert i forslag til dokumentasjonskrav for hydrofoberinger og filmdannende belegg.

Prosjektet har imidlertid til nå ikke gitt endelige data om hvordan de ulike overflatebehandlingene påvirker faktorer som:

- Videre inntrengning av klorider og fukt
- Utjevning av klorider i bakenforliggende betong
- Korrosjonsaktiviteten på armeringen.

Det er heller ikke endelig avklart hvordan forbehandlingen påvirker hydrofoberingen. Levetiden på de ulike overflatebehandlingene er også usikker. Det er vanskelig å

oppnå lik farge på ulike typer overflatebehandling. Dette betyr at de ikke bør brukes på samme flate.

En del av disse faktorene forventer en svar på i forbindelse med oppfølgingsprosjektet.

11.4 Grunnlag for kravspesifikasjon i prosjektets reparasjonsanbefaling

OFU-prosjektet har gitt mange nyttige erfaringer og anbefalinger både når det gjelder inspeksjon av store kystbruer, reparasjon og vedlikehold av kystbruer og dokumentasjon av produkter til reparasjon og vedlikehold.

Disse erfaringene og anbefalingene vil bli innarbeidet i reparasjonsanbefalingen som lages i forbindelse med prosjektet. Reparasjonsanbefalingen vil inneholde prosessbeskrivelser og arbeidsprosedyrer hvor erfaringene og anbefalingene vil inngå.

Uavklarte forhold i denne sammenheng vil være som beskrevet i kapittel 10.2 og 10.3.

11.5 Erfaringer vedrørende ulike faglige problemstillinger

Et av målene var at en skulle samle erfaringer vedrørende ulike problemstillinger knyttet til bestandighet, vedlikehold og reparasjon. Det har dukket opp flere slike problemstillinger i løpet av prosjektperioden:

- Betonghelleprosjektet - som skulle gi økt kunnskap om effektene av ulike overflatebehandlinger
- Overrisling med ferskvann for å vaske ut klorider
- Korrosjon i riss
- Katodisk beskyttelse med ledende belegg på hydrofoberte flater.

Flere av disse prosjektene har gitt verdifulle erfaringer, men det er også områder hvor det fortsatt er ubesvarte spørsmål. Dette er blant annet:

- Betonghelleprosjektet hvor flere resultater vil foreligge i oppfølgingsperioden
- Vannoverrislingen hvor feltforsøket ga svært usikre resultater
- Det var få riss på konstruksjonen så erfaringene med korrosjon i riss er svært begrensede

- Det er heller ikke avklart hvordan konstruksjonens levetid påvirkes av de ulike vedlikeholdstiltakene.

11.6 Instrumentering

I løpet av prosjektet skulle en utprøve og videreutvikle metoder for tilstandsovervåkning og dokumentasjon av de forskjellige vedlikeholdsmetodene. Resultatene fra dette er gjengitt i sluttrapport fra IDV-gruppen /26/.

12. Referanser

Fortrolige rapporter og notater er merket med *.

- /1/ * Statens Vegvesen Nordland: *Kontrakt: Prøvereferasjon 1993*. OFU Gimsøystraumen bru. 07/1993.
- /2/ * Resconsult: *Prosjekthåndbok: Prøvereferasjon 1993*. OFU Gimsøystraumen bru. 07/1993.
- /3/ * T. Helgedagsrud, Resconsult AS: *Sluttrapport: Prøvereferasjon 1993, Gimsøystraumen bru*. Arbeidsrapport A-94-011. OFU Gimsøystraumen bru. 06/94.
- /4/ * Claus K. Larsen, Vegdirektoratet, Veglaboratoriet: *Resultater fra forhåndskartlegging og laboratorieanalyser; Prøvereferasjon 1*. Arbeidsrapport A-94-015. OFU Gimsøystraumen bru. 05/94.
- /5/ * Statens vegvesen Nordland: *Kontrakt: Prøvereferasjon 1994*. OFU Gimsøystraumen bru. 06/1994.
- /6/ * Resconsult: *Prosjekthåndbok: Prøvereferasjon 1994*. OFU Gimsøystraumen bru. 05/1994.
- /7/ * Steinar Fjeldheim, Vegdirektoratet, Bruavdelingen: *Oppsummering av analyser/beregninger på Gimsøystraumen bru*. Arbeidsrapport A-94-016. OFU Gimsøystraumen bru. 04/95.
- /8/ * S. Hognestad, Resconsult AS, B. Kristiansen og R. Myrdal, Rescon AS: *Sluttrapport: Prøvereferasjon 2*. Arbeidsrapport A-94-017. OFU Gimsøystraumen bru. 03/95.
- /9/ * Problemdefinisjonsgruppen: *Problemdefinisjon og produktdokumentasjon; Rapport 2: Aktivitetsplan for utvikling*. Arbeidsrapport A-94-019. OFU Gimsøystraumen bru. 02/95.
- /10/ * Bjørn Bonsak, Rescon AS: *Utvikling av membranherdere*. Arbeidsrapport A-95-020. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.
- /11/ * Geir Tjugum, Rescon AS: *Utvikling av sement epoxybasert poresparkel*. Arbeidsrapport A-95-021. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.
- /12/ * Tor Berg, Statens vegvesen Nordland: *Byggherrens sluttrapport: Prøvereferasjon 2*. Arbeidsrapport A-95-023. OFU Gimsøystraumen bru. 02/1995.

- /13/ * Geir Tjugum, Rescon AS: *Evaluering av prøveferasjon 2. Gimsøystraumen bru. Arbeidsrapport A-95-024. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.*
- /14/ * Geir Tjugum, Rescon AS: *Utvikling av sement epoxybasert slømmemasse. Arbeidsrapport A-95-025. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.*
- /15/ * Problemdefinisjonsgruppen: *Problemdefinisjon og produktokumentasjon; Rapport 1: Problemdefinisjon. Arbeidsrapport A-95-026. OFU Gimsøystraumen bru. 01/95.*
- /16/ * Statens vegvesen Nordland: *Kontrakt: Prøvereferasjon 1995. OFU Gimsøystraumen bru. 05/1995.*
- /17/ * Ola Holter, Rescon AS: *Tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer til betong, effekt av inhibitorer. Arbeidsrapport A-95-028. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.*
- /18/ * Bjørn Bonsak, Rescon AS: *Sement/sement-latexbaserte produkter, elastisk sement latex slømmemasse. Arbeidsrapport A-95-029. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.*
- /19/ * S. Hognestad, Resconsult AS, B. Kristiansen og R. Myrdal Rescon AS: *Sluttrapport: Prøvereferasjon III. Arbeidsrapport A-95-032. OFU Gimsøystraumen bru. 12/96.*
- /20/ * Tor Berg, Statens vegvesen Nordland: *Byggherrens sluttrapport: Prøvereferasjon III. Arbeidsrapport A-95-033. OFU Gimsøystraumen bru. 12/95.*
- /21/ * Prosjektgruppe: *Problemdefinisjon og produktokumentasjon; Rapport 3: Dokumentasjonskrav. Høringsutgave. Arbeidsrapport A-95-035. OFU Gimsøystraumen bru. 01/95.*
- /22/ Steinar Fjeldheim, Knut A. Grefstad og Erik Åldstedt: *Deterioration of a prestressed concrete box girder bridge - assessment of residual strength. In: FIP Symposium Post-tensioned Concrete Structures, London 25-27 September 1996. The Concrete Society.*
- /23/ Vegdirektoratet, Bruavdelingen: *Inspeksjon og tilstandsvurdering av kystbruer i betong. Rapport 17. 1991.*
- /24/ OFU Gimsøystraumen bru: *Klimapåkjøning og tilstandsvurdering. Sluttrapport S-96-040. OFU Gimsøystraumen bru. 11/97.*
Gis også ut som Publikasjon nr. 85 ved Veglaboratoriet.
- /25/ * Per Austnes, Statens vegvesen Møre og Romsdal: *Virkningen av impregnering ved katodisk beskyttelse. Notat. OFU Gimsøystraumen bru. 08/96.*

- /26/ OFU Gimsøystraumen bru: *Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon*. Sluttrapport S-97-045. OFU Gimsøystraumen bru. (Under utarbeidelse.)
Gis også ut som Publikasjon nr. 86 ved Veglaboratoriet.
- /27/ * Bernt Kristiansen, Rescon AS: *Tilstandsundersøkelse av prøveparasjoner*. Notat. OFU Gimsøystraumen bru. 09/96.
- /28/ * Tor Berg, Statens vegvesen Nordland: *Utpøving av overflatebehandlinger på betongheller*. Høringsutgave. Prosjektrapport P-96-037. OFU Gimsøystraumen bru. 12/96.
- /29/ * Prosjektgruppe: *Problemdefinisjon og produktdokumentasjon; Rapport 4: Dokumentasjon*. Høringsutgave. Prosjektrapport P-96-042. OFU Gimsøystraumen bru. 12/96.
- /30/ * Bernt Kristiansen, Rescon AS: *Utført produktdokumentasjon i prosjektet*. Prosjektrapport P-97-046. OFU Gimsøystraumen bru. (Under utarbeidelse.)
- /31/ * Terje Kanstad og Sverre Smepllass: *Chloride Transport in Concrete; Analysis of Chloride Penetration by the Finite Element Method*. NTNU oppdragsrapport. 10/95.
- /32/ *International Conference Repair of Concrete Structures - From Theory to Practice in a Marine Environment, Svolvær, Norway 28-30 May 1997; Proceedings*. Norwegian Road Research Laboratory.
- /33/ *International Conference Repair of Concrete Structures - From Theory to Practice in a Marine Environment. Svolvær, Norway 28-30 May 1997; Proceedings; Additional Papers*. Norwegian Road Research Laboratory.

Henvendelser vedrørende rapporter og notater fra OFU Gimsøystraumen bru kan rettes til prosjektleder Aage Blankvoll, Statens vegvesen Nordland, Nordstrandsveien 41, 8002 Bodø.

Publikasjoner fra Veglaboratoriet

33. R. E. OLSEN, K. FLAATE. Pile-Driving Formulas for Friction Piles in Sand. 18 p. 1968.
34. H. BRUDAL. Vegforskning i Norge (Road Research in Norway). 30 p. 1968.
35. A. SKOGSEID. Telesikring ved isoleringsmaterialer (Prevention of frost heave in roads with insulating materials). 15 p. 1968.
36. T. THURMANN-MOE. Slitasje på forskjellige vegdekketyper forårsaket av piggdekk og kjettinger (Pavement wear caused by the use of studded tyres and snow chains). 10 p. 1970.
37. A. SKOGSEID. Frostsikring av vegger ved isolering. Litt om det fysiske grunnlaget (Prevention of frost heave in roads. An outline of the theory for the use of insulating materials). R. SÆTERS DAL. Varmeisolasjonsmaterialer i vegoverbygningen (Insulation materials in road construction). Å. KNUTSON. Frostsikre vegger med bark. Orientering om pågående undersøkelser (Frost protection of highways by a subbase of bark). H. RUISTUEN. Kostnader ved frostsikring av vegger (Costs for frost protection of roads). 34 p. 1971.
38. Ø. JOHANSEN. Varmeledningsevne av forskjellige vegbyggingsmaterialer (The thermal conductivity of various road aggregates). 18 p. 1971.
39. R. S. NORDAL, E. HANSEN. Vormsund Forsøksveg, Del 1: Planlegging og bygging (Vormsund Test Road, Part 1: Design and Construction). 48 p. 1971.
40. R. S. NORDAL. Vormsund Forsøksveg, Del 2: Instrumentering (Vormsund Test Road, Part 2: Instrumentation). 38 p. 1972.
41. K. FLAATE and R. B. PECK. Braced Cuts in Sand and Clay. 29 p. 1972.
42. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Komprimering av asfaltdekker (Compaction of Asphalt Pavements). Hurtige metoder for komprimeringskontroll av asfaltdekker (Rapid Methods for Compaction Control of Asphalt Pavements). 39 p. 1972.
43. Å. KNUTSON. Dimensjonering av vegger med frostakkumulering underlag (Design of Roads with a Frost accumulating Bark Layer). K. SOLBRAA. Barkens bestandighet i vegfundamenter (The Durability of Bark in Road Constructions). G. S. KLEM. Bark i Norge (Bark in Norway). 32 p. 1972.
44. J. HODE KEYSER, T. THURMANN-MOE. Slitesterke bituminøse vegdekker (Characteristics of wear resistant bituminous pavement surfaces). T. THURMANN-MOE, O. E. RUUD. Rustdannelse på biler (Vehicle corrosion due to the use of chemicals in winter maintenance and the effect of corrosion inhibitors). T. THURMANN-MOE, O. E. RUUD. Kjemikalier i vintervedlikeholdet (Norwegian saltpeter and urea as alternative chemicals for winter maintenance). O. E. RUUD, B-E. SÆTHER, F. ANGERMO. Understellsbehandling av biler (Undersealing of vehicles with various sealants). 38 p. 1973.
45. Proceedings of the International Research Symposium on Pavement Wear, Oslo 6th-9th June 1972. 227 p. 1973.
46. Frost i veg 1972. Nordisk Vegteknisk Forbunds konferanse i Oslo 18-19 sept. 1972 (Frost Action on Roads 1972. NVF Conference in Oslo 1972). 136 p. 1973.
47. Å. KNUTSON. Praktisk bruk av bark i vegbygging (Specifications for Use of Bark in Highway Engineering). E. GJESSING, S. HAUGEN. Barkavfall – vannforurensning (Bark Deposits – Water Pollution). 23 p. 1973.
48. Sikring av vegtunneler (Security Measures for Road Tunnels). 124 p. 1975.
49. H. NOREM. Registrering og bruk av klimadata ved planlegging av høgfjellsveger (Collection and Use of Weather Data in Mountain Road Planning). H. NOREM. Lokalisering og utforming av vegger i drivsnømråder (Location and Design of Roads in Snow-drift Areas). H. NOREM, J. G. ANDERSEN. Utforming og plassering av snøskjermer (Design and Location of Snow Fences). K. G. FIXDAL. Snøskredoverbygg (Snowsheds). H. SOLBERG. Snørydding og snøryddingsutstyr i Troms (Winter Maintenance and Snow Clearing Equipment in Troms County). 59 p. 1975.
50. J. P. G. LOCH. Frost heave mechanism and the role of the thermal regime in heave experiments on Norwegian silty soils. K. FLAATE, P. SELNES. Side friction of piles in clay. K. FLAATE, T. PREBER. Stability of road embankments in soft clay. A. SØRLIE. The effect of fabrics on pavement strength – Plate bearing tests in the laboratory. S. L. ALFHEIM, A. SØRLIE. Testing and classification of fabrics for application in road constructions. 48 p. 1977.
51. E. HANSEN. Armering av asfaltdekker (Reinforced bituminous pavements). T. THURMANN-MOE, R. WOLD. Halvsåling av asfaltdekker (Resurfacing of bituminous pavements). A. GRØNH AUG. Fremtidsperspektiver på fullprofilboring av vegtunneler (Full face boring of road tunnels in crystalline rocks). E. REINSLETT. Vegers bæreevne vurdert ut fra maksimal nedbøyning og krumming (Allowable axle load (technically) as determined by maximum deflection and curvature). 52 p. 1978.
52. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Lyse vegdekker (High luminance road surfaces). A. ARNEVIK, K. LEVIK. Erfaringer med bruk av overflatebehandlinger i Norge (Experiences with surface dressings in Norway). J. M. JOHANSEN. Vegdekkers jevnhet (Road roughness). G. REFSDAL. Vegers bæreevne bestemt ved oppgraving (indeksmetoden) og nedbøyningsmåling. Er metodene gode nok? (Road bearing capacity as decided by deflection measurements and the index method). 44 p. 1980.
53. E. HANSEN, G. REFSDAL, T. THURMANN-MOE. Surfacing for low volume roads in semi arid areas. H. MTANGO. Dry compaction of lateritic gravel. T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method. Performance and economy. G. REFSDAL. Thermal design of frost proof pavements. R. G. DAHLBERG, G. REFSDAL. Polystyrene foam for lightweight road embankments. A. SØRLIE. Fabrics in Norwegian road building. O. E. RUUD. Hot applied thermoplastic road marking materials. R. SÆTERS DAL, G. REFSDAL. Frost protection in building construction. 58 p. 1981.
54. H. ØSTLID. High clay road embankments. A. GRØNH AUG. Requirements of geological studies for undersea tunnels. K. FLAATE, N. JANBU. Soil exploration in a 500 m deep fjord, Western Norway. 52 p. 1981.
55. K. FLAATE. Cold regions engineering in Norway. H. NOREM. Avalanche hazard, evaluation accuracy and use. H. NOREM. Increasing traffic safety and regularity in snowstorm periods. G. REFSDAL. Bearing capacity survey on the Norwegian road network method and results. S. DØRUM, J. M. JOHANSEN. Assessment of asphalt pavement condition for resurfacing decisions. T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method for improved gravel road maintenance.

- R. SÆTERSDAL. Prediction of frost heave of roads.
A. GRØNHAUG. Low cost road tunnel developments in Norway. 40 p. 1983.
56. R. S. NORDAL. The bearing capacity, a chronic problem in pavement engineering?
E. REINSLETT. Bearing capacity as a function of pavement deflection and curvature.
C. ØVERBY. A comparison between Benkelman beam, DCP and Clegg-hammer measurements for pavement strength evaluation.
R. S. NORDAL. Detection and prediction of seasonal changes of the bearing capacity at the Vormsund test road.
P. KONOW HANSEN. Norwegian practice with the operation of Dynaflect.
G. REFSDAL, C-R WARNINGHOFF. Statistical considerations concerning the spacing between measuring points for bearing capacity measurements.
G. REFSDAL, T. S. THOMASSEN. The use of a data bank for axle load policy planning and strengthening purpose.
T. S. THOMASSEN, R. EIRUM. Norwegian practices for axle load restrictions in spring thaw. 80 p. 1983.
57. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). Vormsund forsøksveg. Del 3: Observasjoner og resultater (Vormsund Test Road, Part 3: Observations and Results). 168 p. 1984.
58. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). The Vormsund Test Road. Part 4: Summary Report. 82 p. 1987.
59. E. LYGREN, T. JØRGENSEN, J. M. JOHANSEN. Vannforurensning fra veier. I. Sammendragsrapport. II. Veiledning for å håndtere de problemer som kan oppstå når en veg kommer i nærheten av drikkevannforekomst (Highway pollution). 48 p. 1985.
60. NRRL, ASPHALT SECTION. Surfacing for low volume roads.
T. E. FRYDENLUND. Superlight fill materials.
K. B. PEDERSEN, J. KROKEBORG. Frost insulation in rock tunnels.
H. ØSTLID. Flexible culverts in snow avalanche protection for roads.
K. FLAATE. Norwegian fjord crossings why and how.
H. S. DEIZ. Investigations for subsea tunnels a case history.
H. BEITNES, O. T. BLINDHEIM. Subsea rock tunnels. Preinvestigation and tunnelling processes. 36 p. 1986.
51. Plastic Foam in Road Embankments:
T. E. FRYDENLUND. Soft ground problems.
Ø. MYHRE. EPS – material specifications.
G. REFSDAL. EPS – design considerations.
R. AABØE. 13 years of experience with EPS as a lightweight fill material in road embankments.
G. REFSDAL. Future trends for EPS use.
Appendix: Case histories 1-12. 60 p. 1987.
62. J. M. JOHANSEN, P. K. SENSTAD. Effects of tire pressures on flexible pavement structures – a literature survey. 148 p. 1992.
63. J. A. JUNCA UBIERNA. The amazing Norwegian subsea road tunnels. 24 p. 1992.
64. A. GRØNHAUG. Miljøtiltak ved vegbygging i bratt terreng (Environmental measures for road construction in mountain slopes).
Ø. MYHRE. Skumplast uten skadelige gasser (The phase out of hard CFCs in plastic foam).
T. JØRGENSEN. Vurdering av helsefare ved asfaltstøv (Evaluation of health risks of dust from asphalt wear).
N. RYGG. Miljømessig vegtilpassing (Environmental road adjustment). 52 p. 1992.
65. C. HAUCK. The effect of fines on the stability of base gravel.
A. A. ANDRESEN, N. RYGG. Rotary-pressure sounding 20 years of experience. 24 p. 1992.
66. R. EVENSEN, P. SENSTAD. Distress and damage factors for flexible pavements. 100 p. 1992.
67. STEINMATERIALKOMITEEN. Steinmaterialer (Aggregates). 20 p. 1993.
68. Å. KNUTSON. Frost action in soils. 40 p. 1993.
69. J. VASLESTAD. Stål- og betongelementer i løsmassetunneler (Corrugated steel culvert and precast elements used for cut and cover tunnels).
J. VASLESTAD. Støttekonstruksjoner i armert jord (Reinforced soil walls). 56 p. 1993.
70. SINTEF SAMFERDSELSTEKNIKK. Vegbrukers reduserte transportkostnader ved opphevelse av telerestriksjoner (Reduced transportation costs for road user when lifting axle load restrictions during spring thaw period). 144 p. 1993.
71. R. Evensen, E. Wulvik. Beregning av forsterkningsbehov basert på tilstandsvurderinger – analyse av riks- og fylkesvegnettet i Akershus (Estimating the need of strengthening from road performance data). 112 p. 1994.
72. Fjellbolting (Rockbolting). 124 p. 1994.
73. T. BÆKKEN, T. JØRGENSEN. Vannforurensning fra veg – langtidseffekter (Highway pollution – long term effect on water quality). 64 p. 1994.
74. J. VASLESTAD. Load reduction on buried rigid pipes.
J. VASLESTAD, T. H. JOHANSEN, W. HOLM. Load reduction on rigid culverts beneath high fills, long-term behaviour.
J. VASLESTAD. Long-term behaviour of flexible large-span culverts. 68 p. 1994.
75. P. SENSTAD. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Bedre utnyttelse av vegens bæreevne» («Better utilization of the bearing capacity of roads, final report»). 48 p. 1994.
76. F. FREDRIKSEN, G. HASLE, R. AABØE. Miljøtunnel i Borre kommune (Environmental tunnel in Borre Municipality).
F. FREDRIKSEN, F. OSET. GEOPLOT – dak-basert presentasjon av grunnundersøkelser (GEOPLOT – CAD-based presentation of geotechnical data). 48 p. 1994.
77. R. KOMPEN. Bruk av glideforskaling til brusøyler og -tårn (Use of slipform for bridge columns and towers). 16 p. 1995.
78. R. KOMPEN. Nye regler for sikring av overdekning (New practice for ensuring cover).
R. KOMPEN, G. LIESTØL. Spesifikasjoner for sikring av armeringens overdekning (Specifications for ensuring cover for reinforcement). 40 p. 1995.
79. The 4th international conference on the «Bearing capacity of roads and airfields» – papers from the Norwegian Road Research Laboratory. 96 p. 1995.
80. W. ELKEY, E. J. SELLEVOLD. Electrical resistivity of concrete. 36 p. 1995.
81. Å. KNUTSON. Stability analysis for road construction. 48 p. 1995.
82. A. ARNEVIK, E. WULVIK. Erfaringer med SPS-kontrakter for asfaltering i Akershus (Experiences with wear-guaranteed asphalt contracts on high volume roads in Akershus county). 28 p. 1996.
83. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Teknisk utvikling innen bru- og tunnelbygging» («Technical development – bridge and tunnel construction, final report»). 20 p. 1996.
84. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Prøvereparasjon og produktutvikling» («Trail repairs and product development, final report»). 156 p. 1997.
85. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Klimapåkjenning og tilstandsvurdering» («Climatic loads and condition assessment, final report»). 248 p. 1998.
86. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon» («Instrumentation, documentation and verification, final report») 128 p. 1998.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Returadresse:
Veglaboratoriet
Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Følgende sluttdokumentasjon fra prosjektet OFU
Gimsøystraumen bru gis ut som Publikasjoner:

Publikasjon nr. 84
OFU Gimsøystraumen bru -
Sluttrapport:
Prøvereparasjon og produktutvikling

Publikasjon nr. 85
OFU Gimsøystraumen bru -
Sluttrapport:
Klimapåkjønning og tilstandsvurdering

Publikasjon nr. 86
OFU Gimsøystraumen bru -
Sluttrapport:
Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon

Publikasjon nr. 87
OFU Gimsøystraumen bru:
*Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og
overflatebehandling av kystbruer i betong*

Publikasjon nr. 88
OFU Gimsøystraumen bru:
*Anbefalinger for instrumentert
korrosjonsovervåkning av kystbruer i betong*

Publikasjon nr. 89
OFU Gimsøystraumen bru:
*Hovedresultater og oversikt
over sluttdokumentasjon*