

nr. 87

Publikasjon

OFU Gimsøystraumen bru

Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Veglaboratoriet

OFU GIMSØYSTRAUMEN BRU

Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong

Datafil: o:\opp\5622\repveil\rep-anb6.doc

12.06.98

<p>Forfattere: Reidar Kompen Aage Blankvoll Claus K. Larsen Bernt Kristiansen Bjørn Bonsak Jon Halden</p> <p>Firma: Statens vegvesen, Vegdirektoratet Statens vegvesen Nordland Statens vegvesen, Vegdirektoratet Rescon AS Rescon AS SCC Abel Engh AS</p>	<p>OFU Gimsøystraumen bru: Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong</p> <p>Dato: juli 1998</p> <p>Antall sider: 116</p>
<p>Ekstrakt:</p> <p>Denne rapporten oppsummerer resultater og erfaringer fremkommet i prosjektet «OFU Gimsøystraumen bru» og gir anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og vedlikehold av store betongbruer i kystklima.</p>	<p>Stikkord: Bru Betong Klorider Inspeksjon Vedlikehold Reparasjon</p>
<p>Extract:</p> <p>This report summarises the results and the experiences from the «OFU Gimsøystraumen bridge repair project» and gives recommendations for inspection, repair and maintenance of large concrete bridges in coastal climate.</p>	<p>Keywords: Bridge Concrete Chlorides Inspection Maintenance Repair</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:	1100

Forord

Prosjektet «OFU Gimsøystraumen bru» var et samarbeid mellom Statens vegvesen, Rescon A/S og Statens Nærings- og Distriktsutviklingsfond (SND). Prosjektet knyttet forskning og utviklingsoppgaver til reparasjon av Gimsøystraumen bru i Nordland. Prosjektet startet i 1993 og ble avsluttet i 1997.

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 var i korte trekk bakgrunnen for inngåelsen av OFU-kontrakten. I Statens vegvesen var det nært samarbeid mellom Nordland vegkontor, Bruavdelingen og Veglaboratoriet i Vegdirektoratet.

I prosjektets siste år (1996) besto basisorganisasjonen av en styringsgruppe og to prosjektgrupper. Prosjektgruppene hadde ansvaret for utarbeidelsen av sluttdokumentasjonen i prosjektet.

Styringsgruppen besto av Arnfinn Pettersen (Statens vegvesen Nordland), Geir Tjugum (Rescon AS), Håvard Østlid (Veglaboratoriet), Olav Grindland (Bruavdelingen), Elisabeth Schjølberg (Produksjonsavdelingen, Vegdirektoratet), Gørild Malm Cornejo (Veglaboratoriet) og Jan Henrik Sæther (SND). Prosjektleder har vært Aage Blankvoll, Statens vegvesen Nordland. Både prosjektleder og ansvarlig for gjennomføring av prosjektet hos Rescon, Bernt Kristiansen, møtte fast i styringsgruppen.

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

IDV-gruppen hadde følgende medlemmer: Bård Espelid (Det Norske Veritas), Øystein Vennesland (NTNU), Erik J. Sellevold (NTNU), Ketil Videm (UiO), Bernt Kristiansen (Rescon AS), Roar Myrdal (Rescon AS), Claus K. Larsen (Veglaboratoriet), Finn Fluge (Veglaboratoriet), Aage Blankvoll (Statens vegvesen Nordland) og Tor Berg (Statens vegvesen Nordland).

Reparasjonsanbefalingen og Instrumenteringsanbefalingen er forutsatt å være et supplement til de håndbøker i Statens vegvesen som omhandler samme tema, dvs.:

Statens vegvesen håndbok 147:	Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer
Statens vegvesen håndbok 136:	Inspeksjonshåndbok for bruer
Statens vegvesen håndbok 015:	Feltundersøkelser

Statens vegvesen håndbok 026:	Prosesskode-2. Standard arbeids- beskrivelse for bruer og kaier, 1997
Statens vegvesen håndbok 129:	Dokumentasjon av bruer.

Resultater fra prosjektet er også benyttet i utarbeidelsen av disse der dette har vært mulig i forhold til utgivelsestakten til håndbøkene.

Det vil bli en videre oppfølging av de utførte prøvereparasjonene på Gimsøystraumen bru i en 5-års periode med mulighet for forlengelse i 5 år til. Resultatene fra oppfølgingsprosjektet vil kunne medføre revisjoner av prosjektets Reparasjonsanbefaling og Instrumenteringsanbefaling.

Innhold

1. Innledning	1
2. Definisjoner	1
3. Inspeksjon	2
3.1 Lokaliseringssystem	2
3.1.1 Generelt.....	2
3.1.2 Akseinnndeling	2
3.1.3 Utbredning av overbygning.....	3
3.1.4 Utbredning av søyler.....	5
3.1.5 Merking av lokaliseringssystem	6
3.2 Tilkomst.....	6
3.3 Måltrettet inspeksjon.....	7
3.3.1 Generelt om inspeksjonsplanlegging	7
3.3.2 Lokalisering og omfang av materialundersøkelser	10
4. Metoder for inspeksjon og materialundersøkelser	12
4.1 Oversikt over metoder	12
4.2 Visuell kontroll	13
4.2.1 Generelt om visuell kontroll.....	13
4.2.2 Spesiell beskrivelse 87.17 Spesiellinspeksjon	14
4.3 Materialundersøkelser - igjenstøping etter prøvetaking	14
4.3.1 Generelt.....	14
4.3.2 Spesiell beskrivelse 87.182 Materialundersøkelse - betong.....	14
4.4 Armeringslokalisering/betongoverdekning	15
4.4.1 Generelt.....	15
4.4.2 Spesiell beskrivelse 87.1821 Armeringslokalisering/betongoverdekning..	16
4.4.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse	19
4.5 Kloridinnhold.....	22
4.5.1 Generelt.....	22
4.5.2 Spesiell beskrivelse 87.1823 Kloridinnhold	24
4.5.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse	25
4.6 Korrosjonsundersøkelse	26
4.6.1 Generelt.....	26
4.6.2 Spesiell beskrivelse 87.1824 Korrosjonsundersøkelse	26
4.6.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse	27
4.7 Opphugging for korrosjonsbedømmelse.....	28
4.7.1 Generelt.....	28
4.7.2 Spesiell beskrivelse 87.1828 Opphugging for korrosjonsbedømmelse	29
4.7.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse	30

4.8 Fuktmåling og porøsitet	31
4.8.1 Generelt.....	31
4.8.2 Ny prosess 87.18291 Fuktmåling og porøsitet.....	31
4.8.3 Kommentarer til spesiell beskrivelse.....	32
5. Vurdering av inspeksjonsresultatet.....	34
5.1 Generelt.....	34
5.2 Levetidsmodell for armeringskorrosjon som følge av kloridinntrengning.....	35
5.2.1 Forenklet modell.....	35
5.2.2 Videreutviklet levetidsmodell.....	36
5.2.3 Nedbrytningsfaser.....	37
5.3 Presentasjon av resultater.....	39
5.4 Sammenheng mellom de forskjellige undersøkelsene.....	43
5.5 Tilpasning til Inspeksjonshåndboka.....	45
5.6 Statistiske vurderinger.....	47
6. Vedlikehold	48
6.1 Vedlikeholdsstrategier	48
6.2 Vedlikeholdstiltak for kloridinfisert betong.....	52
6.3 Vedlikeholdstiltak for de ulike nedbrytningsfasene.....	54
6.3.1 Tiltak i fase 1	55
6.3.2 Tiltak i fase 2	55
6.3.3 Tiltak i fase 3	55
6.3.4 Tiltak i fase 4	56
7. Dokumentasjon av materialer og ferdig produkt	57
7.1 Krav knyttet til reparasjons- og vedlikeholdsprosessen.....	57
7.2 Generelle krav til dokumentasjon.....	59
7.2.1 Materialdeklarasjon.....	59
7.2.2 Identifikasjon av forpakninger	60
7.2.3 Prøvningsfrekvens i felt	60
7.2.4 Spesiell beskrivelse for prosess 87.4 Betongarbeider.....	61
8. Rigg, stillaser og skjerming for vedlikehold av betong.....	62
9. Mekaniske reparasjoner.....	64
9.1 Generelt.....	64
9.1.1 Fjerning av betong.....	64
9.1.2 Rengjøring av sårflater og korrodert armering	66
9.1.3 Forvanning, håndmørtling/sprøyting og etterbehandling.....	67
9.1.4 Optimalisering av reparasjonsprosedyren.....	68
9.2 Spesiell beskrivelse prosess 87.42 Mekanisk reparasjon	70
9.2.1 Bakgrunn	70
9.2.2 b) Krav til materialer.....	70
9.2.3 c) Krav til utførelse.....	73
9.2.4 d) Prøvetaking og e) Toleranser	78
9.3 Kommentarer til spesiell beskrivelse.....	79

10. Overflatebehandling	81
10.1 Generelt.....	81
10.2 Funksjon av ulike overflatebehandlinger	82
10.3 Rengjøring av overflater	84
10.3.1 <i>Spesiell beskrivelse, prosess 87.471 Rengjøring av overflater</i>	84
10.3.2 <i>Kommentarer til spesiell beskrivelse</i>	85
10.4 Vannavvisende impregnering	86
10.4.1 <i>Spesiell beskrivelse 87.475 Vannavvisende impregnering</i>	86
10.4.2 <i>Kommentarer til spesiell beskrivelse</i>	87
10.4.3 <i>Diskusjon</i>	88
10.5 Overflatebehandling med vannavvisende impregnering og akrylmaling.....	92
10.5.1 <i>Ny prosess 87.4761 Overflatebehandling med vannavvisende impregnering og akrylmaling</i>	92
10.5.2 <i>Kommentarer til spesiell beskrivelse</i>	93
10.6 Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg.....	94
10.6.1 <i>Ny prosess 87.4762 Overflatebehandling med elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg</i>	94
10.6.2 <i>Kommentarer til spesiell beskrivelse</i>	95
10.7 Herdeplastbelegg	96
11. Oppsummering - erfaringer/nyheter	97
11.1 Inspeksjoner	97
11.2 Tilstandsvurdering og valg av vedlikeholdstiltak	98
11.3 Material- og produktutvikling	99
11.4 Mekanisk reparasjon	99
11.5 Overflatebehandling	100
11.6 Prøvningsmetoder	102
11.7 Fremtidig utvikling og langsiktig oppfølging	104
12. Referanser	105

1. Innledning

Reparasjonsanbefalingen er utarbeidet med grunnlag i resultater, erfaringer og anbefalinger fremkommet i prosjektet «OFU Gimsøystraumen bru». Reparasjonsanbefalingen er ment å være et hjelpemiddel både ved inspeksjon og tilstandsvurdering av store betongbruer i kystklima og ved planlegging, beskrivelse og utførelse av vedlikehold og reparasjon.

Reparasjonsanbefalingen begrenser seg til å gi råd om vedlikeholds- og reparasjonsmetoder som har vært benyttet i prosjektet, dvs. at anbefalingen omhandler mekanisk reparasjon og overflatebehandling av betong. Innenfor disse metodene legger anbefalingen vekt på hvilken dokumentasjon og hvilke krav som skal stilles til materialer, utførelse og ferdig produkt.

Reparasjonsanbefalingen inngår ikke i håndbokserien til Statens vegvesen, men gir innenfor enkelte tema kommentarer og anbefalinger til enkelte av håndbøkene. Fordi Reparasjonsanbefalingen omhandler store betongbruer spesielt, går den på enkelte tema lenger i detaljingsnivå enn Prosesskode-2 /1/, Inspeksjonshåndboken /2/ og FDV av bruer /3/. Reparasjonsanbefalingen inneholder f.eks. forslag til spesiell beskrivelse som kan benyttes som supplement til drifts- og vedlikeholdsprosessene i Prosess-koden.

Det er også knyttet kommentarer og gitt veiledende tekst til beskrivelser i Laboratorieundersøkelser /4/ og Feltundersøkelser /5/.

2. Definisjoner

For definisjon av de begrepene som benyttes i denne anbefalingen vises det til FDV av bruer /3/.

3. Inspeksjon

3.1 Lokaliseringssystem

3.1.1 Generelt

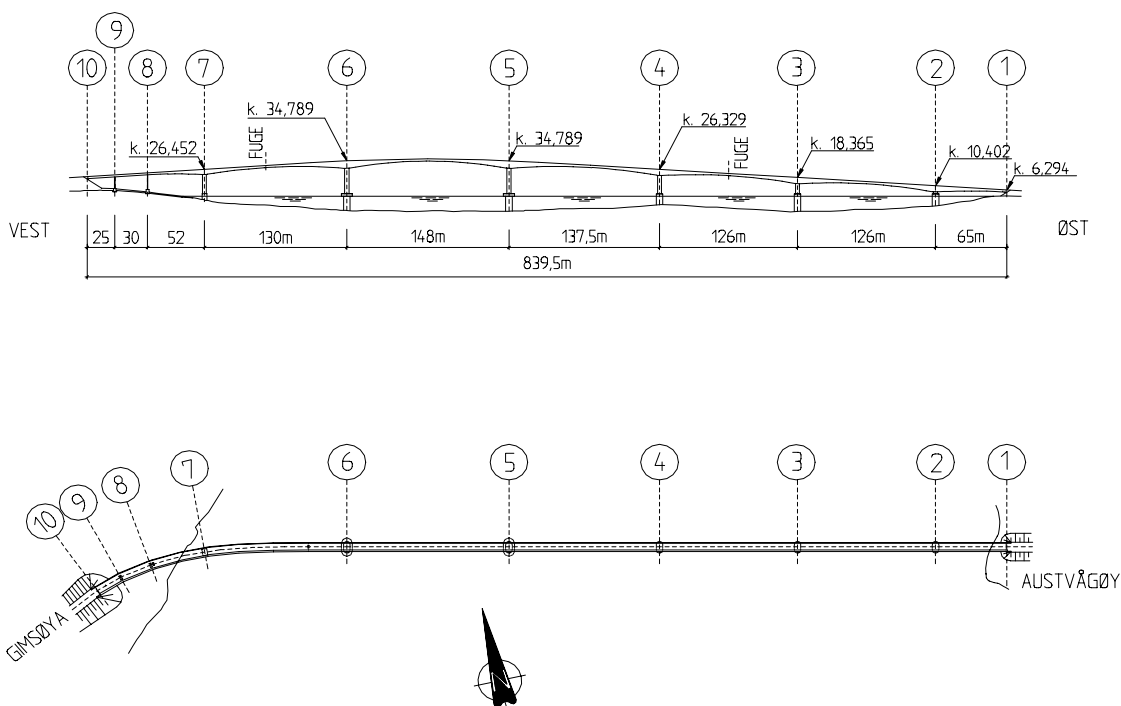
Lokaliseringssystem for bruer er beskrevet i Inspeksjonshåndboken /2/. I hovedsak ble dette systemet benyttet i OFU-prosjektet både for å beskrive hvor skader befinner seg og for å angi hvor det er tatt ut prøver.

Lokaliseringssystemet bør etableres før noen inspeksjoner eller materialundersøkelser utføres. Fortrinnsvis bør lokaliseringssystemet fastlegges allerede ved byggingen, slik at eventuelle reparasjoner og hendelser i byggetida også kan lokaliseres i det samme systemet.

Lokaliseringssystemet kan da benyttes ved alle inspeksjoner og materialundersøkelser i hele bruas levetid. Samtidig vil det også være mulig å knytte eventuelle tiltak for vedlikehold eller reparasjon opp mot dette systemet.

3.1.2 Akseinndeling

Laveste aksenummer skal være ved landkar med laveste kilometer i forhold til kilometerretningen på vegen. Inspeksjonshåndboken /2/ angir at tegninger som viser brua skal ha akse 1 til venstre, men at dette kan fravikes dersom det eksisterende tegningsmateriale for brua viser en annen inndeling. Da skal fortrinnsvis tegningsmaterialets inndeling benyttes. For Gimsøystraumen bru var dette tilfelle. Alle konstruksjonstegninger og ferdigbrutegninger viste akse 1 på høyre side. Dette ble opprettholdt i etableringen av lokaliseringssystemet i prosjektet, se figur 3.1-1.



Figur 3.1-A: Eksempel på aksenummerering der akse 1 starter fra høyre.

3.1.3 Utbretting av overbygning

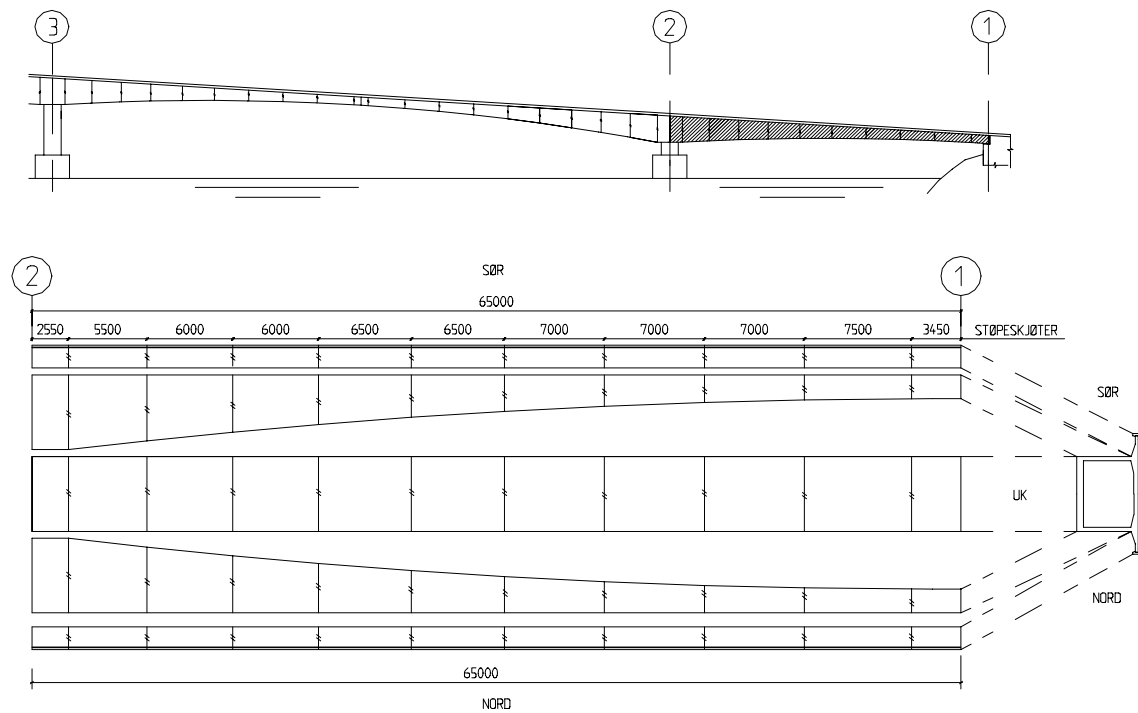
Figur 3.1-2 viser eksempel på utbretting av overbygningens flater mellom akse 1 og 2. Det skraverte området av opprisset viser utstrekningen i lengderetningen av det utbrettede området.

Det bør benyttes lokale koordinatsystem mellom aksene med nullpunkt i aksenes senterlinje. Alternativt kan det benyttes ett koordinatsystem for hele overbygningen. Dette går da fra landkar til landkar med x stigende fra landkar i akse 1.

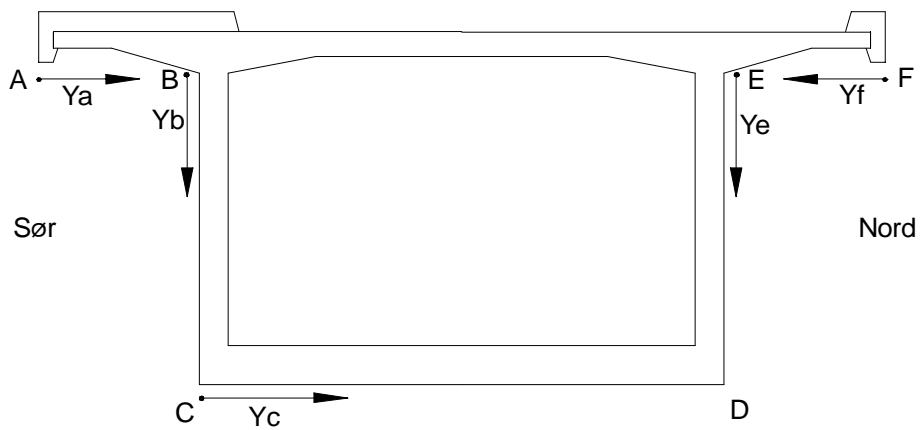
I tverretning (rundt et brutverrsnitt) bør det benyttes et koordinatsystem som velges ut fra bruas geometri og mulighet for praktisk anvendelse i felt. For bruer med fast høyde på overbygningen kan det benyttes koordinatsystem der y starter til venstre og løper fortløpende over alle flatene i tverrsnittet. Koordinatene for knekkpunktene bør oppgis på tegning eller skisse over brutverrsnittet.

For bruer med variabel høyde på brutverrsnittet (f.eks. rundt et kassetverrsnitt i en fritt frembygg-bru) blir det mer komplisert. Man kan f.eks. nummerere knekkpunktene som vist på figur 3.1-3 og så benytte lokale Y-koordinater for hver enkelt flate.

Eksempel på lokale Y-koordinater slik de ble definert i prosjektet er vist i figur 3.1-3.



Figur 3.1-2: Eksempel på utbretting av overbygning på bru med kassetverrsnitt.

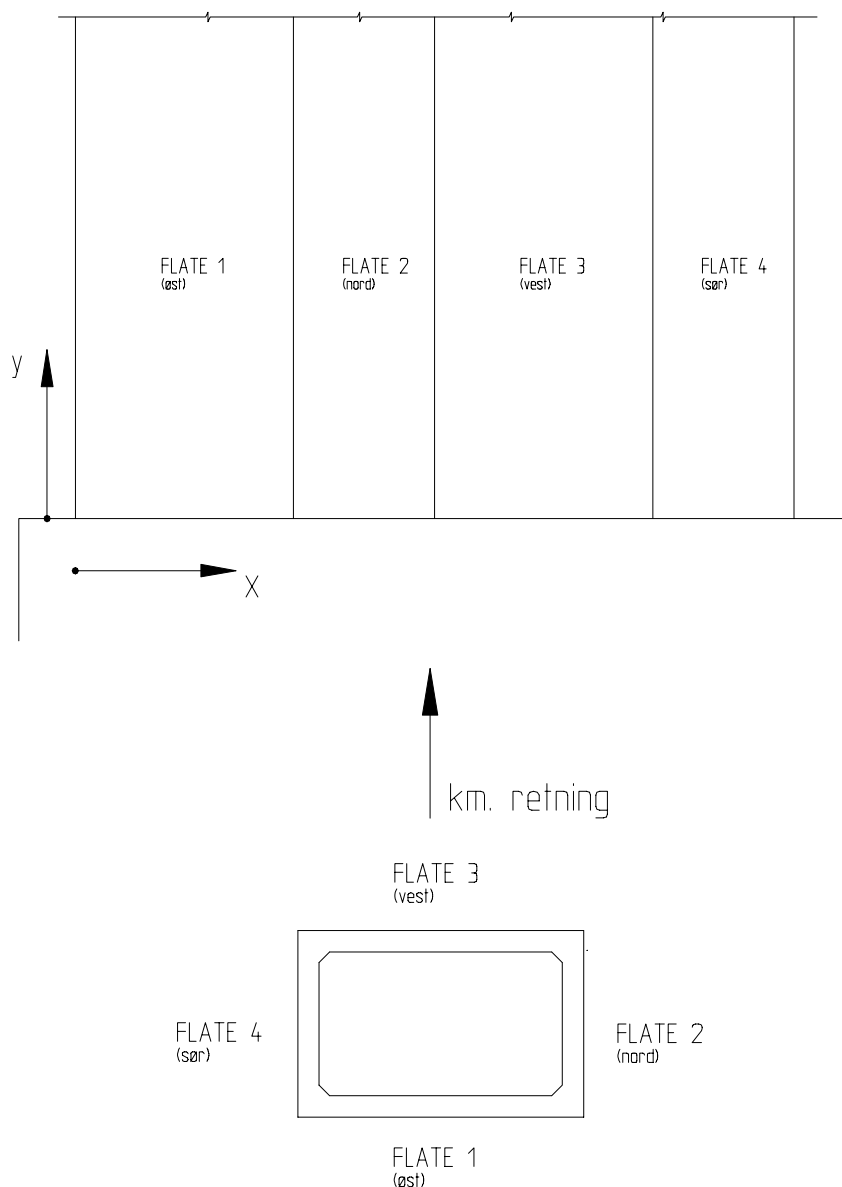


Figur 3.1-3: Eksempel på lokale Y-koordinater for tverrsnitt av brukasse.

3.1.4 Utbretting av søyler

Utbretting av søylene ble utført på litt forskjellige måter da Inspeksjonshåndboken /2/ ikke forelå ved oppstartning av prosjektet. Det anbefales nå at utbrettingen utføres som vist på figur 3.1-4, som også er i samsvar med Inspeksjonshåndboken /2/.

Det anbefales å benytte et koordinatsystem med X løpende fra flate 1 til flate 4, dvs. at stigende X-verdier går fra venstre mot høyre. Som Y-koordinat kan høyde over fundament benyttes. Dette er lettere å forholde seg til enn kotehøyde når en utfører undersøkelser og oppmålinger på brua. Ved å bruke disse X- og Y-koordinatene kan ethvert punkt på søylen lokaliseres entydig.



Figur 3.1-4: Eksempel på utbretting av rektangulær søyle.

3.1.5 Merking av lokaliseringssystem

For å sikre lett vint bruk og pålitelig stedsangivelse innenfor lokaliseringssystemet, kan det være aktuelt å plassere faste lokaliseringspunkter på brua. På overbygningen kan 10 m være en hensiktsmessig avstand. Lokaliseringspunkter for aksene bør også inngå. Bolter som benyttes til lokaliseringspunkter må være i syrefast stål. Det bør slås inn et identifiseringsmerke i boltene. Noen av punktene bør være tilgjengelige fra bruas overside for å lette plassering av tilkomststyr/stillas ved inspeksjoner/reparasjoner.

Ved elektrokjemiske målinger er det behov for armeringskontakt. For å slippe å etablere ny armeringskontakt ved hver inspeksjon, og for å ha relativt kort avstand mellom kontaktpunktene, kan det være aktuelt at lokaliseringspunktene også fungerer som armeringskontakt.

3.2 Tilkomst

Tilkomst på ei bru som Gimsøystraumen er vanskelig og krever spesialutstyr. Inspeksjons-håndboken /2/ beskriver forskjellig tilkomstutstyr som er aktuelt ved inspeksjon. Forsvarlige arbeidsforhold er en forutsetning for å utføre godt håndverksmessig arbeid, enten det gjelder inspeksjon eller reparasjon. Overordnet andre krav og behov for tilkomstutstyr er ivaretagelse av HMS-krav.

Ved spesialinspeksjonen som ble utført i forkant av prosjektet ble det brukt en brulift av typen Moog. Denne viste seg å være rasjonell både for å utføre den visuelle inspeksjonen og for uttak av prøver.

Til forhåndsundersøkelsene som ble utført i forkant av prøvereparasjonene ble det benyttet de samme stillasene som ved selve prøvereparasjonen. Ved prøvereparasjonen 1993, som ble utført på mindre felter på undersiden kassen, ble det brukt et smalt hengestillas. Dette fungerte greitt for visuell inspeksjon og uttak av prøver, men det tok lengre tid å flytte enn bruliften. Det var også tungvint å utføre detaljert oppmåling av skader fra dette stillaset. Ved ettspors bruer vil krav til trafikkavvikling vanskeliggjøre bruk av brulift. Da kan bruk hengestillas være eneste mulighet for å få utført inspeksjoner på en forsvarlig måte.

Ved prøvereparasjonen i 1995, som ble utført på undersiden av kassen i felt 1 og 2, ble det hengt opp et stillas fra akse 1 til 3. Dette ga svært god tilkomst både for forhåndskartlegging og prøvereparasjon, men det var en kostbar løsning som ikke kan forsvares når det bare skal utføres inspeksjon.

For å forenkle opphenging av stillaser bør det ved bygging av store bruer vurderes om noen av festepunktene som entreprenøren trenger for stillas/tilkomst kan benyttes som opphengingspunkter for stillas ved senere inspeksjoner og vedlikehold. Imidlertid vil den beste løsningen være om opphengningspunkter for senere tilkomst er prosjektert på forhånd. Dersom det velges å etablere opphengningspunkter under bygging av brua, må disse punktene utføres av bestandig materiale. Opphengningspunktene bør også merkes med hvilken belastning de er dimensjonert for.

3.3 Målrettet inspeksjon

3.3.1 Generelt om inspeksjonsplanlegging

Dette kapitlet gir innspill for å nyttiggjøre seg prosjektets erfaringer for å gjennomføre spesialinspeksjoner av større betongbruer i kystklima mest mulig målrettet. Det er imidlertid ikke beskrevet et fullstendig inspeksjonsopplegg.

Erkjennelsen av at inspeksjoner skal gjennomføres om og om igjen, og at vedlikeholdstiltak også er hendelser i en lang kjede, bør ha innvirkning både på forberedelser, gjennomføring og bearbeiding av inspeksjonsresultater. Observasjoner og data fra inspeksjoner bør presenteres innenfor ett og samme lokaliseringssystem (se kapittel 3.1) og i en så oversiktlig form at det er lett å ta dem fram igjen, slik at de kan benyttes sammen med nye data.

Erfaringer fra Gimsøystraumen bru og andre store kystbruer har gitt grunnlag for å planlegge inspeksjoner mer målrettet. Vi vet nå en del mer om klimapåkjenninger, hvor klorider trenger inn og hvor skader først utvikles, og kan benytte dette ved lokalisering av undersøkelser.

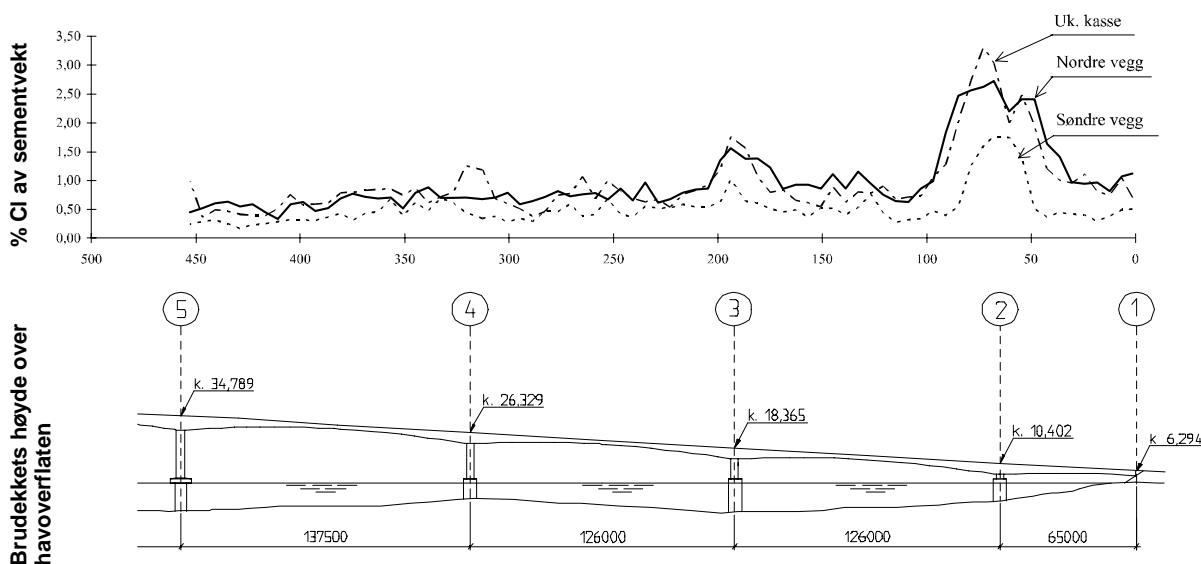
Vi snakker ikke lenger om «betongens tilstand» eller «konstruksjonens tilstand» generelt, men om hvilke tilstandsfaser konstruksjonsdeler eller enkeltflater på visse konstruksjonsdeler befinner seg i. Spørsmålet er om noen områder av brua har behov for vedlikehold og om nedbrytingsprosessen eventuelt går (eller har gått) med så stor hastighet at vedlikeholds- eller reparasjonstiltak er nødvendig.

Det er dokumentert at kloridbelastningen på utsatte kystbruer er karakterisert hovedsakelig av fire forhold /7/:

1. Høyde over sjø. På Gimsøystraumen bru er kloridbelastningen svært høy opp til 12-15 m over sjøen for deretter å avta med høyden, se figur 3.3-1, 3.3-2 og 3.3-3.
2. Lo/le-effekten. Kloridbelastningen er markert større på flater som ligger i le for vind og nedbør. Effekten kan bero på regnbelastning/ikke-regnbelastning og

- undertrykk på le-siden som gjør at sjørokk legger seg på betongoverflaten, se figur 3.3-1 og 3.3-2.
3. Størrelse og form på værpåkjente flater. Påkjeningen er større på store tverrsnitt og tverrsnitt med uheldig geometrisk utforming (og spesielt på le-siden av disse) i nærheten av søyler, se figur 3.3-1.
 4. Mikroklima nederst på søylene. Kloridinnholdet har tendens til å bli lavere (men er fortsatt høyt) helt nederst på hovedsøylene, se figur 3.3-3. Dette kan skyldes lokale geometrieffekter (overgang fundament/ søyle) eller avvasking.

Disse hovedfaktorene virker samtidig, og gir til sammen mønstret for kloridbelastningen. Størst kloridinntrengning på overbygningen har en på le-siden av store flater i liten høyde over sjøen. Underkant bruoverbygning hører definitivt med blant le-flatene. Dette er vist i figur 3.3-2.



Figur 3.3-1: Gjenomsnittlig kloridnivå (% av sementvekt) i dybde 0-10 mm på underside, sørvegg og nordvegg av brukassen på Gimsøystraumen bru.

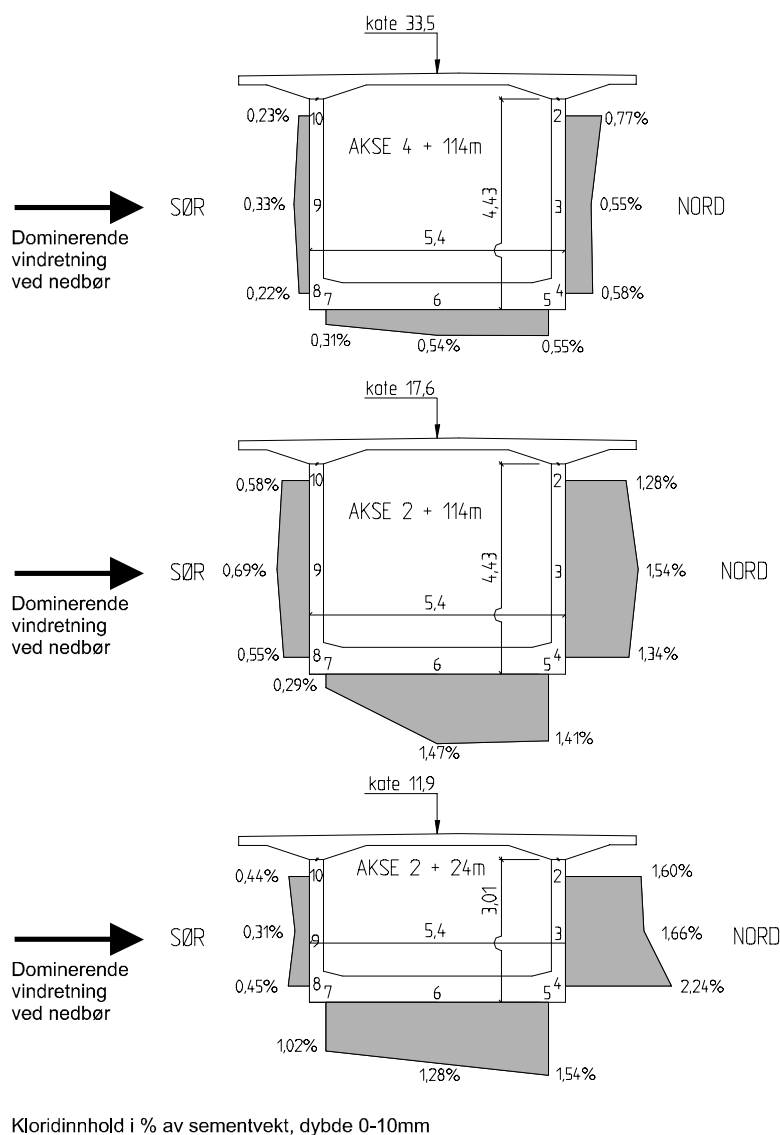
Figur 3.3-3 illustrerer faktor 4 med karakteristisk avtagende kloridnivå på nederste del av søyler. Kloridinnholdet i yttersjiktet (0-15 mm) er så høyt at de nederste 10-12 m av søylen har en kloridkonsentrasjon i porevannet som er 2-3 ganger høyere enn i sjøvannet. Selv om kloridinnholdet også er svært høyt nederst, er det markant lavere enn noen meter høyere opp. Det er derfor mulig, ved sjøsprøyt nederst på søylene, at klorider kan diffundere ut av betongen (avvasking av klorider) /28/. Dette er en observasjon som bør tas hensyn til ved inspeksjon av søyler.

Betongflater med et høyt saltinnhold vil holde på fukten lengre ved uttørking og derfor ha en mørkere farge enn flater med lavt saltinnhold. I fuktig kystklima kan en derfor ofte med det blotte øye «se» hvilke flater som er mest kloridbelastet. Flater som er

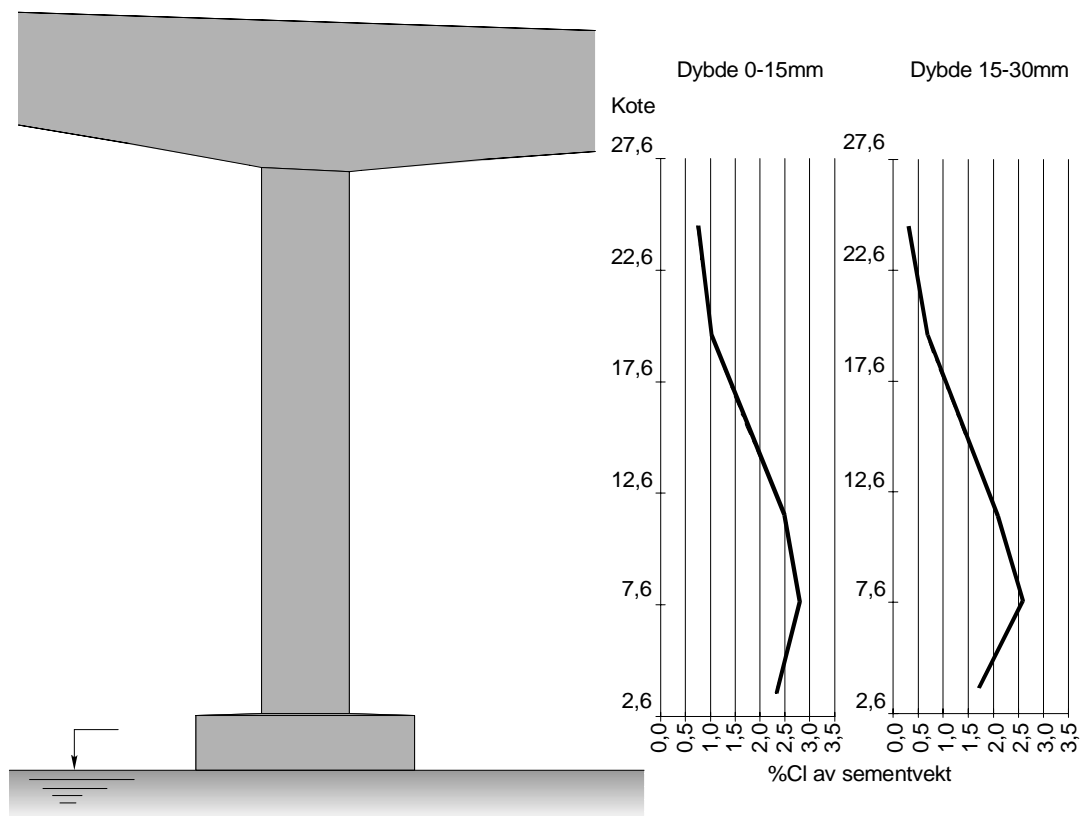
sterkt utsatt for vind og regn (lo-flater) vil etterhvert få en sandig karakter fordi betongens overflatehud vil bli vasket bort.

Dette er fagkunnskap som bør nyttiggjøres ved inspeksjoner. Det er derfor viktig å kartlegge og registrere dominerende vindretning på brustedet, og hvilke vindretninger som er forbundet med nedbør. Disse opplysningene vil fortelle hvilke betongflater som vil være mest påkjent. Topografiske forhold på brustedet kan være avgjørende for hva som er dominerende vindretninger. Dominerende vindretning bør derfor fremskaffes enten fra personer som kjenner de lokale værforhold eller fra meteorologiske data.

De aktuelle metodene ved inspeksjon og materialundersøkelser med hensyn på betongbruers bestandighet er beskrevet i kapittel 4.



Figur 3.3-2: Kloridnivå (% av sementvekt) i dybde 0-10 mm på lo- og le-side av kasseveggen ved ulike høyder over vannet.



Figur 3.3-3: Klordinnhold i % av sementvekt ved ulike høyder og dybder på østsiden av søyle i akse 5 på Gimsøystraumen bru.

3.3.2 Lokalisering og omfang av materialundersøkelser

Materialundersøkelser er først og fremst knyttet til spesialinspeksjoner. På store bruer kan materialundersøkelser i et begrenset omfang med fordel gjennomføres også i forbindelse med hovedinspeksjoner selv om brua ikke har synlige skader. Dersom ei stor kystbru har fått synlige skader, bør det iverksettes spesialinspeksjon der materialundersøkelser er inkludert.

Ved uttak av prøver dypere enn overdekningssonen bør prøvetakingen på forhånd vurderes ut fra statiske hensyn. Spesielt er det viktig å unngå boring i bruas spennarmering.

Lokalisering og omfang av materialundersøkelser velges ut fra hvilke spørsmål en søker svar på. For ei stor bru bør det legges opp en systematikk i arbeidet for å fastlegge hvilke deler av brua som er i en slik nedbrytningsfase at vedlikeholdstiltak bør utføres. For små bruer kan prøvetaking være mer stikkprøvemessig. I begge tilfeller er det viktig å nyttiggjøre seg erfaringer beskrevet i kapittel 3.3.1 i planlegging og gjennomføring av inspeksjonene.

Bru med synlige skader

Hovedinspeksjon og i enkelte tilfeller enkel inspeksjon kan avdekke behov for spesialinspeksjon. Prøvetaking og materialundersøkelser bør planlegges for å bestemme skadetype, skadeårsak, skadegrad, skadekonsekvens og skadeomfang. For definisjon av disse begrepene se Inspeksjonshåndboken /2/.

Bestemmelse av f.eks. armeringskorrosjon som skadetype inkluderer å forsikre seg om at skadetegn på betongoverflaten virkelig skyldes korrosjon på armeringsstenger, ikke bare spiker og jernbindertråd i overflaten. Videre bør en forsøke å bestemme årsaken til at armeringskorrosjon har oppstått. Dette kan blant annet være å klarlegge om kloridinnholdet i dybde med armeringen er høyt.

Bedømmelse av skadegrad ved armeringskorrosjon er ofte vanskelig. Hvor langt korrosjonen er kommet kan kun bestemmes ved hjelp av opphugging inn til armeringen. Lokalisering av opphugningspunkter kan med fordel bestemmes ved hjelp av EKP-målinger, se kapittel 4.7. Beregning av bæreevne i de skadeutsatte områdene kan være nødvendig for å vurdere konsekvensen av skadene.

Metoder for å bestemme omfanget av skadene (areal) kan foruten visuelle registreringer være kloridmålinger, overdekningsmålinger, EKP-målinger og opphugging inn til armering. Inspeksjon og materialundersøkelser må planlegges for å kartlegge overgangene mellom skadde og uskadde områder. Skadeutviklingen følger i hovedtrekk det samme mønstret som kloridbelastningen. Ved å bruke erfaringene beskrevet i kapittel 3.3.1 kan lokalisering av materialundersøkelsene bestemmes nokså «intelligent». Opphugging og vurdering av armeringens korrosjonsgrad er svært viktig for å få «fasitsvar» med hensyn til tolking en av de ikke-destruktive undersøkelsene og da spesielt EKP-målingene.

Variasjon i overdekningen og/eller betongkvalitet kan imidlertid føre til at skadeutviklingen følger et annet mønster enn kloridbelastningen på konstruksjonen. F.eks. kan et område med lav overdekning høyt oppe på en søyle ha korrosjonsskader, selv om kloridbelastningen har avtatt med høyden.

Bru uten synlige skader

Selv om brua ikke har synlige skader, må inspeksjoner planlegges med sikte på å knytte tilstandsvurderingen til bestemmelse av mulig (fremtidig) utvikling av skader. Det mest aktuelle spørsmålet er å få avklart om det er behov for vedlikeholdstiltak for å forhindre at skader får utvikle seg. En selektiv prøvetaking med vekt på bestemmelse av kloridinnhold og måling av overdekning vil gi verdifull informasjon. En slik selektiv stikkprøveundersøkelse bør være en del av en hovedinspeksjon og vil kunne gi varsel om tilstandsutvikling før alvorlige skader oppstår. Et prøveomfang på 5-10 kloridprofiler fra de antatt mest påkjente områdene av brua vil i mange tilfeller være tilstrekkelig for å danne et bilde av kloridpåkjenningen på brua.

4. Metoder for inspeksjon og materialundersøkelser

4.1 Oversikt over metoder

En oversikt over de viktigste metodene som benyttes til undersøkelse av betongbruers bestandighet er gitt i tabell 4.1-1. Tabellen viser metodenummer der disse er beskrevet i Laboratorieundersøkelser /4/ og Feltundersøkelser /5/. I tabellen er det også angitt aktuell prosess i Prosesskode-2 /1/. I tillegg er de fleste metodene omtalt i Inspeksjons-håndboken /2/.

Tabell 4.1-1: Metoder for inspeksjon og materialundersøkelser.

Metode for inspeksjon eller materialundersøkelse	Metodenr. *	Prosessnr.
Visuell kontroll (Spesialinspeksjon)		87.17
Armeringslokalisering/betongoverdekning	15.542	87.1821
Karbonatisering	15.554	87.1822
Kloridinnhold (uttak/analyse **)	15.517/15.553 **	87.1823
Korrosjonsundersøkelse (EKP-målinger)	15.551	87.1824
Opphugging for korrosjonsbedømmelse		87.1828
Fuktmåling og porøsitet (uttak/analyse)	15.518/14.637	87.18291 ***
Ut boring av betongkjerner	15.516	
Fasthetsbestemmelse	14.631	87.1825
Strukturanalyse	14.655	87.1826
Kloridinntrengning, neddykket diffusjon test	14.651	
Frostbestandighet av herdet betong	14.656	

* Metodenummer som starter på 14. refererer til Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, mens 15. refererer til Håndbok 015 Feltundersøkelser.

** Andre analysemetoder er aktuelle både i felt (15.552) og i laboratorium (14.641-14.644).

*** Forslag til ny prosess.

De mest sentrale metodene for kartlegging av kloridinitert armeringskorrosjon er:

- Visuell kontroll
- Armeringslokalisering/betongoverdekning
- Kloridinnhold
- Korrosjonsundersøkelse (Elektrokjemiske potensialmålinger, EKP)
- Opphugging for korrosjonsbedømmelse
- Betongkvalitet (trykkfasthet/porøsitet).

Disse metodene er omtalt nærmere i det etterfølgende og det er utarbeidet forslag til spesiell beskrivelse for hver av dem. For fuktmåling og porøsitet er det laget forslag til ny prosess. I tillegg er det laget forslag til spesiell beskrivelse for igjenstøping etter prøvetaking. Den spesielle beskrivelsen gir supplement og endring til Prosesskodens standardbeskrivelse og er forutsatt å gjelde foran denne.

Betongens kvalitet er viktig for alle konstruksjoners bestandighet. Betongens trykkfasthet og porøsitet bør bestemmes for alle større betongbruer. Dette er parametre som endrer seg relativt lite over tid, og som man vil ha nytte av ved alle seinere inspeksjoner. Som vist i tabell 4.1-1, er uttak av prøvestykker og laboratoriemetoder beskrevet i henholdsvis Feltundersøkelser /5/ og Laboratorieundersøkelser /4/. Det er ikke utarbeidet forslag til spesiell beskrivelse for bestemmelse av trykkfasthet i denne reparasjonsanbefalingen, men bestemmelse av porøsitet inngår i forslag til ny prosess for fuktmåling og porøsitet, se kapittel 4.8.

4.2 Visuell kontroll

4.2.1 Generelt om visuell kontroll

Nytteverdien av visuelle inspeksjoner er i høy grad avhengig av inspektørens erfaring, dvs. evne til å se interessante detaljer og evne til å tolke synsinntrykkene riktig slik at totalbildet for bruas tilstandsutvikling vurderes riktig. Metoden er subjektiv. Anbefalingen i dette kapittelet er først og fremst rettet mot visuell kontroll ved spesialinspeksjon, men erfaringene bør også nyttiggjøres ved hovedinspeksjon.

For at det skal kunne utarbeides tilfredsstillende dokumentasjon av visuelle inspeksjoner på store bruer, er det (som beskrevet i kapittel 3.1) en forutsetning at det på forhånd er:

- utarbeidet et egnet lokaliseringssystem
- laget tegninger (eventuelt skisser) over utbredte flater som kan benyttes for påtegning av skader og observasjoner samt lokalisering av materialundersøkelser.

Den visuelle kontrollen utgjør en vesentlig del av omfanget i spesialinspeksjon. Nedenfor er det laget forslag til spesiell beskrivelse for denne kontrollen.

4.2.2 Spesiell beskrivelse 87.17 Spesialinspeksjon

- c) *Ved den visuelle inspeksjon skal betongoverflatenes farge og utseende registreres. Spesielt gjelder dette:*
- *Betongoverflater som har en mørkere farge (er fuktigere). Slike flater kan ha et høyere saltinnhold (salt binder fukt). Mørk farge kan også skyldes forskalingshuden eller betongens herdetemperatur.*
 - *Betongoverflater som er sandige, som om de var mer eller mindre sandblåst/sandvasket. Dette er lo-flater som sannsynligvis har lavere kloridinnhold enn den motstående le-flaten.*
 - *Korrosjonsutfellinger. Det må skilles mellom korrosjonsprodukter fra armeringsstenger og korrosjonsprodukter fra løse spiker og avkappet bindtråd som har ligget mot forskalingen.*

4.3 Materialundersøkelser - igjenstøping etter prøvetaking

4.3.1 Generelt

Igjenstøping etter prøvetaking er en viktig del av inspeksjon og materialundersøkelse som altfor ofte blir forsømt. Hull etter kjerneboring er spesielt vanskelige å fylle. Igjenstøping er inkludert i alle prosessene for prøvetaking som ligger på nivået under prosess 87.182 Materialundersøkelse - betong. Imidlertid gir Prosesskoden ingen nærmere beskrivelse av igjenstøping. Nedenfor er det laget forslag til en slik beskrivelse.

4.3.2 Spesiell beskrivelse 87.182 Materialundersøkelse - betong

- a) *Prosessen inkluderer igjenstøping etter prøvetaking.*
- b) *Borhull med diameter < 25 mm kan fylles med grå overmalbar enkomponent polyuretan fugemasse, eller egnet sementmørtel.*

Mørtel som benyttes for reparasjon av hull etter kjerneboring eller større utmeislede sår skal tilfredsstille de samme krav som reparasjonsmørtel ved mekanisk reparasjon, se prosess 87.42.

- c) *Hull etter kloridprøver fylles fullstendig ved at det pumpes med fugepistol inn i hullet gjennom et rør som er trykket til bunns, for så å trekke røret ut etter hvert som hullet fylles.*

Hull etter kjerneboring eller større utmeislede sår rengjøres for støv og løse biter, forvannes og tørkes for fritt vann. Reparasjonsmørtel blandes til passende konsistens og fylles i hullet til 2-3 cm fra overflaten. Etter at mørtelen har satt seg, mørtles det helt ut i flukt med overflaten. Overflaten påføres umiddelbart elastisk sementbasert tykkfilmsbelegg.

4.4 Armeringslokalisering/ betongoverdekning

4.4.1 Generelt

Armeringens betongoverdekning samt betongkvaliteten utgjør til sammen armeringens beskyttelse mot korrosjon («Beskyttelseskapasiteten»). Overdekningsmålinger er derfor helt sentrale ved evaluering av om armeringskorrosjonen har startet og estimering av margin før korrosjon starter. Om EKP-målingene viser at stålets passivitet er brutt synes overdekningen å ha innvirkning på korrosjonsgraden.

Det er ikke fullstendig samsvar mellom prosessbeskrivelsen i Prosesskode-2 /1/ og metoden beskrevet i Feltundersøkelser /5/. Det anbefales at sistnevnte beskrivelse følges.

Formålet med undersøkelsen kan være:

1. Stikkprøvekontroll f.eks. i forbindelse med hovedinspeksjoner
2. Nøyaktig kontroll og en grundig tilstandsvurdering av armerte betongbruer, f.eks. i forbindelse med spesialinspeksjoner.

I det etterfølgende er det laget forslag til spesiell beskrivelse for begge disse formålene.

4.4.2 Spesiell beskrivelse

87.1821 Armeringslokalisering/betongoverdekning

Forslag til spesiell beskrivelse ved formål 1: Stikkprøvekontroll

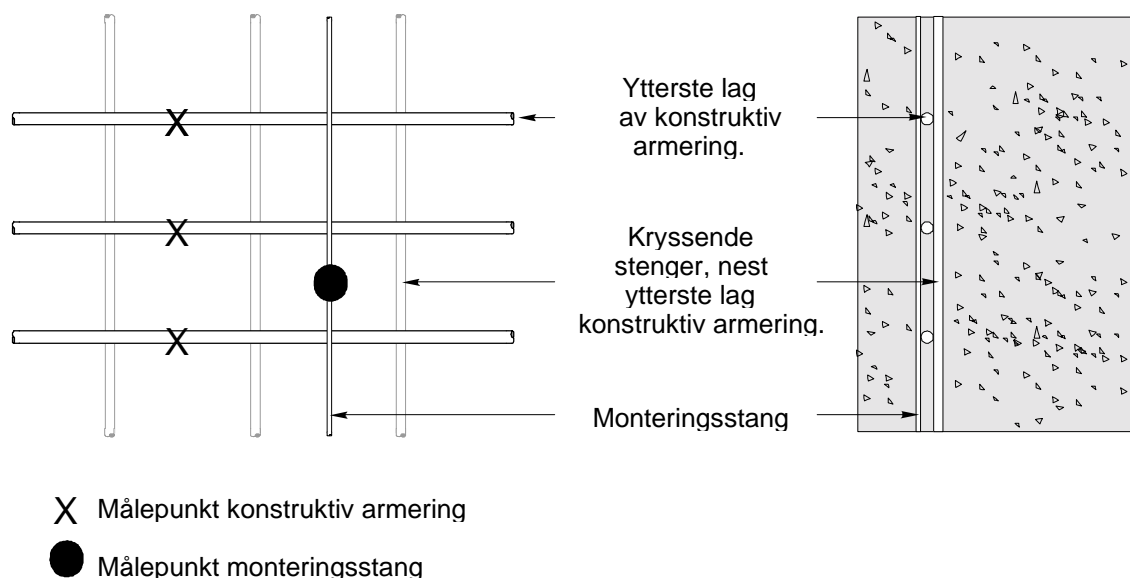
c) *All tekst under punkt c) i Prosesskode-2 utgår og erstattes med teksten nedenfor.*

Armeringslokalisering og måling av betongoverdekning utføres som beskrevet i Statens vegvesens håndbok 015 Feltundersøkelser, metode 15.542.

Undersøkelsen utføres på [nærmere angitte målepunkter] på [angitte konstruksjonsdeler] Målepunktene lokaliseres i samsvar med det lokaliseringssystemet som er etablert for brua.

Retningen og beliggenheten av ytterste lag av konstruktiv armering fastlegges. I hvert målepunkt avleses overdekningen ved hjelp av 3 enkeltmålinger på 3 parallelle nabostenger på ytterste lag konstruktiv armering. Avlesningene utføres midt mellom kryssende stenger, det vises til figur 4.4-1. Overdekning tolkes ut fra instrumentavlesningen og kalibrerings-dataene for instrumentet.

Dersom det finnes en monteringsstang ved målepunktet, måles og angis overdekningen for denne separat.



Figur 4.4-1: Målepunkt bestående av 3 enkeltmålinger.

Overdekningsmålingene skal kontrolleres stikkprøvemessig ved at virkelig overdekning registreres i borhull inn til armering, eller i forbindelse med opphugging for korrosjonsbedømmelse (prosess 87.1828). Det skal utføres én stikkprøve pr. påbegynt 20 målepunkt. Det skal angis avlest overdekning på instrumentet og virkelig overdekning målt i opphugging eller borhull. Stikkprøvekontrollen skal benyttes til å korrigere tolkningen av overdekningsmålingene. Borhull skal gjenstøpes.

Resultatet rapporteres med alle rådata samt følgende sammendrag basert på tolkede overdekningsverdier:

- angivelse av målepunktenes beliggenhet i forhold til bruas lokaliseringssystem
- om det er benyttet monteringsstenger og evt. overdekning for disse
- enkeltverdier og gjennomsnittsverdi for konstruktiv armering i hvert målepunkt
- anmerkning om det er enkelte flater som har gjennomgående liten eller stor overdekning
- eventuelt foto av områdene målingene er utført på.

- f) Mengden måles som antall målepunkt med 3 enkeltmålinger pluss eventuelt en måling mot monteringsstang.
Enhet: stk.

Forslag til spesiell beskrivelse ved formål 2: Nøyaktig kontroll

- c) All tekst under punkt c) i Prosesskode-2 utgår og erstattes med teksten nedenfor.

Armeringslokalisering og måling av betongoverdekning utføres som beskrevet i Statens vegvesens håndbok 015, Feltundersøkelser, metode 15.542.

Undersøkelsen utføres systematisk med målepunkter i et fast mønster. Mønsteret av målepunkter gjentas med en viss innbyrdes avstand i konstruksjonens lengderetning. Målepunkter lokaliseres i samsvar med det lokaliseringssystemet som er etablert for brua. Målingene skal utføres på [de angitte konstruksjonsdelene] [Måleprogrammet bør være utarbeidet av den som bestiller undersøkelsen.]

Ved hvert målepunkt bestemmes den nøyaktige plasseringen av armeringsjern i ytterste lag av konstruktiv armering, samt av kryssende jern. I hvert målepunkt avleses overdekningen ved hjelp av 3 enkeltmålinger på 3 parallelle nabostenger på ytterste lag konstruktiv armering som vist i figur 4.4-1.

Det skal påses at avlesningen utføres mot en stang i ytterste lag av konstruktiv armering (inkludert bøyer), og hverken mot monteringsstenger eller stangkryss. Armeringskonfigurasjonen i det enkelte målepunkt i følge armeringstegningene noteres med f.eks. kode for enkeltstang, to stenger inntil hverandre, kryssende stenger osv. Overdekning tolkes deretter ut fra instrumentavlesningen og kalibreringsdataene for instrumentet.

Beliggenheten og overdekningen for monteringsstenger på den undersøkte konstruksjonsdelen, skal kartlegges uavhengig av måleprogrammets målepunkter.

Overdekningsmålingene skal kontrolleres stikkprøvemessig ved at virkelig overdekning registreres i borhull inn til armering, eller i forbindelse med opphugging for korrosjonsbedømmelse (prosess 87.1828). Det skal utføres én stikkprøve pr. påbegynt 20 målepunkt, hyppigere der det måles i skjæteområder og hvor armeringskonfigurasjonen er komplisert. Det skal angis avlest overdekning på instrumentet og virkelig overdekning målt i opphugging eller borhull. Stikkprøvekontrollen skal benyttes til å korrigere tolkningen av overdekningsmålingene. Borhull skal gjenstøpes.

For hvert kontrollpunkt tegnes armeringsjernenes beliggenhet opp på betongoverflaten med kritt sammen med avleste og kontrollmålte overdekninger og lokaliseringskode og fotograferes.

Resultatet rapporteres med alle rådata samt følgende sammendrag basert på tolkede overdekningsverdier:

- *Monteringsstenger*
 - *beliggenhet angitt på snitt-tegning*
 - *minimums-, maksimums- og gjennomsnittsverdi for hele konstruksjonsdelen*
 - *kumulativ fordeling med 5 mm intervaller*
- *Gjennomsnittsverdi i hvert målepunkt*
- *Gjennomsnittsverdi for konstruksjonsdelen*
- *Anmerking om det er enkelte flater som har gjennomgående liten eller stor overdekning*
- *Fordeling i armeringsoverdekning vist grafisk som fordeling av enkeltmålinger med 5 mm intervaller (0-4, 5-9, 10-14 osv.)*
- *Antall enkeltmålinger den grafiske fordelingen av overdekning er basert på*
- *Foto som viser beliggenhet av armering, målte overdekningsverdier og kode som viser lokalisering av målepunkter.*

f) *Kostnaden angis som rund sum for hver enkelt kartlagt konstruksjonsdel.
Enhet: RS.*

4.4.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse

Arbeidsmetodikken beskrevet i Feltundersøkelser /5/, metode 15.542, er utarbeidet på grunnlag av erfaringer i dette prosjektet samt Veglaboratoriets Intern rapport nr. 1784 /24/. Arbeidsmetodikken kan synes tung og omstendelig, men er verd innsatsen ved at en får mer nøyaktige og pålitelige registreringer. Overdekning er en av de få parametrene som endrer seg lite over tid, og om en utfører et grundig arbeid én gang vil en ha et pålitelig sett data ved alle seinere inspeksjoner.

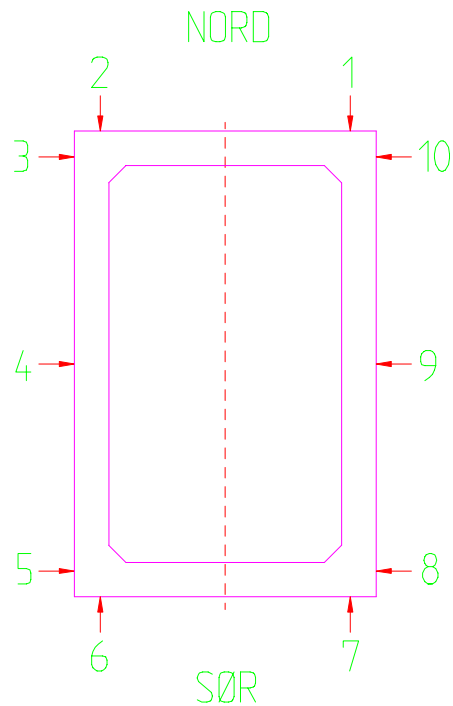
I Feltundersøkelser /5/ er det beskrevet at planlegging av overdekningsmålinger skal utføres med basis i armeringstegningene for konstruksjonen. Armeringstegninger gir informasjon om senteravstand, armeringsdiametere, skjøteområder indre/ytre lag osv.

Lokalisering av målepunkter og omfang av målinger vil avhenge av hva en er interessert i ved den enkelte inspeksjon. Det er en forutsetning for begge de spesielle beskrivelses-tekstene foran at det angis konkret hvilke konstruksjonsdeler som skal undersøkes og hvor på konstruksjonsdelene det skal måles. Uten at en tenker gjennom hvor og i hvilket omfang en ønsker målinger utført, vil målingene ha relativt begrenset verdi. Målinger bør utføres på alle sider av f.eks. søyler, fordi både midlere overdekning og variasjon i overdekning kan være forskjellig der overdekningen sikres mot en oppsett-forskaling og der det benyttes lukkeforskaling. På lukkesiden har det ikke vært vanlig å benytte monteringsstenger eller armeringsstoler.

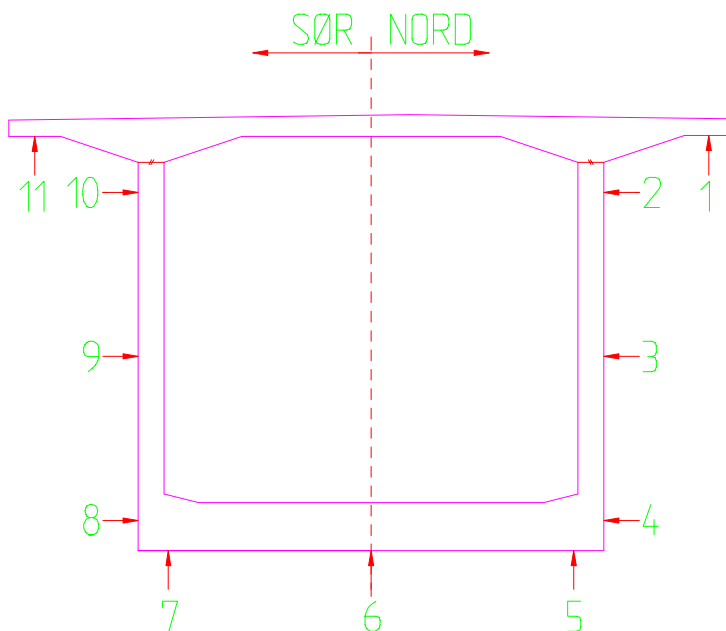
I den spesielle beskrivelsen er det angitt at et målepunkt består av 3 enkeltmålinger. Det er foreslått at de 3 enkeltmålingene i hvert målepunkt skal foretas på parallelle nabostenger fordi overdekningen som regel varierer mer fra stang til stang enn langs en stang. Stenger som har to eller flere bøyer kan ha større avvik i overdekning enn rette stenger og vinkler pga. bøyeavvik.

Ved stikkprøvekontroll er det opp til den som utformer den konkrete beskrivelsen å velge plassering og antall målepunkter. I dette ligger frihet til å foreta målinger i et fint rutenett på et lite område, eller målinger i et grovere nett over et større areal. Målepunktene bør fordeles på alle tilgjengelige flater på de angitte konstruksjonsdelene (rundt hele omkretsen av sirkulære søyler, på alle fire sider av rektangulære søyler osv.).

I beskrivelsen av overdekningsmålinger for en grundig tilstandsvurdering er det forutsatt at den som bestiller undersøkelsen også utarbeider og beskriver et konkret måleprogram. I måleprogrammet vil det normalt være angitt målepunkter systematisk plassert på en konstruksjonsdel. I dette prosjektet ble det f.eks. benyttet 10 målepunkter for hver 4. meter høyde på søylene, se figur 4.4-2 og 11 målepunkter for hver 6. meter lengde av bruoverbygningen, se figur 4.4-3.



Figur 4.4-2: Eksempel på måleprogram for søyle; 10 målepunkter for hver 4. m høyde.



Figur 4.4-3: Eksempel på måleprogram for bruoverbygning; 11 målepunkter rundt kassen for hver 6. m i lengderetning.

Beskrivelsen sier at «overdekning tolkes ut fra instrumentavlesningen og kalibreringsdataene for instrumentet». Med ordet «kalibreringsdata» menes her ikke bare hva

instrumentet viser ved måling mot en stang, men også hva instrumentet viser i forhold til det korrekte ved måling mot f.eks. to stenger ved siden av hverandre eller mer komplisert armeringskonfigurasjon. Beskrivelsen i Feltundersøkelser /5/ forutsetter at en vet hva slags armering en måler mot, og at en tolker instrumentavlesningen deretter.

Veglaboratoriets Intern Rapport nr. 1784 /24/ inneholder kalibreringsdata for ett fabrikat av måleinstrument (Profometer). Eksempler på instrumentavlesninger avhengig av virkelig overdekning og hva en måler mot er vist i tabell 4.4-1.

Tabell 4.4-1: Eksempel på instrumentavlesning og virkelig overdekning /24/.

Måler mot:	Virkelig overdekning, mm					
	10	20	30	40	50	60
1 stk Ø 16	11	21	30	42	52	60
2 stk Ø 16 «dobbel stang»	10	19	28	37	47	58
3 stk Ø 16, «tredobbel stang»	9	18	26	35	43	54
Ø 16 over Ø 32	9	19	28	37	45	55
Ø 16 over 2 Ø 32	10	19	27	35	43	51

Nøyaktigheten til overdekningsmålere avhenger av hvilken type og fabrikat som benyttes. De forskjellige typene har også varierende grenser for hvor store overdekninger de kan måle.

Instrumentavlesningen må kontrolleres mot virkelig overdekning. Dette gjøres lettest i forbindelse med opphugging for korrosjonsbestemmelse.

Hvorvidt det skal tas fotos av måleområdene avhenger av om fotos egentlig kan gi noen tilleggsinformasjon. Et systematisk måleopplegg resulterer i svært mange målepunkter.

For å få oversikt over måleresultatene skal fordelingen vises grafisk. Det kan være en smakssak om en vil ha fordelingen vist som stolpediagram eller som kumulativ fordeling. Stolpediagram gir en mer nøyaktig framstilling for et konkret element. For sammenligning av flere datasett bør kumulativ fordeling benyttes. Det har betydning for utseendet av diagrammet om en velger 0-4, 5-9, 10-14 mm intervaller eller 1-5, 6-10, 11-15 mm intervaller. Den første anbefales. For å kunne sammenligne bør en derfor holde seg til en fast intervallinndeling. Eksempel på grafisk presentasjon av overdeknings-målinger er vist i figur 5.3-2.

4.5 Kloridinnhold

4.5.1 Generelt

Analyse av kloridinnholdet i betongen inngår som en av de selvsagte undersøkelsene for å estimere korrosjonsrisiko. Kloridinnholdet vil fortelle hvordan kloridpåkjenningen har vært og betongens evne til å motstå kloridbelastning.

Lokalisering av prøveuttak på konstruksjonen bør velges med omhu avhengig av konstruksjonens alder og formålet med undersøkelsen. Kloridanalyser kan benyttes til å «nivellere» påkjenningsbildet som en kan danne seg på grunnlag av erfaringene beskrevet i kapittel 3.3.1. Omfanget av kloridanalyser avhenger av formålet med undersøkelsen som diskutert i kapittel 3.3.2.

Likeledes bør dybdeintervaller ved undersøkelsen velges med omhu avhengig av bl.a. virkelig armeringsoverdekning og betongkvalitet/betongtype. En bør også ha i minnet at tilfeldigheter ved valg av utbøringssted helt lokalt vil kunne gi betydelig variasjon i resultatene, og at denne usikkerheten øker desto mindre prøven er. Kloridanalyser som inngår som en del av tilstandsundersøkelser (ikke forskning) trenger ikke å være av den aller største nøyaktighet. Likevel bør en være bevisst om hvilken grad av nøyaktighet som følger omfanget av prøveuttak, dybdeintervallene samt selve analysemetoden.

Selve prøveuttaket kan foretas på 3 måter:

1. Boring og oppsamling av støv direkte på konstruksjonen
2. Utboring av kjerner, nedknusing av skiver fra kjernene til støv
3. Utboring av kjerner, fresing av støv fra kjernene.

Metode nr. 1 og 3 er de vanligste. Spørsmålet er ofte om metode 1 vil fungere nøyaktig nok eller om en heller bør benytte metode nr. 3, som vil være mer nøyaktig. Denne vurderingen er spesielt viktig i de tilfellene der resultatene skal benyttes til å beregne kloriddiffusjonskoeffisienten for betongen.

Om en skal følge opp utviklingen av kloridprofilen over tid eller undersøke effekten vedlikeholdstiltak har på kloridinntrengningen, trengs det spesielt stor nøyaktighet. I prosjektet «Utvikling av kloridbestandig betong» /27/ er det påvist at støv utboret fra konstruksjonen systematisk viser lavere kloridinnhold enn støv frest fra borkjerner, uten at årsaken til dette er klarlagt. Dette understreker behovet for å holde seg til **en** metode både for prøveuttak og analyse dersom en skal gjøre nøyaktige sammenligninger.

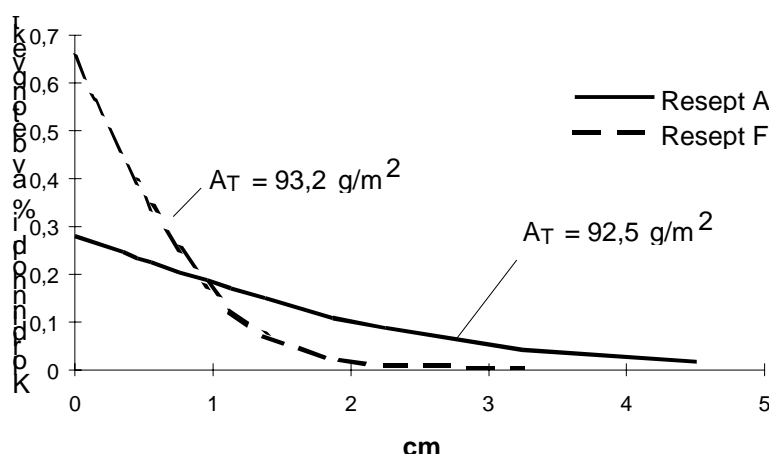
Kloridmålingene brukes blant annet for å kartlegge kloridbelastningen på konstruksjonen, vurdere risikoen for korrosjon på armeringen og for å følge endringene i kloridinnholdet og kloridprofilene over tid.

Så lenge formålet med kloridmålingene kun er å kartlegge kloridbelastningen på konstruksjonen, vil undersøkelse av sjikttykkelser på 10-25 mm være tilstrekkelig. Det kan f.eks. være aktuelt å benytte 10 mm sjikt ytterst og 25 mm på dypere nivå. Med slike sjikttykkelser kan metoden med boring og oppsamling av støv direkte på konstruksjonen være god nok.

Om en skal vurdere risikoen for korrosjon på armeringen, må en i tillegg til det totale kloridinnholdet også kjenne kloridprofilet, det vil si hvordan kloridkonsentrasjonen varierer innover fra overflaten. Til slike formål kan sjikttykkelser på 10-25 mm være for grove. Dersom en arbeider med samme betongtype som en har erfaring med fra tidligere og en ikke er ute etter stor nøyaktighet, kan likevel 10-25 mm sjikttykkelser være godt nok.

Når en kommer over på betongtyper med andre bindemiddel, må det bygges opp nytt erfaringsgrunnlag for å kunne gjøre holdbare vurderinger. I denne sammenhengen er C35 og C40, begge uten silikastøv, å betrakte som samme betongtype, mens MA-betong i henhold til Prosesskode-2 fra 1988 samt SV30 og SV40 i henhold til Prosesskode-2 fra 1997, alle med silikastøv, er eksempler på andre betongtyper. Likeledes kan betong med pozzolansement (Norcem MP30 eller Standard FA) kreve oppbygging av nytt erfaringsgrunnlag.

Høykvalitetsbetonger med høy kloriddiffusjonsmotstand viser erfaringsmessig et høyere kloridinnhold nær betongoverflaten enn tradisjonelle normalkvalitetsbetonger, se figur 4.5-1. Om en bedømmer kloridinnholdet i de ytterste 10-15 mm av denne betongen ut fra erfaringer med normalkvalitetsbetonger alene, risikerer en å vurdere situasjonen grundig feil.



Figur 4.5 -1: Kloridprofil og total mengde inntrengte klorider (A_T) for betong med 12,5 % silika og v/c+s på 0,42 (resept F) og normalbetong for bruer på 70-tallet uten silika og med v/c-tall på 0,51 (resept A) /13/.

Formålet med undersøkelse av kloridinnholdet kan være:

1. Kartlegging av kloridbelastningen på konstruksjonen
2. Beregning av betongens diffusjonskoeffisient (in-situ).

I det etterfølgende er det laget forslag spesiell beskrivelse for hver av disse formålene.

4.5.2 Spesiell beskrivelse 87.1823 Kloridinnhold

Forslag til spesiell beskrivelse ved formål 1: Kartlegging av kloridbelastning

- c) *For kartlegging av kloridbelastning på konstruksjonen utføres prøvetaking ved boring og oppsamling av borstøv direkte på konstruksjonen. Støv samles separat for de enkelte dybdeintervaller. Støv fra de ytterste 2 mm samles ikke opp.*

Dybdeintervaller ved 30 mm prosjektert overdekning skal være:

- 2-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-45 mm og 45-70 mm.

Dybdeintervaller ved 50 mm prosjektert overdekning skal være:

- 2-15 mm, 15-30 mm, 30-50 mm, 50-75 mm og 75-100 mm.

Støv bores ut med 18 mm bor og uttak fra 4 hull pr. prøve. Hullene plasseres som hjørnene i et kvadrat 5 x 5 cm.

Analysering av kloridinnhold utføres ved hjelp av metode som har minst samme nøyaktighetsgrad som RCT. RCT-test utføres som beskrevet i Statens vegvesen håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, metode 14.641 eller Statens vegvesen håndbok 015 Feltundersøkelser, metode 15.553 (metodebeskrivelsene er identiske).

Forslag til spesiell beskrivelse ved formål 2: Beregning av diffusjonskoeffisient

- a) *Prosessen inkluderer også beregning av betongens kloriddiffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon ut fra det kloridprofil som registreres.*
- c) *For kartlegging av selve kloridprofilet og betongens kloriddiffusjonsmotstand utføres prøvetaking ved kjerneboring til minimum 100 mm dybde. Kjerne-diameter skal være minimum 70 mm. Fra kjernene freses støv i 2 mm dybdeintervaller. Fresing utføres i henhold til Statens vegvesen håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, metode 14.673. Følgende dybdeintervaller skal analyseres [dette må spesifiseres]:*

Analysering av kloridinnhold utføres i henhold til Statens vegvesen håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, metode 14.643 (potensiometrisk titrering), metode 14.644 (spektrofotometri) eller metoder med tilsvarende nøyaktighet. Analysen skal alltid kontrolleres mot referansestøv med dokumentert kloridinnhold, 0,10 % og 0,25 % av betongvekt, for hver 20. prøve.

Beregning av betongens kloriddiffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon ut fra eksponering i felt (eksponeringstid lik konstruksjonens alder) utføres på samme måte som beregning av de samme koeffisienter etter eksponering i laboratorium, det vises til Statens vegvesen håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, metode 14.651.

4.5.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse

Metodikk for prøveuttak og evaluering av analysemetoder har vært behandlet av Byggforsk /17/ og /18/. Konklusjonen fra Byggforsk om prøveuttak /17/ er at bordiameter større enn $d_{maks.}$ er viktig for å oppnå tilstrekkelig nøyaktighet i kloridmålingene. Byggforsk hevder at 5 hull er for lite til å sikre representative kloridprøver ved bruk av 20 mm bor og $d_{maks.}$ større enn 20 mm, da opptil 40 % differanse mellom målt kloridinnhold og teoretisk riktig kloridinnhold er påvist. Erfaringen fra dette OFU-prosjektet der mesteparten av kloridprøvene er tatt med 16 mm bor og uttak fra 4 hull er imidlertid gode. De ca. 1000 kloridprofilene som er analysert systematisk på søyler og overbygning viser svært konsistente resultater.

Går man nærmere inn på resultatene til Byggforsk, er maksimal usikkerhet på 40 % differanse pga. prøveuttak (utboring av betongstøv) registrert ved høyt kloridinnhold (3 % av sementvekt). Usikkerhet ved kloridinnhold på 1 % av sementvekt er rapportert til 17 %. For ingeniørmessige vurderinger kan det diskuteres om ikke disse usikkerhetene kan aksepteres.

I prosjektet er det brukt RCT som feltmetode med godt resultat. Hvilken analysemetode som skal benyttes må vurderes ut fra formål, antall prøver, kostnader og tid. Fordeler med en enkel, rimelig og rask metode som RCT er for det første at metoden kan benyttes i felt for umiddelbart å få indikasjoner om kloridbelastningen og for det andre at metoden gjør det mulig å øke prøveomfanget innenfor fastlagt kostnads- og tidsrammer.

Prosjektet har benyttet uttak av støv fra 4 borhull og bruk av RCT som analysemetode. Dette gav tilstrekkelig nøyaktighet for bruken av resultatene i prosjektet. Det må imidlertid gjøres oppmerksom på at erfaringene er gjort på en bru som var 11-14 år på tidspunktet for prøvetaking. Avhengig av faktorer som bruas alder, overdekning, betongkvalitet og kloridbelastning, kan det være aktuelt å stille andre krav til både kloridprofilets og analysemetodens nøyaktighetsnivå.

Uttak av kjerner for kartlegging av kloridprofilen utføres normalt på steder hvor betongens kloridinnhold er høyt. Fresing i 2 mm dybde fører til svært mange sjikt av betongstøv. Det er imidlertid ikke hensiktsmessig å analysere alle sjiktene. Det er derfor viktig på forhånd å vurdere og spesifisere hvilke dybdeintervaller som skal analyseres. Dette gjøres normalt på grunnlag av allerede eksisterende kloridprofiler bestemt ved hjelp av utboret betongstøv som er analysert ved RCT eller tilsvarende metode.

4.6 Korrosjonsundersøkelse

4.6.1 Generelt

Muligheter og begrensninger knyttet til EKP-målinger er beskrevet i rapporten «Vurdering av EKP-målinger og Gecor 6» /8/. Som navnet tilsier, tar rapporten også for seg måling av korrosjonshastighet ved hjelp av det spanske instrumentet Gecor 6. Konklusjonen i denne rapporten vedrørende Gecor 6 er at instrumentet ikke kan anbefales benyttet for måling av korrosjonshastighet.

Bruavdelingens rapport nr. 94-16 BRU, Anbefaling for bruk av ElektroKjemisk Potensialmåleutstyr (EKP) /9/ gir også beskrivelse av metoden, utførelse og tolkning. Denne rapporten er spesielt beregnet for brukere av det danske Bloodhound-utstyret, men inneholder også informasjon av generell gyldighet.

Tolking av EKP-målinger er arbeid for spesialister og kan være beheftet med usikkerhet.

Forslag til spesiell beskrivelse er gitt nedenfor.

4.6.2 Spesiell beskrivelse 87.1824 Korrosjonsundersøkelse

b) Måleelektroden skal være av sølv/sølvklorid (Ag/AgCl) i mettet KCl-løsning. Måleinstrumentet skal være batteridrevet. Potensialfunksjonen skal ha måleområde ± 2 V, oppløsning 0,1 mV og inngangsmotstand på minimum 10 M Ω , helst 50-100 M Ω . Avlesning skjer i hele mV.

Den elektriske motstand skal måles ved en frekvens på 100-1000 Hz og en strøamplitude som ikke ødelegger måleelektroden. Måleinstrumentet skal ha et måleområde på minst 0-500 k Ω og en oppløsning på minst 0,1 k Ω . Avlesning skjer i hele k Ω .

Svamp som brukes for å sikre elektrolytisk kontakt mellom referanseelektrode og betongoverflate skal ikke være tykkere enn 20 mm.

- c) *Før oppstart av målinger skal måleutstyret kalibreres. Dette skal gjøres i tråd med utstyrets bruksanvisning.*

Før måling skal eventuell overflatebehandling fjernes fra målepunktene. Målingene skal ikke foretas ved temperatur lavere enn + 5 °C. Før måling skal målepunktet fuktes med rent ferskvann.

Armeringskontinuiteten kontrolleres ved å måle motstanden mellom to elektriske kontaktpunktene i hver konstruksjonsdel. Motstanden mellom de to punktene skal være lavere enn 1,0 Ω.

Størrelse av rutenettet som benyttes skal være [spesifiseres]

I rapporteringen skal type av referanseelektrode, temperatur og eventuell overflatebehandling oppgis. Lokaliseringssystemet for brua skal benyttes i rapporteringen.

Resultater skal rapporteres i henhold til skalaen for en Cu/CuSO₄-elektrode. Omregning skal gjøres i henhold til korreksjonsverdiene i Statens vegvesen håndbok 015 Feltundersøkelser, metode 15.551.

Rapporten skal inneholde tolkning og vurdering av resultatene. Ved bruk av Bloodhound-utstyr utføres tolkning og rapportering i henhold til Bruavdelingsens rapport 94-16 Anbefaling for bruk av ElektroKjemisk måleutstyr (EKP).

4.6.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse

Det stilles krav om at måleinstrumentet skal kunne gi både potensial- og motstandsverdier og at det skal brukes utstyr med datalogger. Det eksisterer spesialutviklet måleutstyr som både registrerer motstandsverdier og muliggjør logging av måledata, f.eks. det dansk utviklede måleutstyret «Bloodhound». Rapport nr. 94-16 BRU /9/ er skrevet for brukere av Bloodhound. Andre typer utstyr med de samme muligheter er «The Great Dane» og «Canin» som produseres av henholdsvis Germann Instruments i Danmark og Proceq i Sveits. Måling av betongens elektriske motstand tjener to hensikter:

1. Motstandsverdier kan teoretisk sett benyttes sammen med potensialverdier for å sannsynliggjøre korrosjonsstrømmer i betong (dette gjøres i tolkningsprogrammet til Bloodhound).
2. Høye motstandsverdier indikerer kontaktproblemer eller andre forhold som forstyrrer målingene. Motstandsmålinger kan på denne måten benyttes for å kvalitets-sikre selve EKP-målingene.

Årsaken til at det anbefales bruk av måleinstrument som også registrerer motstand er først og fremst for å kvalitetssikre målingene under utførelsen. Frekvensen målingene utføres ved, påvirker måleresultatene. Hvis mulig bør det velges en frekvens nær 1000 Hz.

Det eksisterer fenomener som kan føre til feiltolkninger av EKP-målingene. EKP-målinger som utføres på en betongoverflate inneholder potensialbidrag som ikke er skapt av korrosjonstilstanden. Størrelsen på disse bidragene er vanligvis ikke like for alle deler av en konstruksjon. I enkelte tilfeller kan forskjellene være mer enn 100 mV. Det er særlig forskjeller i pH og kloridmengde i betongens overdekning som skaper problemet. På bruer er det ofte målt store potensialforskjeller mellom horisontale og vertikale konstruksjonsdeler samtidig som innstøpte referanseelektroder viser tilnærmet like potensialer. Dette betyr at man ikke bør benytte generelle tolkningskriterier, men utarbeide egne kriterier for en gitt konstruksjon eller konstruksjonsdel. Kriteriene må bygge på opphugging for korrosjonsbestemmelse. Det er også mulig å kontrollere pH på betongoverflaten på forskjellige steder ved å presse et pH-papir mellom referanse-elektrode og betong. Store forskjeller i pH indikerer potensialbidrag som ikke skyldes korrosjon.

Disse fenomenene er nærmere beskrevet i rapporten «Vurdering av EKP-målinger og Gecor 6» /8/.

4.7 Opphugging for korrosjonsbedømmelse

4.7.1 Generelt

Formålene med opphugging er å bestemme graden av korrosjonsangrep, dernest å kontrollere EKP-målinger for en mer presis vurdering av utbredelse/areal av skaden. I opphuggingene bør armeringen vurderes etter en rustgradskala fra A-E som beskrevet i Prosesskode-2 /1/, prosess 87.1828. Definisjon av rustgradene er som følger:

Rustgrad A: Helt uskadet armering med matt glatt hinne.

Rustgrad B: En kan se de første små spor av rust (må vurderes om dette er fra byggetiden).

Rustgrad C: Jevnt fordelt overflaterust.

Rustgrad D: Kraftig, avskallende overflaterust og en tydelig tverrsnittsreduksjon.

Rustgrad E: Groptæring.

Omfanget av opphugging må bestemmes ut fra hvor stort behovet er for nøyaktighet og for sikkerhet av de vurderingene som skal gjøres, med andre ord hvor kritisk skadene er.

Opphugging bør foretas på steder med ulike EKP-verdier for å få «fasitsvar» med hensyn til tolkningen av EKP-målingene. Områdene der det skal foretas opphugging velges altså ut på grunnlag av EKP-målingene. Opphugging starter normalt i et område med svært lave EKP-verdier.

I et område der det skal foretas opphugging anbefales å tegne opp armeringsmønster på betongoverflaten og foreta EKP-målinger langs armeringsstenger for nøyaktig å bestemme opphugningspunktet. Denne EKP-målingen bør lagres separat for senere å kunne sammenlignes med resultatet fra opphugging.

Resultatene i prosjektet har vist at det er sammenheng mellom rustgrad og elektrokjemisk potensiale, men at det er stor spredning i resultatene. Trolig er sammenhengen bedre for enkelte konstruksjonsdeler hvor fuktpåkjønning, overdekning og betongkvalitet er mer homogen, slik at registrering av rustgrad i opphugninger kan benyttes for å «nivellere» EKP-målingene.

Det kan knyttes usikkerhet til hvor pålitelig «fasitsvaret» er. Muligens kan registrert rustgrad ha blitt noe annet om en hadde forskjøvet opphugningen bare 20-30 cm på konstruksjonen. I selve opphugningen skal derfor betongens generelle tilstand med hensyn til tetthet/komprimeringsgrad, struktur, fuktnivå osv. vurderes. Forslag til spesiell beskrivelse er gitt nedenfor.

4.7.2 Spesiell beskrivelse 87.1828 Opphugging for korrosjonsbedømmelse

- a) *Prosessen inkluderer EKP-målinger i et rutenett som tilsvarende armeringsmønsteret for eksakt lokalisering av opphugningspunktet.*
- b) *For krav til måleutstyr i forbindelse med EKP-målinger vises til prosess 87.1824.*
- c) *Opphugging for korrosjonsbedømmelse skal gjøres langs armeringsjernene i minimum 0,3 m lengde. Minimum ett stangkryss skal frilegges.*

Bredden av opphugningen skal tilpasses armeringsdimensjon og overdekning slik at minimum bredde er armeringsoverdekningen pluss armeringsdiameter ($o + d$). Av armeringsjernets omkrets skal 1/3 til 1/2 av jernets omkrets frilegges.

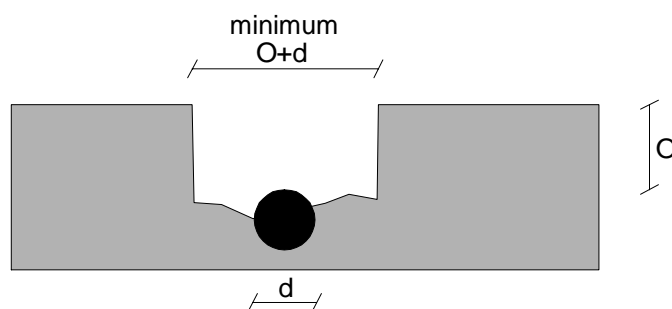
EKP-målinger skal utføres som beskrevet i prosess 87.1824 og skal lagres og rapporteres separat.

- f) *Mengden måles som antall opphugninger.*
 - 1. *Opphugging uten EKP-målinger. Enhet: stk.*
 - 2. *Opphugging med EKP-målinger. Enhet: stk.*

4.7.3 Kommentarer til foreslått spesiell beskrivelse

Prosesskode-2 /1/ beskriver opphugninger med størrelse 0,3 x 0,3 m. Det anses som lite hensiktsmessig fordi dette medfører nødvendig meisling. Ved meisling langs armeringen begrenses meislingsomfanget vesentlig.

Bredden av opphugningen anbefales tilpasset armeringsdimensjon og overdekning slik at minimum bredde er armeringsoverdekningen pluss armeringsdiameter ($o + d$). Av armeringsjernets omkrets skal 1/3 til 1/2 av jernets omkrets frilegges. Se figur 4.7-1.



Figur 4.7-1: Bredden av en opphugning for korrosjonsbedømmelse tilpasses armeringsdiameter og overdekning.

Opphugging foretas lettest ved å snitte på begge sider av armeringsstangen med vinkelsliper i dybde minst lik overdekningen og så foreta videre utmeisling for å frilegge tilstrekkelig del av armeringsjernet. De utmeislede betongstykkene kan benyttes til andre undersøkelser, f.eks. fuktmålinger eller kloridinnhold inntil armeringen.

Skjæring med vinkelsliper gir svært glatte sårkanter og er strid med anbefalt reparasjonsprosedyre ved mekanisk reparasjon. Bruk av vinkelsliper anbefales likevel da omfanget av slike sår blir begrenset og oppmørtling finner sted ved hjelp av håndmørtling. Opphuggingene skal støpes igjen under inspeksjonen, mens tilkomstutstyret er tilgjengelig.

4.8 Fuktmåling og porøsitet

4.8.1 Generelt

Fukttilstand i Gimsøystraumen bru er fulgt opp både ved hjelp av innstøpte sensorer og et program for uttak av prøver for fuktundersøkelse i laboratoriet. Resultatene fra dette er beskrevet i rapporten «Betongens fukttilstand» /10/.

Kjennskap til fukttilstand og porøsitet og variasjon av disse over sted og tid er svært viktig for forståelse av nedbrytningsforløpet, utførelse av levetidsvurderinger, samt valg av preventive tiltak for å forlenge levetiden.

Fuktmåling ved å kutte løs betongprismer for undersøkelse av fuktinnhold og porøsitet i laboratoriet er en enkel prøvetaking som med fordel kan kombineres med opphugging for korrosjonsbedømmelse og kontrollmåling av overdekning.

Måling av fukt og porøsitet inngår normalt ikke ved inspeksjoner og er derfor ikke beskrevet i Prosesskoden. Målingene er imidlertid svært enkle, spesielt når prøvestykker etter korrosjonsbedømmelse kan benyttes. Fuktmålinger har generell interesse og vil bidra til å øke det eksisterende erfaringsgrunnlaget man har om fukttilstanden i bruer. Nedenfor er det derfor laget forslag til ny prosess for disse målingene.

4.8.2 Ny prosess 87.18291 Fuktmåling og porøsitet

- a) *Prosessens omfatter alle arbeider, materialer og utstyr for måling av fuktinnhold og porøsitet i betongen.*

Prosessens omfatter både uttak av prøvestykker, analysering og igjenstøping av sår.

- c) *Uttak av prøvestykker utføres som beskrevet i Statens vegvesens håndbok 015, Feltundersøkelser, metode 15.518.*

For undersøkelse av fuktinnhold i prøvestykker benyttes følgende prosedyre:

- Veiing direkte etter utpakking (m_1)*
- Neddykket i vannbad i en uke, prøven tørkes av slik at den ikke har fritt vann på overflaten, veiing i luft (m_2)*
- For volumbestemmelse, veiing i vann (m_3). Forutsetter at prøvestykket er opphengt i vekten*
- Tørking i ventilert tørkeskap ved 105 °C i 7 døgn, veiing (m_4).*

Følgende størrelser skal beregnes:

$$\text{Fuktinnhold in situ: } W_e = (m_1 - m_4) / m_4 \quad [\text{g/g tørrbetong}]$$

$$\text{Kapillærmettet fuktinnhold: } W_{es} = (m_2 - m_4) / m_4 \quad [\text{g/g tørrbetong}]$$

$$\text{Prøvestykkets volum: } V = (m_2 - m_3) / \rho_w \quad [\text{m}^3]$$

$$\text{Vannmettingsgrad: } DS = W_e / W_{es} [\%]$$

$$\text{Tørr densitet: } \rho_1 = m_4 / V \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\text{Sug porøsitet: } P_s = (m_2 - m_4) / V \rho_w$$

Estimat av masseforholdet

$$\text{(effektiv v/c): } v/c = (0,32P_s + 0,04) / (0,30 - P_s)$$

Vannets densitet ρ_w settes lik 1000 kg/m³.

4.8.3 Kommentarer til spesiell beskrivelse

Størrelsen på prøvestykkene bør være 150-300 g. Som beskrevet i Feltundersøkelser /5/, metode 15.518 må det legges vekt på forsegling/innpakking av prøvestykkene i plast umiddelbart etter prøveuttak.

Deler av prøvestykkene kan også benyttes til å måle relativ fuktighet (RF) i betongen. Da knuses betongbitene ned og plasseres i reagensrør med kork for stabilisering av RF og senere avlesning med egnet utstyr.

Proseduren ovenfor og de beskrevne beregninger er lik begrenset prosedyre i Laboratorieundersøkelser /4/, metode 14.637 bortsett fra følgende punkter:

- metode 14.637 /4/ beskriver ikke veiing av prøvestykkene direkte etter utpakking. Dvs. metoden beskriver ikke måling av in-situ fuktinnhold i betongen.
- metode 14.637 /4/ beskriver vannmetning under 50 atm. trykk etterfulgt av veiing. Dette gir mulighet for beregning av:
 - faststoff densitet, ρ_{fs}
 - makro porøsitet, P_m
 - total porøsitet, P_1
- det er benyttet andre notasjoner i metode 14.637 /4/.

Nærmere beskrivelse av målinger, beregninger og vurderinger av betongens fukttilstand foretatt i prosjektet er gitt i /10/.

Estimatet av masseforholdet (effektivt v/c) er basert på Powers modell for totalporøsiteten i sementpasta. Estimatet forutsetter 30 volumprosent pasta i betongen og en hydrasjonsgrad på 0,75 for sementen. Ved avvik utover dette vil estimatet gi gale verdier for v/c.

5. Vurdering av inspeksjonsresultatet

5.1 Generelt

Tilstanden til en betongbru i kystklima beskrives i hovedsak utfra hvilke av de følgende skader eller problemer den har og omfanget av disse:

- Liten overdekning
- Betongens kloridinnhold
- Armeringens korrosjonstilstand
- Bom
- Avskallinger
- Fuktpåvirkning/fukttilstand/lekkasjer
- Forekomst av riss og sprekker.

Omfanget av disse skadene/problemene vil indikere hvor langt konstruksjonen har kommet i nedbrytningsprosessen og spesielt hvor langt armeringskorrosjonen har kommet.

I tillegg kan det være svakheter i betongoverflaten som skyldes utførelsen. Dette kan f.eks. være:

- Overflateporer
- Bindtråd og løse spiker i betongoverflaten
- Monteringsstenger i overdekningsjiktet
- Armeringsstoler med innstøpte spiker
- Liten overdekning for ender av armeringsjern og stag
- Støpeskjøter
- Gammel sårflikk.

Selv om disse svakhetene ikke nødvendigvis påvirker den generelle tilstanden til konstruksjonen i vesentlig grad, må de tas hensyn til ved utførelse av vedlikehold. Det samme gjelder også områder av betongoverflatene som er slitt av været de har vært utsatt for.

5.2 Levetidsmodell for armeringskorrosjon som følge av kloridinntrengning

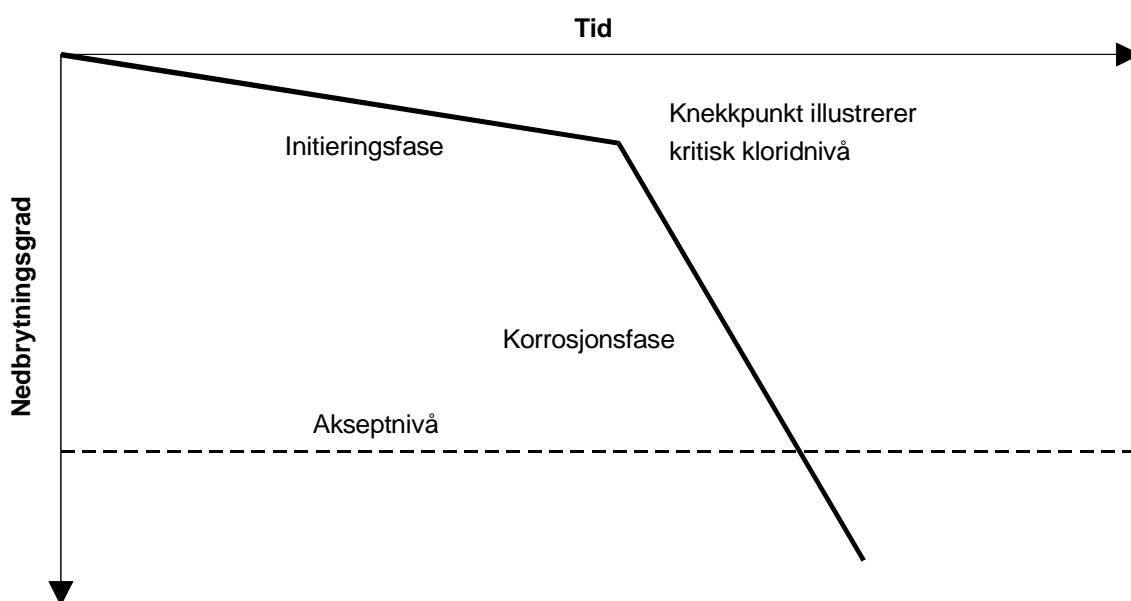
5.2.1 Forenklet modell

Levetid for en betongkonstruksjon er et upresist begrep. I FDV av bruer /3/ er levetid definert som funksjonstiden for et element eller ei bru. Funksjonstiden kan være bestemt av bæreevne, framkommelighet, estetikk eller andre krav.

Korrosjon av armering i betong som følge av kloridinntrengning beskrives ofte ved hjelp av en forenklet levetidsmodell /19/ der fire faktorer står sentralt. Dette er:

- Initieringsfasen. Dette er tiden det tar før klorider trenger inn til armeringen i tilstrekkelig mengde til at armeringen starter å korrodere.
- Kritisk kloridnivå. Dette er mengden av klorider som skal til for at korrosjonsprosessen starter opp. Dette vil variere avhengig av betongkvalitet, overdekning, temperatur osv.
- Korrosjonsfasen. Dette er perioden hvor det foregår aktiv korrosjon og nedbrytning av armeringen i konstruksjonen.
- Akseptnivået. Dette er en definisjonssak for hver enkelt konstruksjon noe som også definisjonen i FDV av bruer /3/ viser.

Levetidsmodellen er illustrert i figur 5.2-1.



Figur 5.2-1: Levetidsmodell for armeringskorrosjon som følge av kloridinntrengning /19/.

Med grunnlag i kloridprofiler og overdekning er det mulig å foreta beregninger for å estimere hvor lang tid det tar for en kloridfront med en gitt kritisk verdi å nå inn til armeringen, dvs beregne hvor lang initieringsfasen blir.

Når det skal foretas slike beregninger, stilles det strengere krav til prøvetaking da minst 5 nivåer (ulike sjikt) må være med i hvert kloridprofil. I tillegg må betongens tetthet mot klorider bestemmes i laboratoriet fra utborede betongkjerner. Beregningene kan foretas med modeller som benytter ulike formelverk. Forskjellige modeller er beskrevet i /20/-/23/. I modellene er det svært mange parametre som skal håndteres, men det er laget regneark og kurveskarer som letter bruken av modellene.

Inngangsdata til bruk i formelverket kan være alder ved prøvetaking og betongens in-situ diffusjonskoeffisient (D), ytre kloridbelastning (C_s) og betongens opprinnelige kloridinnhold (C_i). Disse 3 parametrene bestemmes på grunnlag av in-situ kloridprofiler.

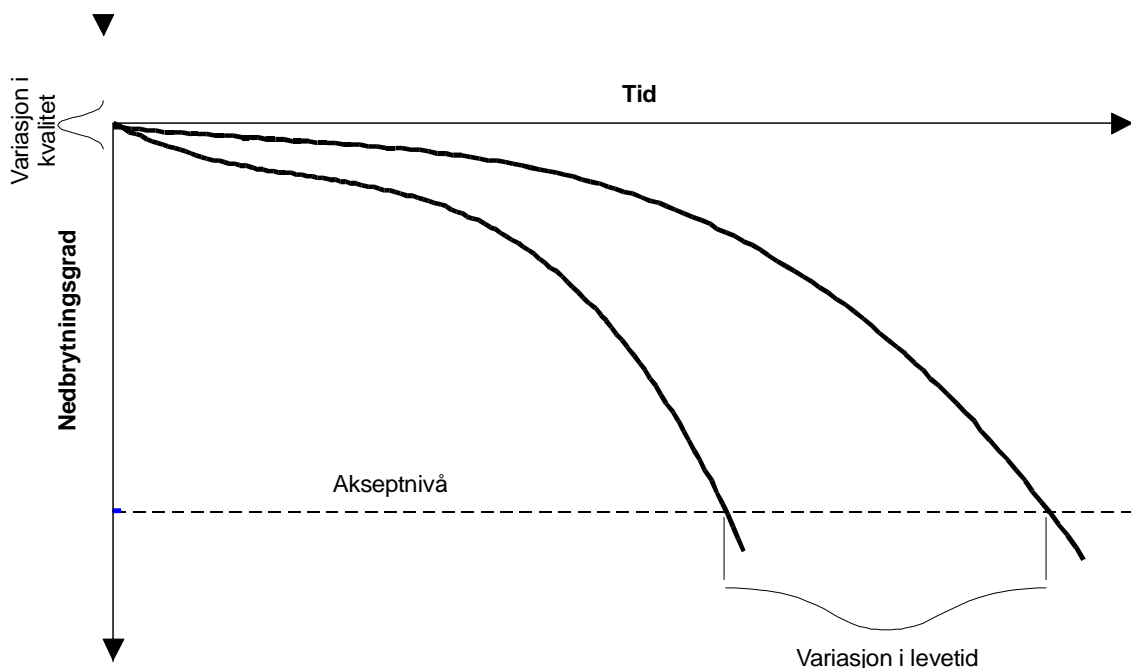
Som inngangsdata benyttes også betongens diffusjonskoeffisient (D_p) bestemt ut fra neddykket diffusjonstest i laboratoriet. Kloridfri betong fra utborede kjerneprøver (indre del av borkjerner) eksponeres i en saltløsning i ca. 5 uker. Denne testen er beskrevet i Laboratorieundersøkelser /4/, metode 14.651. Beregninger av D og C_s er basert på Fick's andre diffusjonslov.

Som inngangsdata benyttes i tillegg antakelser om kritisk kloridnivå C_{cr} , v/c-tall, tidspunkt for når betongen utsettes for klorider, diffusjonskoeffisient ved dette tidspunkt og koeffisienter som prøver å ta hensyn til endring i diffusjonskoeffisienten over tid.

5.2.2 Videreutviklet levetidsmodell

Nedbrytningsforløpet vist i figur 5.2-1 er som tidligere nevnt svært forenklet. I virkeligheten er nedbrytningsforløpet bestemt av både konstruksjonens opprinnelige kvalitet og det klimaet den utsettes for i løpet av levetiden. Både initialkvaliteten og levetiden bør derfor betraktes som statistisk fordelte størrelser etter en Gauss kurve slik de er illustrert i figur 5.2-2. De to kurvene kan f.eks. representere ytterpunktene for de ulike elementene som ei bru består av, hvor både initialkvalitet og klimapåkjenning kan variere.

I prosjektet har en fått indikasjoner på at kloridinntrengningen i tidlige faser kan være forholdsvis høy. Dette betyr at nedbrytningsforløpet i initieringsfasen heller ikke er rettlinjet slik det er fremstilt i den forenklete modellen.



Figur 5.2-2: Videreutviklet levetidsmodell for armeringskorrosjon.

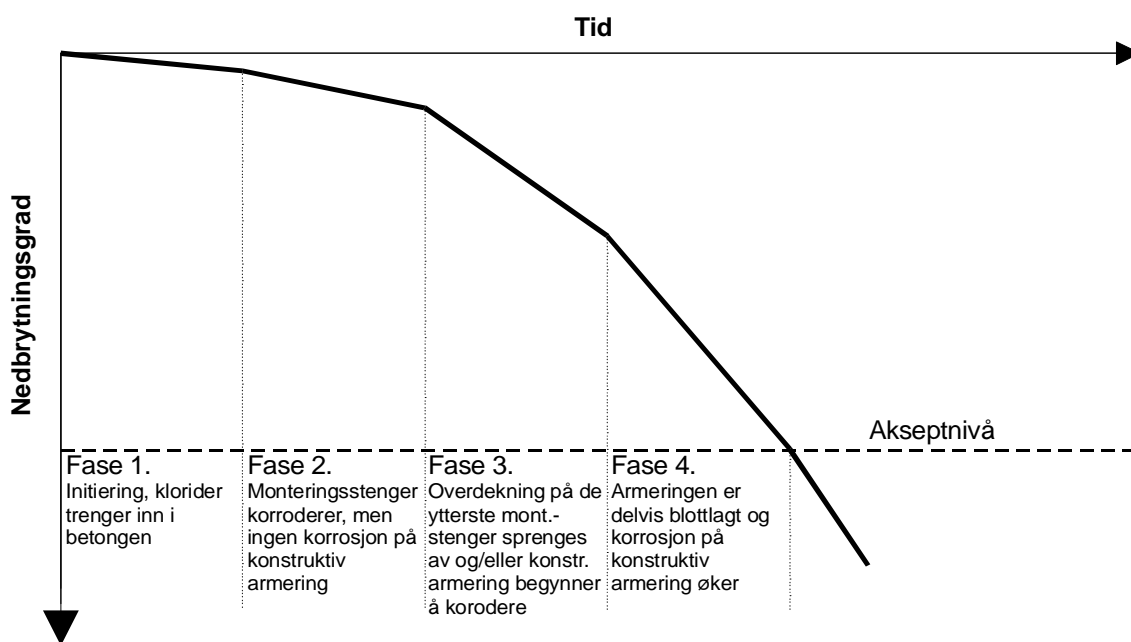
5.2.3 Nedbrytningsfaser

I prosjektet ble det definert 4 nedbrytningsfaser for armert betong. Bakgrunnen for denne klassifiseringen var å benytte dette som et utgangspunkt for å velge hvilke vedlikeholdstiltak som måtte gjennomføres.

De forskjellige nedbrytningsfasene ble definert på følgende måte:

- Fase 1: Initiering. Klorider trenger inn i betongen.
- Fase 2: Monteringsstenger begynner å korrodere, men det er ingen korrosjon på konstruktiv armering.
- Fase 3: Overdekningen på de ytterste monteringsstengene begynner å sprenge av og/eller den konstruktive armeringen begynner å korrodere.
- Fase 4: Armeringen er delvis blottlagt og korrosjonen på konstruktiv armering øker.

Nedbrytningsfasene er illustrert i figur 5.2-3. Dersom en konstruksjonsdel ikke har monteringsstenger, vil fase 1 og 2 falle sammen. I fase 3 vil avskalling av overdekning da skyldes begynnende korrosjon på konstruktiv armering.



Figur 5.2-3: Nedbrytningsfaser for armert betong.

Ved klassifisering av en flate er det viktig å komme fram til hvilken nedbrytningsfase som er representativ for hele eller større deler av flaten. I praksis vil det som regel være vanskelig å fastslå hvilken tilstand armeringen er i og følgelig også klassifisere hvilken fase som er representativ for en aktuell betongoverflate.

Ofte vil ulike deler av ei betongoverflate være i forskjellige nedbrytningsfaser. For en flate med en del rustutslag kan det også være spørsmål om flaten er i fase 3 eventuelt 4, eller om den er i fase 2 med enkelte lokale skader.

Det kan være usikkerhet ved om en har observert alle lokale skadene på en flate. Det kan også være usikkerhet ved hvilken form for korrosjon som måtte pågå, groptæring eller jevn overflatekorrosjon. Det er derfor neppe til å unngå at tolkningen av inspeksjoner vil måtte ha et betydelig element av subjektivt skjønn basert på erfaring i seg.

Jo mer diffust en flates tilstand beskrives, desto større er risikoen for at de valgte reparasjonsløsningene blir mislykkede. Bruk av dette prosjektets problemløsninger og produktdokumentasjoner medfører derfor at det må hvile **et stort ansvar på tolkningene av inspeksjonen.**

Som et hjelpemiddel til å knytte observasjonene av rustgrad i en opphugning til de nevnte nedbrytningsfasene, er det i tabell 5.2-1 laget et forslag til sammenheng.

Tabell 5.2-1: Nedbrytningsfaser - rustgrad.

Nedbrytningsfase	Rustgrad (i henhold Prosesskode-2 /1/)	
	Monteringsstenger	Konstruktiv armering
1	A	A
2	B	A
3	C, D	B
4	D, E	C, D, E

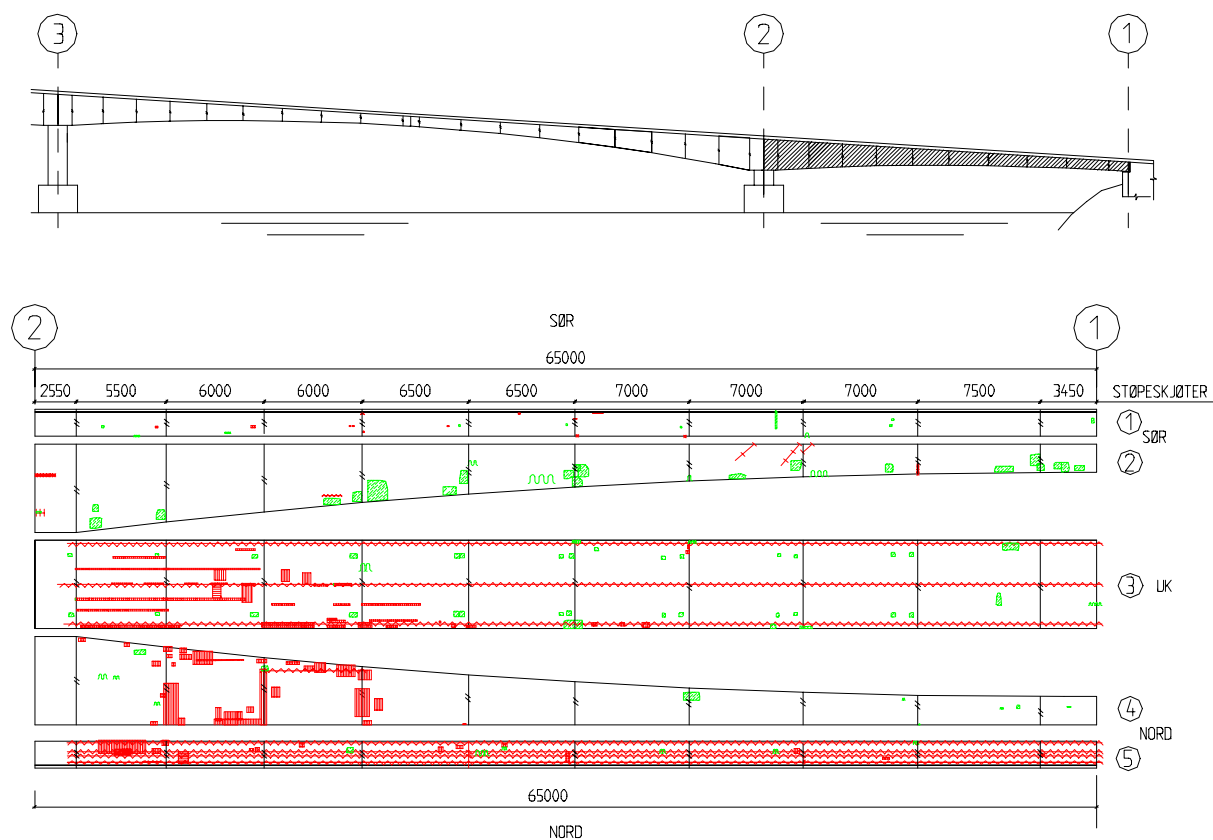
5.3 Presentasjon av resultater

De metodene en har til rådighet for undersøkelse av tilstand med hensyn til armeringskorrosjon, er alle beheftet med usikkerhet. For å få en sikrest mulig tolkning av inspeksjons-resultatene, er det derfor viktig å kombinere undersøkelsesmetoder.

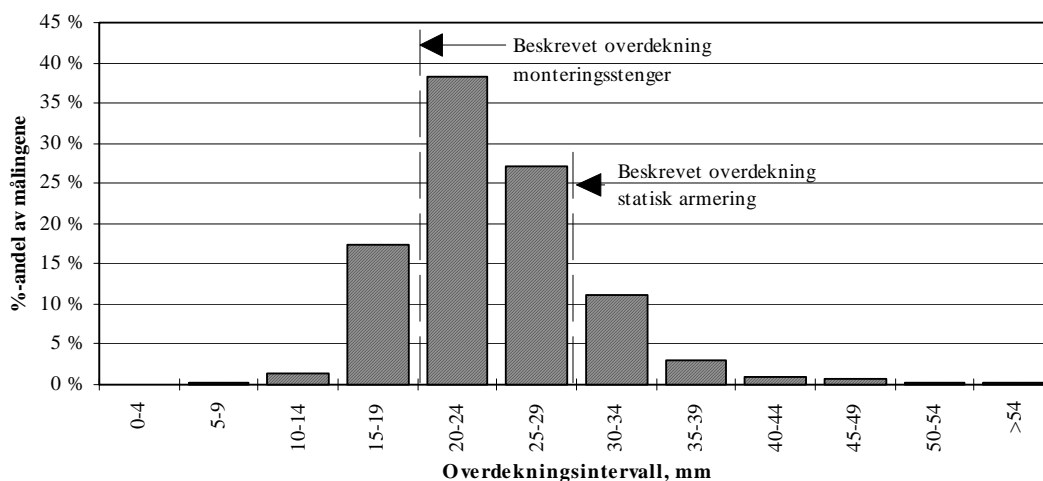
Resultatene av undersøkelsene må framstilles på en oversiktlig måte. Grafisk fremstilling bør benyttes, mens resultater i tabellform med fordel kan presenteres i vedlegg. Opptredende skader, prøveresultater, eksakt lokalitet av eventuelle laboratorieprøver kan f.eks. tegnes inn på «utbredte overflatetegninger» for hver konstruksjonsdel med bruk av koordinater som beskrevet i kapittel 3. Ved opptegning av skader bør det benyttes en standard symbolliste. Inspeksjonshåndboken /2/ inneholder en slik symbolliste.

Figur 5.3-1 viser eksempel på inntegning av skader observert ved visuell kontroll, mens eksempel på grafisk presentasjon av overdekningsmålinger er vist i figur 5.3-2. Skadesymboler er vist i publikasjon nr. 85 /7/.

Ved prøvetaking benyttes ofte en kode for merking av prøver. I presentasjonen av resultater er det viktig at både kode for entydig identifisering av prøver og nødvendig klartekst benyttes for lett å knytte resultater til konstruksjonsdel og prøvelokalitet.

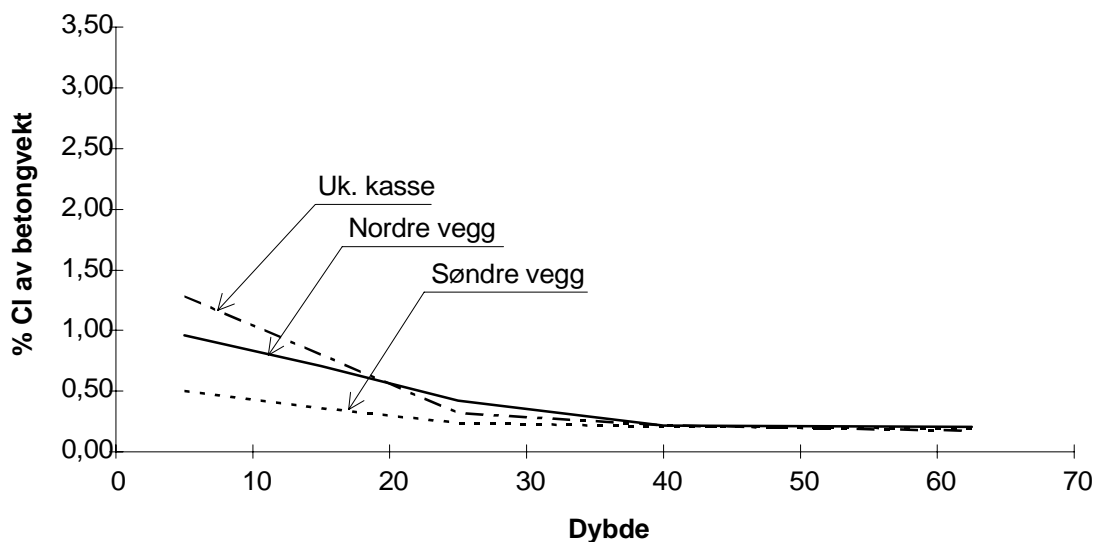


Figur 5.3-1: Inntegning av skader etter visuell kontroll.

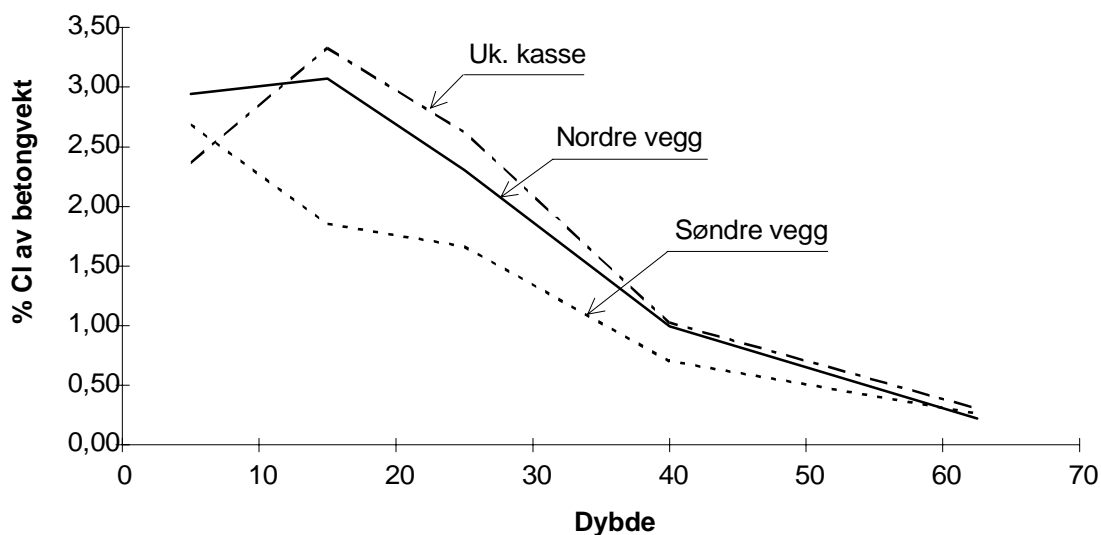


Figur 5.3-2: Fordeling av armeringsoverdekning i felt 1 på Gimsøystraumen bru, basert på 2029 enkeltmålinger.

Kloridprofiler er en viktig del av tilstandsvurderingen av kystbruer. Figur 5.3-3 viser eksempel på presentasjon av kloridprofiler i overbygningen på Gimsøystraumen bru. Disse profilene er gjennomsnittet av 3 profiler på hver flate.



a) Kloridprofiler midt i felt.

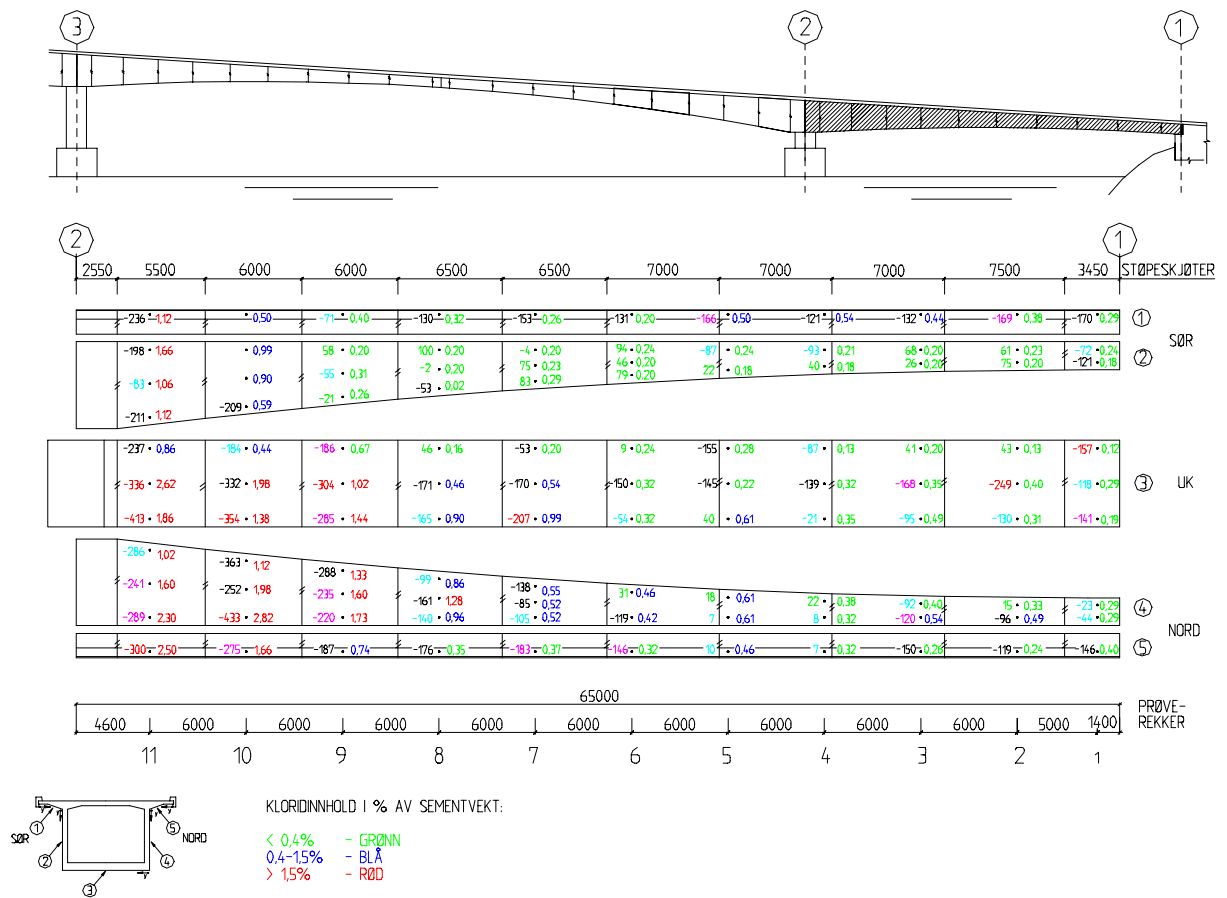


b) Kloridprofiler 5 m fra akse 2.

Figur 5.3-3: Kloridprofiler i overbygning, felt 1.

Figur 5.3-4 viser eksempel på presentasjon av prøveresultater fra kloridanalyser og EKP-målinger på en «utbrettet overflatetegning». På tross av usikkerhetene med de forskjellige materialundersøkelsene ser en at områdene med høye kloridinnhold og lave potensialer i figur 5.3-4 stemmer svært bra med skadeområdene registrert ved visuell kontroll, se figur 5.3-1.

Eksempel på presentasjon av EKP- og motstandsmålinger på en søyle er vist i figur 5.3-5.



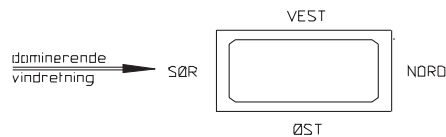
Figur 5.3-4: Presentasjon av prøveresultater fra kloridanalyser og EKP-målinger.

12,3																																			
NORD				VEST				SØR				ØST																							
-39	-130	-128	-164	-148	-137	-139	-79	-197	-174	-168	-170	-162	-174	-159	-157	-129	-103	-24	46	-4	-11	-9	-15	-92	-48	-36	-9	-134	-151	-163	-173	-173	-178	-165	-182
-125	-169	-140	-149	-124	-131	-136	-145	-173	-186	-190	-188	-184	-171	-89	-104	-107	-118	-84	26	-54	-42	-21	11	-39	-23	46	-18	-66	-129	-163	-170	-181	-197	-187	-192
-115	-84	-169	-174	-105	-111	-159	-180	-172	-176	-181	-186	-183	-144	-113	-117	-124	19	-124	31	-24	-27	-37	-24	-3	-14	-29	-38	60	-58	-136	-165	-166	-180	-198	-193
-131	-160	-166	-125	-132	-129	-171	-179	-179	-171	-168	-177	-157	-154	-150	-139	-109	-151	-148	65	11	16	-14	-20	-33	-27	-98	-49	-73	-12	-87	-149	-168	-185	-189	-196
-138	-160	-111	-141	-116	-143	-167	-255	-180	-142	-143	-173	-160	-138	-109	-99	16	9	-115	-108	-46	-22	-2	-10	2	-34	-66	-56	32	-109	-136	-133	-166	-196	-205	-190
-167	-187	-164	-103	-141	-137	-84	-155	-182	-162	-168	-135	-151	-103	-58	-79	-75	-115	-140	-130	-27	-42	-34	-56	0	-3	-34	-93	-47	-104	-132	-144	-152	-176	-191	-182
-182	-196	-247	-201	-98	-161	-153	-143	-177	-170	-167	-183	-174	-155	-87	-147	-134	-84	-126	-101	-79	-109	-66	-90	-90	-76	-44	-12	-83	-128	-142	-138	-160	-171	-188	-188
-229	-188	-194	-165	-175	-90	-124	-171	-175	-153	-157	-153	-150	-142	-23	-122	-30	-126	-96	-47	-79	-86	-69	-69	-29	-56	-90	-30	-75	-120	-133	-111	-175	-169	-181	-173
-218	-359	-241	-236	-199	-225	-200	-170	-188	-183	-155	-170	-200	-150	-181	-143	18	-118	-45	-88	-30	-97	-68	-68	-37	-97	-35	38	-108	-107	-125	-139	-160	-153	-189	-196
-189	-211	-203	-205	-200	-194	-188	-162	-200	-178	-194	-168	-185	-120	-188	-84	-125	-149	-140	-110	-134	-74	-79	-26	-59	-93	-40	-28	-80	-137	-114	-164	-174	-184	-176	-205
-223	-187	-155	-177	-229	-195	-215	-183	-217	-213	-238	-241	-202	-234	-227	-218	-234	-181	-161	-130	-121	-129	-127	-123	-155	-156	-91	-207	-233	-231	-227	-248	-228	-251	-243	-239
-174	-163	-201	-175	-209	-219	-198	-189	-210	-221	-239	-242	-211	-251	-250	-233	-237	-190	-165	-131	-127	-199	-184	-145	-127	-123	-143	-119	-236	-230	-236	-245	-247	-235	-230	-246
-213	-212	-203	-230	-213	-229	-227	-229	-232	-229	-245	-253	-229	-265	-241	-234	-260	-224	-214	-99	-135	-149	-177	-164	-123	-158	-154	-224	-249	-245	-237	-253	-244	-252	-259	-255
-277	-203	-165	-215	-213	-230	-207	-202	-245	-244	-242	-260	-255	-254	-239	-251	-277	-241	-148	-149	-167	-169	-203	-249	-141	-209	-159	-257	-279	-258	-272	-263	-264	-252	-257	-265
-189	-217	-174	-218	-139	-194	-183	-363	-247	-230	-258	-219	-225	-252	-213	-217	-249	-245	-209	-175	-241	-203	-175	-197	-160	-179	-189	-300	-278	-248	-246	-248	-229	-236	-263	-246
3500				5400				3500				5400																							

Potensialer (mV CSE) målt med bloodhound

12,3																																				
85	86	84	92	90	84	84	84	4	2	3	4	7	7	6	3	8	10	9	8	11	19	12	13	30	20	18	8	5	9	5	12	7	5	5	5	
79	82	79	80	81	78	80	79	4	3	7	7	9	6	7	6	17	7	6	8	6	8	10	9	10	10	8	9	11	6	6	6	5	5	2	4	4
79	80	84	82	79	79	78	82	6	7	4	9	8	5	9	9	5	10	8	4	13	8	16	9	7	10	13	11	10	5	8	6	5	5	3	4	4
85	90	82	85	83	88	85	87	14	6	7	11	12	9	7	4	6	12	13	5	16	10	6	6	5	6	9	14	12	14	20	7	7	4	6	5	
90	89	86	91	89	93	85	87	6	12	13	4	4	13	7	7	4	10	14	8	13	12	31	8	7	11	20	10	12	12	12	12	12	7	12	5	
61	58	65	59	60	62	61	64	15	9	11	11	18	17	10	12	14	8	12	17	15	12	18	25	11	18	17	8	19	13	15	11	10	15	11	9	
63	71	62	61	62	62	61	68	10	14	17	22	18	21	14	12	12	13	12	17	12	19	10	13	17	18	26	8	11	8	10	11	8	11	10	13	
62	58	57	56	60	63	56	65	10	13	13	17	8	7	10	13	19	13	11	21	18	20	25	25	22	23	26	9	12	9	8	35	13	10	13	15	
58	55	65	64	57	57	77	57	10	8	8	15	15	9	28	18	11	13	16	21	17	15	20	17	23	20	14	6	9	12	11	7	9	10	14	11	
67	64	65	66	70	67	67	66	14	13	11	8	12	9	15	9	33	10	15	26	26	18	22	17	10	21	25	8	31	7	17	7	8	15	12	10	
11	11	10	9	16	18	16	19	20	36	16	21	18	29	30	25	22	19	28	34	24	35	32	34	33	37	43	35	32	30	39	42	36	34	37	34	
21	13	14	25	12	16	21	13	18	22	22	23	26	40	30	37	42	34	44	30	31	41	37	35	36	40	44	32	41	37	35	35	44	34	35	31	
26	8	5	13	13	9	14	12	28	27	23	18	16	33	30	34	40	29	51	22	22	27	31	35	37	33	32	37	33	33	35	37	33	36	31	32	
15	19	11	11	15	12	15	16	23	20	25	19	24	20	23	24	19	27	24	33	38	30	35	44	39	37	39	30	35	33	29	33	33	32	30	29	
469	17	16	17	14	17	17	19	19	21	20	21	19	16	16	21	22	25	26	24	29	31	37	43	35	37	34	29	27	25	26	28	27	31	32	28	
3500				5400				3500				5400																								

Motstandsmålinger (kOhm)



Figur 5.3-5: Presentasjon av EKP- og motstandsmålinger på søyle i akse 3.

5.4 Sammenheng mellom de forskjellige undersøkelsene

De forskjellige undersøkelsene som ble utført i forkant av prøvereparasjonene er beskrevet i kapittel 3. I prosjektet ble det gjort betydelige anstrengelser på å forbedre forståelsen av hvor armeringskorrosjon pågår, og hvilke faktorer det er som påvirker armeringskorrosjonen.

Det ble derfor laget sammenstillinger som viser sammenhengen mellom observerte rustgrader i opphugningene og kloridinnhold, potensial, motstand osv. nøyaktig der opphugging ble foretatt.

Tabell 5.4-1 viser sammenhengen mellom rustgrad og kloridinnhold, mens tabell 5.4-2 viser sammenhengen mellom rustgrad og potensial (EKP-verdi).

Tabell 5.4-1: Målte kloridinnhold for forskjellige rustgrader.

Rustgrad	A	B	C	D	E
Antall målinger	41	83	19	4	6
Gjennomsnittlig kloridinnhold (% av sementvekt)	0,13	0,46	0,76	1,23	1,56
Maksimum kloridinnhold	0,58	2,37	2,17	1,42	2,30
Minimum kloridinnhold	0,00	0,03	0,18	0,96	0,23
Standard avvik	0,13	0,45	0,59	0,22	0,81
Variasjonskoeffisient (%)	100	98	78	18	52

Tabell 5.4-2: Målt potensial for forskjellige rustgrader.

Rustgrad	A	B	C	D	E
Antall målinger	46	100	32	6	7
Gjennomsnittlig potensiale (mV)	-49	-148	-142	-295	-322
Maksimum potensiale (mV)	+80	+88	+96	-201	-57
Minimum potensiale (mV)	-244	-378	-385	-422	-460
Standard avvik (mV)	90	111	155	81	141
Variasjonskoeffisient (%)	184	75	109	27	44

Sammenstillingene viser at det er tendenser til sammenheng mellom:

- rustgrad og kloridinnhold
- rustgrad og potensiale.

Resultatene viste imidlertid så stor spredning at det ikke var mulig å fastslå en kritisk grense for kloridinnholdet med tanke på korrosjon. De store variasjonene kan skyldes at andre forhold enn kloridinnhold kan være vel så utslagsgivende med hensyn til korrosjon. Fuktinnhold i betongen og tilgang på oksygen kan begge være slike forhold. Det ble målt et overraskende høyt og stabilt fuktinnhold i betongen på Gimsøystraumen bru.

Det kan også stilles spørsmål ved om rustgradene som observeres i opphugningene er representative. I selve oppmeislingspunktet er nok observert rustgrad riktig, men hvis korrosjonen varierer i vesentlig grad langs armeringen (noe som er høyst trolig), kan det ligge betydelig tilfeldighet i hvilken rustgrad som er knyttet til de ulike kloridinnholdene og EKP-verdiene.

5.5 Tilpasning til Inspeksjonshåndboka

Det er viktig at skadevurderingen og klassifisering av nedbrytningsfaser benyttet i dette prosjektet tilpasses det systemet som benyttes i Inspeksjonshåndboken /2/. I Inspeksjonshåndboken knyttes observerte skader opp mot definerte skadetyper og alvorligheten av skadene bedømmes ved hjelp av skadegrad og skadekonsekvens.

I tilfellet Gimsøystraumen bru var følgende skadetyper avgjørende for å vurdere tilstanden:

- Liten og/eller skadet overdekning
- Armeringskorrosjon
- Riss og sprekker
- Bom
- Avskalling.

Kodene for skadegrad og skadekonsekvens er ifølge Inspeksjonshåndboken /2/:

Skadegrad

- 1 Liten skade/mangel, ingen tiltak nødvendig
- 2 Middels skade/mangel, tiltak i løpet av 4-10 år
- 3 Stor skade/mangel, tiltak i løpet av 1-3 år
- 4 Kritisk skade/mangel, tiltak straks eller senest innen ½ år
- 9 Ikke inspisert.

Skadekonsekvens

- B Skade/mangel som truer bæreevnen
- T Skade/mangel som truer trafiksikkerheten
- V Skade/mangel som kan øke vedlikeholdskostnadene
- M Skade/mangel som kan påvirke miljø/estetikk.

Skadegrad og skadekonsekvens skal settes med bakgrunn i både visuelle kontroller og materialundersøkelser. Årstall for utførelse av tiltak skal angis spesielt.

I tabell 5.5-1 er det vist eksempler på hvordan skadegrad og skadekonsekvens kan variere for de ovennevnte skadetyperne avhengig av hvilke nedbrytningsfase de befinner seg i. I tabell 5.5-1 er skadenes konsekvens vurdert for bæreevne og vedlikeholdskostnader. I fase 2-4 må det avhengig av brusted vurderes om skadene også kan ha konsekvens for trafiksikkerheten eller miljø/estetikk. Det vil si om det er fare for nedfall av avskallet betong på trafikkerte områder eller om brua ligger slik til at skadene skjemmer bruas utseende.

Tabell 5.5-1: Skadegrad/-konsekvens for forskjellige skadetyper/nedbrytningsfaser.

Skadetyper	Nedbrytningsfaser			
	1	2	3	4
Liten/skadet overdekning	1-2V	2V	3V	3V
Armeringskorrosjon, konstruktiv armering	-	-	1-2B	2-4B
Bom/avskalling	-	1V	2V	3V

Med referanse til tabell 5.5-1 kan en ha følgende tilstander for de forskjellige fasene:

Fase 1

Kloridinnholdet er ennå ikke så høyt at verken konstruktiv armering eller monteringsjern har begynt å ruste. Hvor stor marginen er for at korrosjon skal starte er ukjent, og kan variere. Det kan f.eks. være situasjoner hvor det er lite sannsynlig at kloridene vil forårsake korrosjon i løpet av levetiden. Tiltak vil da ikke være nødvendig, dvs. 1V for liten/skadet overdekning. Dersom kloridene vil forårsake korrosjon, vil vedlikeholdstiltak være nødvendig (2V). Årstall for tiltak angis innenfor tidsperioden 4-10 år.

Fase 2

I fase 2 har monteringsstengene begynt å korrodere. Siden monteringsstengene ikke har noen konstruktiv betydning representerer denne korrosjonen ikke noen svekkelse av konstruksjonens bæreevne. Skaden ligger i den konstruktive armeringens overdekningssone og det bør gjøres noe med den, f.eks. 2V for liten/skadet overdekning. Den konstruktive armeringen befinner seg fortsatt i initieringsfasen og har følgelig ingen korrosjonsskader. Det forutsettes at omfanget av avskallinger over monteringsstengene er så beskjedent at det i seg selv ikke utløser noen tiltak, dvs. 1V.

Fase 3

I denne fasen forutsettes det at skade på overdekningen pga. korrosjon på monteringsstengene er kommet så langt at skadegrad/skadekonsekvens må settes til 3V. Når det gjelder korrosjon på konstruktiv armering kan denne variere fra 1B (tiltak ikke nødvendig) til 2B (kan gi kreve tiltak innen 4-10 år). Det antas også at omfanget av avskallinger er utviklet så mye at skadegrad/skadekonsekvens er satt til 2V.

Fase 4

Skade på overdekningen pga. korrosjon på monteringsstengene vil være omtrent som for fase 3. Når et gjelder korrosjon på konstruktiv armering vil skadegrad variere avhengig av hvor store tverrsnittsreduksjoner armeringen har og hvor store reserver det er i konstruksjonen. 2B kan benyttes dersom akseptgrensen først nås om 4-10 år. Dersom akseptgrensen allerede er nådd, må 4B brukes. Det antas også at omfanget av avskallinger er utviklet så mye at skadegrad/skadekonsekvens er satt til 3V.

5.6 Statiske vurderinger

Betydningen skader har på bæreevnen til ei bru vil være avhengig av hvilken utnyttelsesgrad eller reserve brua har. Dersom det ikke foreligger beregninger som kan dokumentere dette, må nye beregninger utføres. Beregninger/vurderinger som kan være aktuelle å utføre er:

- Restkapasitet for skadet konstruksjonsdel/element.
- Statiske beregninger for å vurdere muligheten av å fjerne betong under reparasjonsarbeidet, kontroll av muligheten for å oppta krefter som følge av antatte kraftomlagringer. Spesielt i fritt frembygg-bruer med stor trykksone kan denne metoden være kritisk, da det foregår en kraftomlagring over tid som er vanskelig å kontrollere. I tillegg er armeringsføringen i overgangen mellom bunnplate og kassevegg avgjørende for hvordan fjerning av betong kan utføres. I dette området må det legges vekt på ikke å ødelegge heft og forankring til konstruktiv armering.
- Kartlegge mulighet for eventuell vektøkning på bruers overbygning.
- Vurdere nødvendigheten og eventuelt omfanget av midlertidig understøttelse.
- Sammenligning av nødvendig bøyle-/tverrarmring med det som er innlagt, slik at man får oversikt over hvor mye slakkarmring som kan være uvirksom uten at kapasiteten blir for lav.
- Risikoanalyse av spennarmeringen for å vurdere kritisk tap i spennkraft med hensyn på bruddgrensetilstand og med tanke på progressivt brudd.
- Vurdering av tekniske løsninger for forsterkning som ekstern forspenning, påliming av stålplater osv.
- Statisk analyse for å vurdere økt søylestivhet f.eks. ved kappestøp.

6. Vedlikehold

6.1 Vedlikeholdsstrategier

Målet er at bruer skal ha en total levetid på 100 år med lavest mulige vedlikeholdskostnader uten at bæreevnen eller trafikksikkerheten reduseres.

Når en ved inspeksjon oppdager skader, må en derfor vurdere om de må repareres og eventuelt når det må skje. I noen tilfeller kan det også være aktuelt å vurdere ombygging/nybygging i stedet for vedlikehold. Det er mulig å gjøre grove beregninger av dette ved å utrede alternative vedlikeholdsstrategier hvor det antas hvilke tiltak som må utføres i løpet av bruas levetid og hvor ofte de må utføres. De vanligste strategiene som benyttes ved slike beregninger er:

1. Midlertidig tiltak
2. Større tiltak
3. Nytt element/bru.

Nedenfor er det gitt en kort forklaring av hva en legger i disse strategiene:

Strategi 1. Midlertidig 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 2. Større 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.

Strategi 3. Nytt element/bru:

Denne strategien kan være aktuell for større og alvorligere skader hvor en ønsker å ta ut restlevetiden for så å skifte ut skadde elementer eller bygge ny bru.

Med begrepet vedlikeholdsstrategi menes altså at det utføres forskjellige tiltak på brua fordelt over en tidsperiode. Disse tiltakene kan ha forskjellig kostnad og kan settes i verk på forskjellige tidspunkt. Innen hver strategi finnes det mange mulige metoder med hver sine kostnader. Metodene kan variere fra enkel hydrofobering til omfattende mekaniske reparasjoner eller katodisk beskyttelse.

For å kunne sammenlikne strategiene/metodene foretas en nåverdiberegning, dvs. at fremtidige kostnader regnes tilbake til nåtidspunktet og sammenlignes. Kostnadene for

hver strategi/metode beregnes med prisnivå i det året beregningene utføres (nåværende kostnadsnivå).

Bakgrunnen for bruk av nåverdiberegninger er NS 3454 Årskostnader for bygninger /26/. NS 3454 angir at levetidskostnader for et byggverk er:

$$K = K_0 + FDV_n - R_n$$

K_0 = byggekostnad

FDV_n = nåverdi av alle FDV-kostnader i løpet av levetiden

R_n = nåverdi av byggverkets restverdi ved brukstidens utløp.

Når formålet er å finne fram til hvilken vedlikeholdsmetode som er mest lønnsom, er det ikke nødvendig å ta med byggekostnaden.

Det er vanlig at en tar for seg vedlikeholdstiltak innenfor en tidsperiode på 30-40 år da nåverdien av tiltak som utføres etter dette vil være neglisjerbare. I OFU-prosjektet ble det bare sett på kostnadene for større vedlikeholdstiltak. Kostnader til driftstiltak som rengjøring, inspeksjon, brøyting, strøing osv. ble ikke tatt med da de ville bli like for alle strategiene. Unntaket var kostnader til løpende kontroll av katodiske anlegg.

Restverdien av et byggverk er den verdi dette har ved brukstidens utløp. Det vil ofte være vanskelig å stipulere denne da den ligger langt fram i tid, men i hovedprinsipp kan en tenke seg følgende tre alternativer når det gjelder fastsettelse av restverdien for ei bru:

- **Restverdien kan være positiv:** Dette kan være aktuelt dersom brua har en nytteverdi når brukstiden utløper, f.eks. at den kan brukes for lavere trafikkklaster eller som g/s-bru.
- **Restverdien kan være negativ:** Dette er aktuelt når brua ikke kan brukes til noe når brukstiden utløper, men må fjernes. Den negative restverdien vil da være kostnadene med å rive brua.
- **Restverdien antas å være 0:** Der den fremtidige situasjonen er usikker, kan det være aktuelt å sette restverdien til null.

Det er vanskelig å vite hva som bør brukes av restverdi i forbindelse med vedlikehold. Dersom **en** av strategiene/metodene fører til at standarden på brua generelt blir lavere etter den betraktede perioden enn ved bruk av andre strategier/metoder kan det være aktuelt å benytte en negativ restverdi. Tilsvarende kan restverdien være positiv dersom strategien/metoden øker standarden. Dersom det er ukjent hvilken effekt de forskjellige metodene har, kan restverdien settes lik null. Med restverdi lik null blir formel for utregning av nåverdier:

$$N = V_{t1} (1+r)^{-t1} + V_{t2} (1+r)^{-t2} + V_{t3} (1+r)^{-t3} + \dots V_{tn} (1+r)^{-tn}$$

N = nåverdi

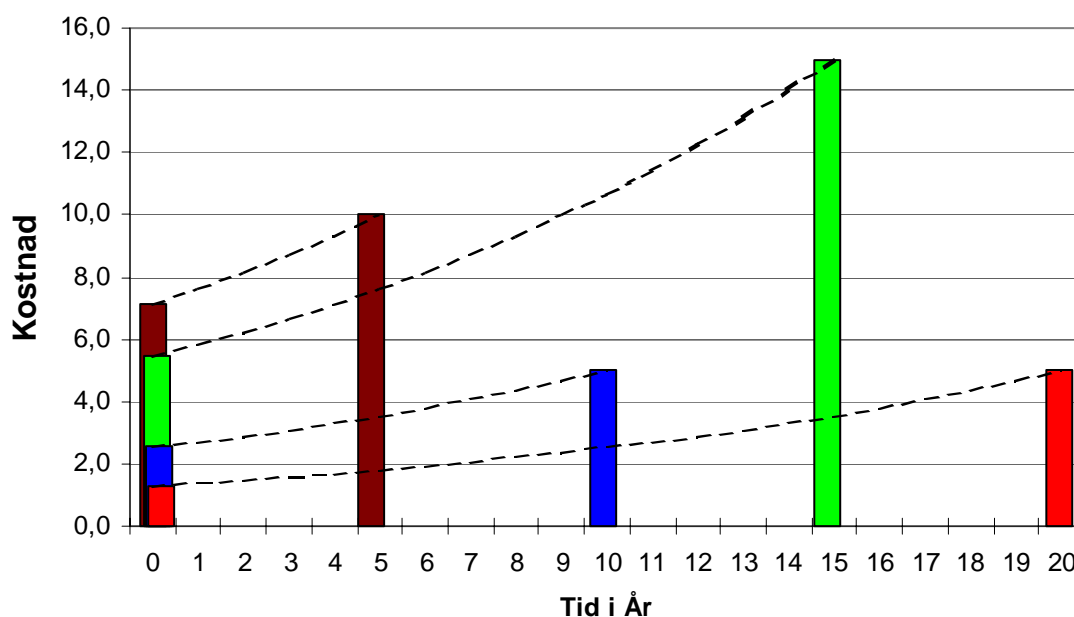
V_{t1} = kostnad vedlikeholdstiltak ved tid t1

V_{t2} = kostnad vedlikeholdstiltak ved tid t2

r = realrente (for tiden 7 %).

I nåverdiberegningen brukes som nevnt et estimat av fremtidige kostnader. Dette estimatet er delvis basert på en forventet skadeutvikling og en forventet levetid for materialer/produkter. Disse levetidsvurderingene er ikke basert på målte verdier og matematiske modeller, men er basert på skjønn/erfaring. Det er selvsagt usikkerhet forbundet med en slik skjønnsmessig vurdering, men viktig i denne sammenheng er at usikkerheten er lik for alle strategiene slik at dette muliggjør en sammenlikning. Nåverdiberegningene utføres med en realrente på 7 % som er i tråd med det Statens vegvesen vanligvis benytter.

Prinsippet for nåverdiberegning er illustrert i figur 6.1-1. Kostnader som påløper om 5, 10, 15 og 20 år blir omregnet til nåverdier og en ser at nåverdien blir mindre desto lenger ut i tid tiltakene utføres.

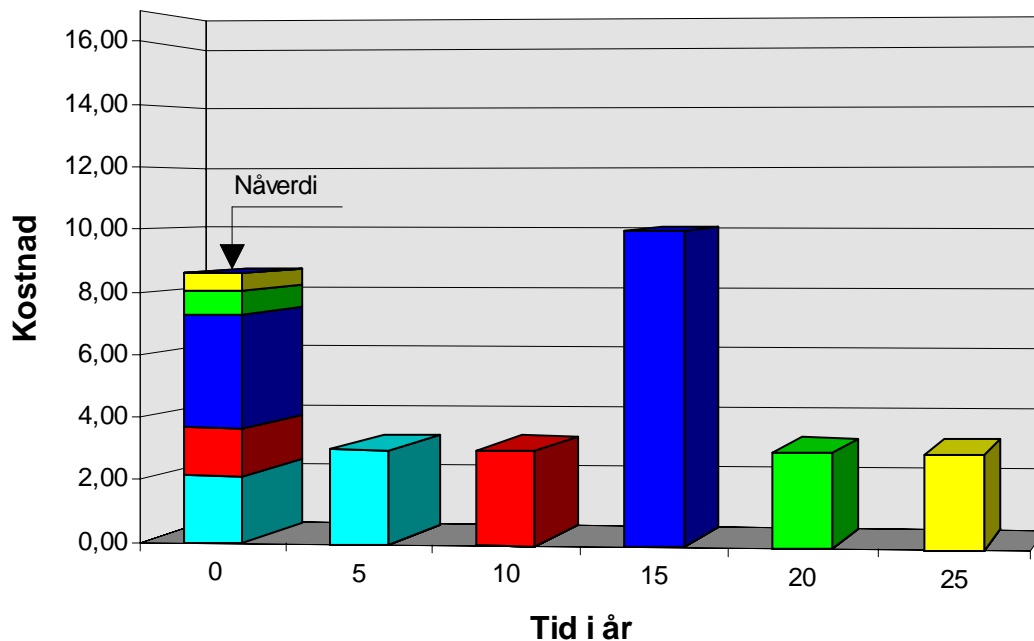


Figur 6.1-1: Illustrasjon av nåverdiberegninger.

I figurene 6.1-2 - 6.1-4 illustreres de 3 strategiene som tidligere er beskrevet. Når man skal sammenligne strategiene, må nåverdiene av alle tiltakene innen hver strategi summeres og sammenlignes.

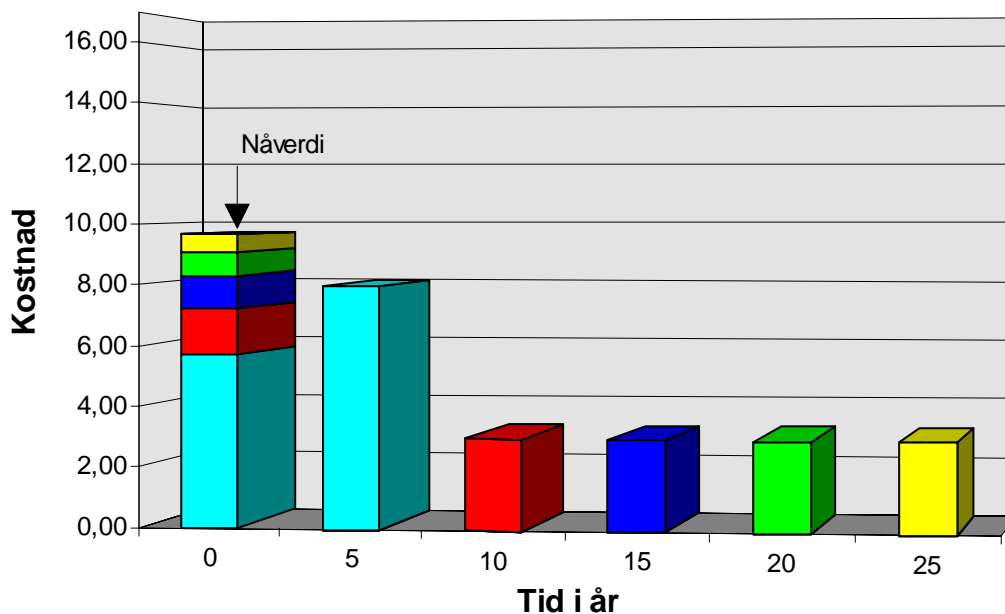
Figur 6.1-2 illustrerer strategi 1, midlertidig tiltak. Ved denne strategien utføres det en del mindre vedlikeholdstiltak før det utføres et større vedlikeholdstiltak (hovedreparasjon). I årene etter det større vedlikeholdstiltaket må det også forventes at det jevnlig

må utføres mindre vedlikeholdstiltak. Nåverdiene av de fremtidige vedlikeholdskostnadene er summert og angitt i stolpen til venstre i figur 6.1-2.



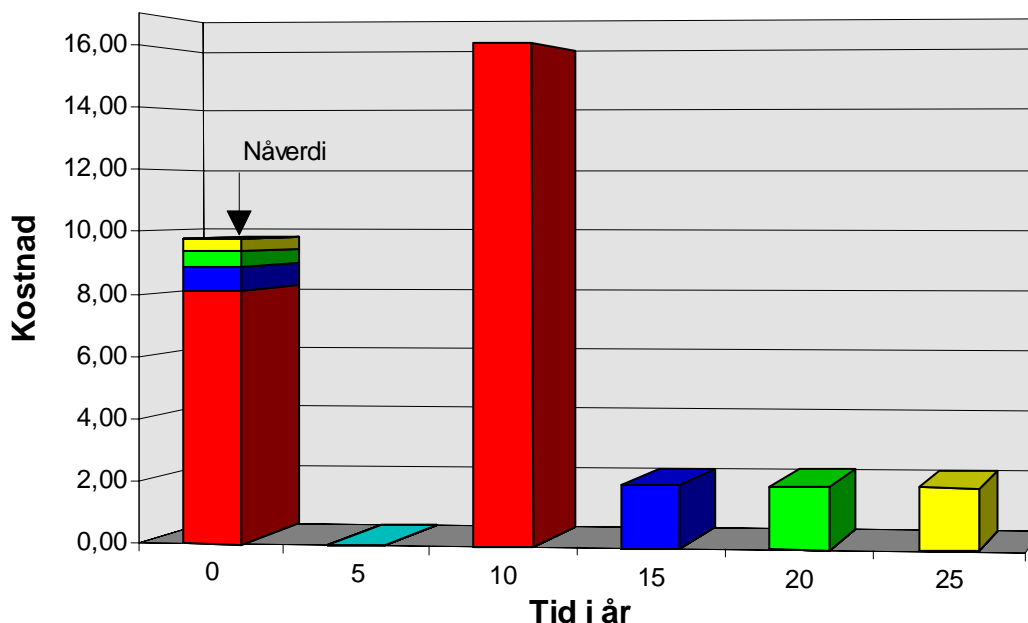
Figur 6.1-2: Strategi 1; midlertidig tiltak.

Strategi 2, større tiltak er illustrert i figur 6.1-3. Her kommer hovedtyngden av vedlikeholdskostnadene på et tidlig tidspunkt. Etter det omfattende vedlikeholdstiltaket er det et jevnt vedlikeholdsnivå de neste årene.



Figur 6.1-3: Strategi 2; større tiltak.

Figur 6.1-4 viser at i strategi 3 er det ingen kostnader de første årene fordi en utnytter elementets/bruas gjenværende levetid. Kostnadene oppstår først når man må bytte ut elementet eller bygge om brua. Vedlikeholdskostnadene de første årene etter en ombygging er normalt lave.



Figur 6.1-4: Strategi 3; nytt element/bru.

Det er som nevnt mange usikkerheter forbundet med slike skjønsmessige vurderinger, men det viktige er at det benyttes like prinsipper for alle strategiene/metodene og at en etterpå vurderer konsekvensen av endrede forutsetninger.

6.2 Vedlikeholdstiltak for kloridinfisert betong

De vanligste tiltakene for vedlikehold av kloridinfisert betong er:

- Mekanisk reparasjon
- Reparasjon av riss/sprekker
- Kloriduttrekk
- Katodisk beskyttelse
- Overflatebehandling.

Ofte vil et komplett vedlikehold omfatte flere av disse enkelttiltakene. Det mest vanlige er at mekanisk reparasjon kombineres med overflatebehandling, men også katodisk beskyttelse kombineres ofte med mekanisk reparasjon og overflatebehandling.

Mekanisk reparasjon

Mekanisk reparasjon omfatter fjerning av skadet betong og oppmørtling/utstøping av ny mørtel/betong. Mekanisk reparasjon benyttes normalt for å reparere lokale skader som avskallinger, støpesår, bom osv. Men metoden kan også benyttes til å fjerne større mengder kloridinfisert betong som skal erstattes med ny. Den siste formen for mekanisk reparasjon kan påvirke konstruksjonens bæreevne, se kapittel 5.6.

En usikkerhet ved mekanisk reparasjon i kloridholdig betong, er hvorvidt korrosjonen øker i overgangssonen mellom reparert og ikke-reparert betong. Mekanisk reparasjon anbefales derfor ikke ved omfattende korrosjonsangrep (nedbrytningsfase 4) uten at statiske beregninger viser tilstrekkelig restkapasitet til at en vurdert andel av armerings-tverrsnittet kan korrodere.

I OFU-prosjektet ble mekanisk reparasjon benyttet i alle prøvereparasjonene. Anbefalinger basert på erfaringene fra disse reparasjonene er gitt i kapittel 9.

Reparasjon av riss/sprekker

I denne type reparasjon inngår tetting av riss/sprekker med forsegling eller injisering. En avgjørende faktor for hvilke av disse metodene som skal benyttes er om det kun er behov for tetting mot fukt og aggressive stoffer eller om det i tillegg er behov for en konstruktiv forbindelse. Sistnevnte krever at det utføres injisering. Andre viktige faktorer å ta hensyn til i forbindelse med reparasjon av riss/sprekker er om de er døde eller levende.

I OFU-prosjektet ble det utført forsegling av både levende og døde riss.

Kloriduttrekk

Elektrokjemisk kloriduttrekk går ut på å fjerne så mye av kloridene i det ytre laget av betongen at faren for korrosjon reduseres. Metoden krever at det på forhånd utføres en mekanisk reparasjon av lokale betongskader. Etter at kloriduttrekket er utført bør betongen overflatebehandles for å hindre inntrenging av nye klorider. Metoden egner seg best der kloridinnholdet i overdekningssonen er høyt og omfanget av mekaniske skader på betongen er lite, dvs. der korrosjonsaktiviteten er begrenset. Det er usikkert i hvilke grad kloriduttrekk kan stanse korrosjon dersom den er kommet så langt at det er blitt groptæring.

Kloriduttrekk ble ikke benyttet i OFU-prosjektet. Det er også forholdsvis få referanser for metoden anvendt på bruer her i landet, men på de bruene den har blitt benyttet har en klart å fjerne 50-70 % av kloridene.

Katodisk beskyttelse

Denne metoden går ut på at armeringen påtrykkes strøm slik at den blir passivert og korrosjonen reduseres eller stanser helt opp. Dette er i dag eneste alternativ til omfattende mekaniske reparasjoner med fjerning av kloridholdig betong der skadeutviklingen er kommet så langt at armeringen har groptæring og har gitt kraftige avskallinger. Katodisk beskyttelse er benyttet på en rekke bruer i Norge de siste årene.

Også denne metoden krever at det utføres mekanisk reparasjon av synlige skader på betongen. I hvilke grad det skal foretas en overflatebehandling etter montering av katodisk beskyttelse vil avhenge av den type katodisk beskyttelse som er valgt.

Katodisk beskyttelse ble ikke benyttet i OFU-prosjektet.

Overflatebehandling

Overflatebehandling kan variere fra enkle metoder som hydrofobering til mer omfattende behandlinger med påføring av malingsbelegg. Sistnevnte kan også inkludere slemming, pussing eller porefylling av overflaten før det endelige belegget påføres.

Utprøving av forskjellige overflatebehandlinger var et av hovedmålene i forbindelse med prøvereparasjonene i OFU-prosjektet. Erfaringene fra prosjektet er beskrevet i kapittel 10.

6.3 Vedlikeholdstiltak for de ulike nedbrytningsfasene

Vedlikeholdstiltakene som skal utføres, må tilpasses de ulike nedbrytningsfasene som armeringen er i, se kapittel 5.2. For fase 1 vil det normalt bare være behov for enkle tiltak som f.eks. hydrofobering eller overflatebehandling, mens det for fase 4 kan være nødvendig med omfattende tiltak som f.eks. katodisk beskyttelse og i noen tilfeller også forsterkning.

Det må imidlertid presiseres at det noen ganger kan være aktuelt å utføre vedlikeholdstiltak hvor det på forhånd ikke kan dokumenteres at de vil bli 100 % vellykket. Eksempel på dette er at en velger å utføre overflatebehandling og bevisst tar usikkerhetene med dette framfor f.eks. å fjerne store mengder betong.

6.3.1 Tiltak i fase 1

Hovedformålet med vedlikeholdstiltak i denne fasen vil være å redusere eller stanse videre kloridinntrengning og dermed forlenger varigheten av armeringens fase 1.

I de fleste tilfellene vil det være tilstrekkelig med en eller annen form for overflatebehandling for å oppnå dette. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at alle overflatebehandlinger har begrenset levetid og at de derfor må fornyes regelmessig for at de skal ha den ønskede virkning.

6.3.2 Tiltak i fase 2

Tiltaket vil normalt også i denne fasen være en form for overflatebehandling som reduserer videre kloridinntrengning i størst mulig grad, for å utsette i tid at også konstruktiv armering kommer over i korroderende tilstand. Overflatebehandlingen skal **dessuten** bremse korrosjonshastigheten på monteringsstengene og/eller hindre at korrosjonsproduktene fra disse sprenger av overdekningen. I det siste vil det ligge en usikkerhet som kan kreve at det før overflatebehandling bør utføres lokal mekaniske reparasjoner.

6.3.3 Tiltak i fase 3

I denne fasen har nedbrytningen kommet så langt at det må utføres mekanisk reparasjon i tilknytning til monteringsstenger eller de må fjernes helt.

I tillegg til mekaniske reparasjoner må det påføres en overflatebehandling som reduserer videre kloridinntrengning i størst mulig grad, for å utsette i tid at også konstruktiv armering og monteringsstenger som ennå ikke korroderer kommer over i korroderende tilstand. Overflatebehandlingen bør også i størst mulig grad bremse korrosjonshastigheten på den konstruktive armeringen og monteringsstengene som allerede korroderer for å hindre at korrosjonsproduktene fra disse sprenger av overdekningen. I hvilke grad en overflatebehandling vil være i stand til dette er usikkert. Avhengig av hvor stor sikkerhet det kreves av reparasjonen bør en her vurdere om det er behov for å øke omfanget av mekanisk reparasjon (fjerne kloridholdig betong), utføre kloriduttrekk eller installere katodisk beskyttelse.

6.3.4 Tiltak i fase 4

For flater med armering som er kommet i nedbrytningsfase 4 må det normalt utføres flere typer vedlikeholdstiltak.

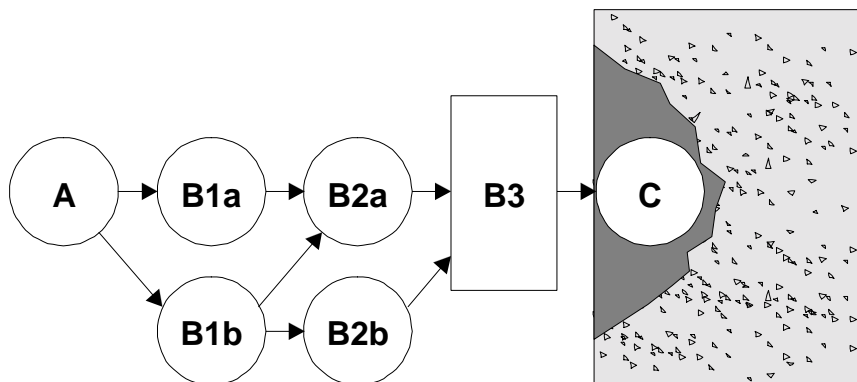
Først og fremst må det foretas en mekanisk reparasjon av synlige betongskader. Dernest må det vurderes hvilke tiltak som trengs for å redusere og helst stanse korrosjonsaktiviteten på konstruktiv armering. Dette kan kreve fjerning av kloridholdig betong eller katodisk beskyttelse. Det må så vurderes om tverrsnittsreduksjoner på armeringen kan aksepteres eller om den må forsterkes ved f.eks. innlegging av ny armering. Til slutt må det påføres en overflatebehandling for å hindre inntrenging av nye klorider.

7. Dokumentasjon av materialer og ferdig produkt

7.1 Krav knyttet til reparasjons- og vedlikeholdsprosessen

For å sannsynliggjøre at det ferdige resultatet av reparasjoner og vedlikeholdstiltak oppfyller tilskattede funksjonskrav, må det dokumenteres at produkter/materialer og utførelse tilfredsstillende nærmer angitte akseptkrav. Disse må være kvantifisert i forhold til angitte prøvingsmetoder.

Krav til dokumentasjon må stilles til ulike typer av egenskaper knyttet til de ulike funksjonskrav. Eksempelvis kan det stilles krav til mekaniske egenskaper, bestandighetsegenskaper, elektrokjemiske egenskaper og estetiske forhold. Dokumentasjonen kan også knyttes til ulike nivåer i prosessen fram til det ferdige resultatet. De ulike nivåene i prosessen hvor det kan stilles krav, er vist i figur 7.1-1.



Figur 7.1-1: Nivåer ved formulering av krav, prinsippskisse.

A: Materialets egenskaper i herdet fase

B1: Materialets egenskaper i utførelsesfasen (B1a og B1b er alternativer)

B2: Utførelsesmetode (B2a og B2b er alternativer)

B3: Komplette produkt, dvs. materiale og utførelsesmetode i kombinasjon, demonstrert ved prøvereparasjon

C: Ferdig produkt i konstruksjonen.

Reparasjoner og vedlikeholdstiltak utføres normalt i en kontraktmessig sammenheng, hvor også ansvaret for kvalitet er regulert mellom byggherre, utførende entreprenør og materialleverandør. Krav til dokumentasjon bør være tilpasset til og avspeile disse forholdene.

Byggherrens primære interesse er den ferdige konstruksjonen, og krav må følgelig stilles til det ferdige produktet på konstruksjonen, dvs. på nivå C i Figur 7.1-1. Byggherren bør dessuten stille krav til de materialene som anvendes, dvs. på nivå A i Figur 7.1-1, både for å sannsynliggjøre at ferdige produkter oppfyller funksjonskravene og fordi egenskaper kan være enklere å dokumentere for selve materialet.

Det er viktig at kravene som settes på nivå A ikke er innbyrdes motstridende. Det må også påses at kravene som settes til nivå C er mulig å oppnå med de kravene som er satt på nivå A, og at kravene i nivå A ikke på noen måte er i motstrid til kravene i nivå C.

Materialleverandør og utførende entreprenør skal ha frihet til å velge hvilke egenskaper materialene skal ha i utførelsesfasen, og til å fastslå 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.

Dokumentasjon på nivå A omfatter prøving utført av materialleverandør, som basis for deklarerer av material- og/eller produktegenskaper f.eks. i datablad. Materialleverandøren er ansvarlig for en kontinuerlig kvalitetsstyring, inklusiv prøving, som sikrer at materialet overholder de deklarererte egenskaper (minimumsverdier, maksimumsverdier eller toleranseområde) både separat for enkeltmaterialer og for det komplette produkt. Byggherren vil stille krav til prøvningsmetoder og akseptkriterier, men ikke prøvningsfrekvens.

Byggherrens spesifisering i en beskrivelse skal innebære at materialer velges ut fra samsvar mellom spesifisering og materialleverandørens egenskapsdeklarasjon. Under forutsetning av at materialleverandøren kan fremvise en tilstrekkelig kvalitetskontroll av sine produkter, kreves det ingen kontroll av at spesifiserte egenskaper er oppfylt for de enkelte prosjektene. Den kontrollen som utføres på det enkelte prosjekt vil rette seg mot spesifiserte egenskaper av det samlede produkt.

Dokumentasjon på nivå B vil engasjere materialleverandøren på samme måte som dokumentasjon på nivå A, med unntak av at byggherren ikke vil stille krav til prøvningsmetoder og egenskaper. De egenskapene dette gjelder kan være f.eks. viskositet, åpen tid, herdetid osv.

Utførende entreprenørs demonstrasjon av ferdighet kan utføres som et prøvefelt på konstruksjon ved oppstart av arbeidet, eller på spesielle prøvestykker hvor representative vanskeligheter er lagt inn.

Tabell 7.1-1: Oversikt. Hvem stiller krav, og hvilke typer krav stilles til de ulike nivåene i prosessen.

Dokumentasjonsnivå	Krav fra	Kommentarer
A. Deklarasjon av materialegenskaper i herdet fase	Byggherre	Egenskaper skal være dokumenterte, byggherren kan stille krav under b) i Prosesskoden.
B. Deklarasjon av materialegenskaper i utførelsesfasen: B1 Materialleverandørens beskrivelse av egenskaper i fersk fase.	Entreprenør	
B2 Entreprenørens utførelsesprosedyre	Materialleverandør og byggherre	Materialleverandør kan beskrive forutsatt utførelsesmetode. Byggherren kan kreve å godkjenne prosedyren.
B3 Demonstrasjon av ferdighet	Byggherre	Byggherren kan stille krav under c) i Prosesskoden.
C. Produktet brukt på en konstruksjon i felten	Byggherre	Funksjonskrav, må angi prøvningsmetoder i felt og akseptkriterier, d) i Prosesskoden.

7.2 Generelle krav til dokumentasjon

7.2.1 Materialdeklarasjon

Hvert enkelt materiale skal være deklartert med både et eget teknisk datablad og et HMS-datablad. Teknisk datablad skal angi:

- materialets bruksområde
- materialets hovedbasis med hensyn til innhold
- materialets dokumenterte egenskaper
- bruksegenskaper (åpen tid, pot-life, viskositet osv.)
- begrensninger i materialets bruksområde
 - type problem det er egnet for
 - værforhold under utførelsen
- materialets lagringsbetingelser, holdbarhet ved lagring.

Databladet bør dessuten inneholde dato for siste reseptkorleksjon som fører til forandring i materialspefikasjonen, for at bruker/kjøper kan få et varsel ved eventuell korleksjon av materialets sammensetning.

Forsiktighetsregler ved håndtering, bruk og angivelse av eventuelle helsefarlige eller miljøskadelige bestanddeler skal være i samsvar med norsk lovverk og Statens vegvesens regler.

7.2.2 Identifikasjon av forpakninger

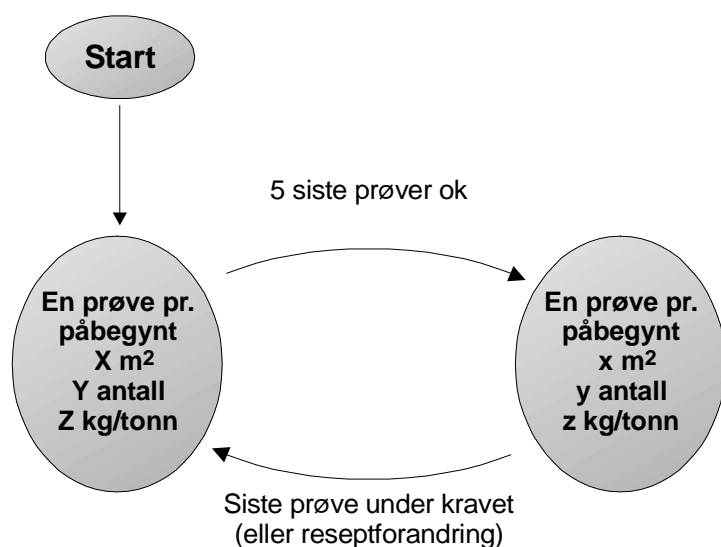
Hver enkelt forpakning (sekk, bøtte, flaske osv.) av et materiale skal være identifiserbar og tydelig merket med:

- 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 det arkiveres.

7.2.3 Prøvningsfrekvens i felt

Prinsippet for prøvningsfrekvens ved feltprøving skal være:



Figur 7.2-1: Prøvningsfrekvens i felt. X, Y, Z angir hyppigere prøving enn x, y, z.

Med en prøve menes det antall enkeltprøver (prøvestykker) som fremgår av prøvningsmetoden.

7.2.4 Spesiell beskrivelse for prosess 87.4 Betongarbeider

Materialer som benyttes til vedlikehold og reparasjon av bruer skal være dokumentert fra leverandørens side. Følgende tekst foreslås som spesiell beskrivelse.

Prosess 87.4 Betongarbeider:

- b) *Hvert enkelt materiale som benyttes i forbindelse med vedlikehold og reparasjon av betong skal være deklartert med HMS-datablad i samsvar med Statens vegvesens regler og med teknisk datablad. Disse databladene skal finnes på arbeidsplassen, ordnet på en slik måte at informasjonen er lett tilgjengelig.*

De tekniske datablad skal angi:

- *materialets bruksområde*
- *materialets hovedbasis med hensyn til innhold*
- *materialets dokumenterte egenskaper*
- *bruksegenskaper (åpen tid, pot-life, viskositet osv.)*
- *begrensninger i materialets anvendelsesområde*
 - *type problem det er egnet for*
 - *værforhold under utførelsen*
- *materialets lagringsbetingelser, holdbarhet ved lagring.*

De materialegenskaper det er stilt krav til i underliggende prosesser, skal være dokumentert fra uavhengige laboratorier.

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.*

8. Rigg, stillaser og skjerming for vedlikehold av betong

I Prosesskode-2 /1/ er tilkomst beskrevet i prosess 87.41 Rigg, stillaser og skjerming.

Tilkomstutstyr skal tilfredsstillende følgende krav:

1. Godkjent/sertifisert i henhold til Arbeidstilsynets bestemmelser
2. Tilpasset rasjonell og kvalitetsmessig arbeidsutførelse
3. Tilpasset entreprenørens egenkontroll
4. Dekke behovet til byggherrens kontrollør.

Entreprenørene velger som regel stillasløsninger som de mener vil gi rasjonell arbeidsutførelse og god fremdrift. Byggherren bør derfor fokusere på at tilkomstutstyret skal ivareta de øvrige krav. Dvs at stillaser muliggjør kvalitetsmessig arbeidsutførelse, egenkontroll hos entreprenøren og dekker behovet til byggherrens kontrollør.

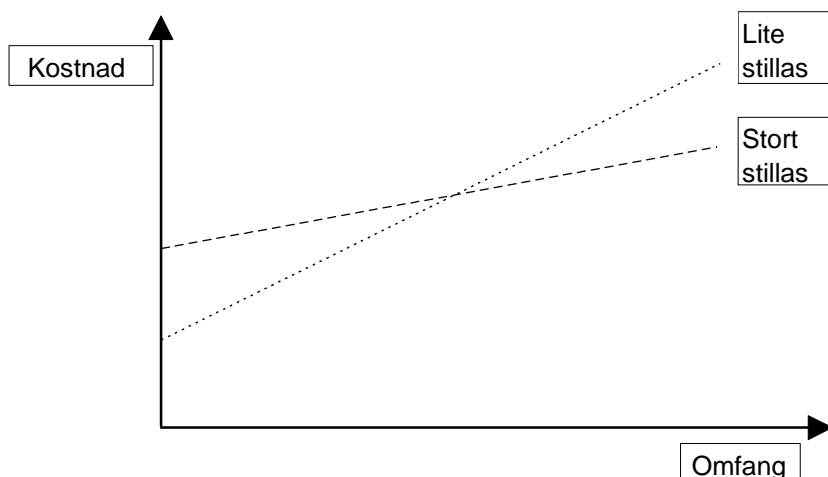
Ved flere arbeidsoperasjoner i rekkefølge må større deler av brua kunne nås på samme tidspunkt. Et annet viktig moment er at arbeidsplattformen må være bred nok slik at arbeidene kan utføres på en kvalitetsmessig betryggende måte.

Krav til prøvetaking etter utført reparasjon og/eller overflatebehandling, dvs. punkt d) i Prosesskoden, stiller krav til tilkomst. Avhengig av arbeidsoperasjon kan det stilles krav til kontroll og prøvetaking etter 1 døgn, 14 døgn eller 28 døgn.

Tilkomstutstyr som benyttes ved inspeksjoner er sjelden godt egnet til vedlikehold og reparasjon. I særlig grad er det krav til tilkomst i forbindelse med kontrollene som det er vanskelig å oppfylle med slikt utstyr.

Byggherren kan stille krav til størrelsen på arealet som skal være tilgjengelig under utførelsen. Det kan f.eks. stilles krav til løpemeter bru, antall spenn eller antall søyler som til en hver tid skal være tilgjengelig.

Ved at byggherren stiller krav, kan stillasløsninger bli dyrere enn hvis ingen krav er stilt. Dette er sannsynligvis likevel en vel anvendt tilleggs kostnad for byggherren. Når vedlikeholdstiltakene blir av et visst omfang, blir kostnadene i alle tilfeller lavere med godt utbygd stillas i forhold til en enkel løsning. Dette er illustrert i figur 8 -1.



Figur 8-1: Kostnader og arbeidsomfang ved bruk av lite og stort stillas.

Skjerming i forbindelse med vedlikeholdstiltak kan ha to ulike formål. Det ene er å skjerme omgivelser for støv, kjemikalier og annet søl fra arbeidsutførelsen. Det andre er å skjerme arbeidsutførelsen mot klimapåkjenninger som regn, vind og direkte sol. Nødvendigheten av slik skjerming vil ofte kunne være et diskusjonstema, men det er liten tvil om at det vil være et praktisk og konkret tiltak for å sikre kvaliteten på utførelsen.

Opphenging og festing av stillas må vurderes av byggherren på forhånd. Det er spesielt viktig å være oppmerksom på de ekstra vindlaster som stillas og rekkverk må ta opp dersom det benyttes skjerming.

Byggherren må følge opp kravet i Prosesskode-2 /1/ om at sår etter forankring og opphenging av stillas skal utbedres.

9. Mekaniske reparasjoner

9.1 Generelt

Mekanisk reparasjon med utbedring av synlige skader og lokale svakheter har stått sentralt i prosjektet. For nærmere beskrivelse av utførte prøvereparasjoner og produktutvikling, se /6/.

I Prosesskode-2 /1/ er mekaniske reparasjoner beskrevet i prosess 87.42 hvor følgende arbeidsoperasjoner normalt inngår:

- Merking av skader
- Fjerning av betong
- Rengjøring av korrodert armering og sårflater
- Forsterkning/innlegging av ny armering
- Rengjøring av øvrige flater det skal sprøytes/støpes mot
- Forvanning
- Forskaling
- Sprøyting/utstøpning
- Etterbehandling (herdetiltak).

Nedenfor er flere av disse arbeidsoperasjonene beskrevet nærmere.

9.1.1 Fjerning av betong

Kriterier

Ulike kriterier for fjerning av betong (meislingskriteriet) kan være:

1. Fjerne all betong som har et kloridinnhold over kritisk grenseverdi (kritisk grenseverdi må vurderes og velges, se kapittel 5).
2. Fjerning av betong der armeringskorrosjon er indikert av EKP-målinger.
3. Fjerne betong i gitt dybde (f.eks. inn til armeringen).
4. Fjerne betong bare der det er observert synlige skader, steinreir og dårlig komprimert betong.

Ved kriterium 1) beskriver RIF-normen /11/ fjerning av all betong i dybde 30 mm innenfor armering og 100 mm langsetter armering inn i betong med kloridinnhold under den fastsatte grenseverdien. Dette forutsetter imidlertid et stort omfang av kloridmålinger. Dersom dette kriteriet fører til fjerning av store mengder betong, er det nødvendig å foreta statistiske vurderinger som diskutert i kapittel 5.6.

Prosesskode-2 /1/ omtaler ikke meislingskriteriene 1-4) som beskrevet ovenfor direkte, men omtaler selektiv fjerning av dårlig betong og fjerning av betong til spesifiserte dybder. Selektiv fjerning av betong betyr i praksis fjerning av betong med lav mekanisk styrke. For en gitt betongkonstruksjon, er det ofte sammenheng mellom svak betong og betong med dårlig motstand mot kloridinntrengning. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at denne sammenhengen ikke alltid er tilstede. Uansett hvilket kriterium som brukes for å fjerne betong, bør dette alltid ha basis i inspeksjonsresultater med informasjon om kloridinnhold og korrosjonsaktivitet.

Kostnadene ved mekanisk reparasjon vil bli svært avhengig av kriteriet for fjerning av betong. Det kan derfor være svært aktuelt å gjennomføre nåverdiberegning (som omtalt i kapittel 6) for ulike fjerningskriterier.

Metoder

Fjerning av betong kan gjøres ved hjelp av håndmeisling eller vannmeisling. Det finnes håndmeislingsutstyr av forskjellig størrelse som er enten luft- eller strømdrevet. Det luftdrevne utstyret er tyngst og har størst kapasitet. Vannmeisling kan utføres både med håndholdt utstyr og med vannmeislingsrobot. I tilfelle bruk av vannmeislingsrobot, skal det utførende firmaet være godkjent i henhold til Vegdirektoratets godkjenningsordning /12/.

Ved selektiv fjerning av betong sier Prosesskoden at helautomatisk vannmeislingsrobot skal benyttes. Den kalibreres på et referansefelt for fjerning av svak betong til midlere avvirkningsdybde. Da effekten av vannmeislingen er sterkt avhengig av avstanden fra munnstykke til betong vil vannmeislingsroboten være selektiv innenfor et visst dybdenivå.

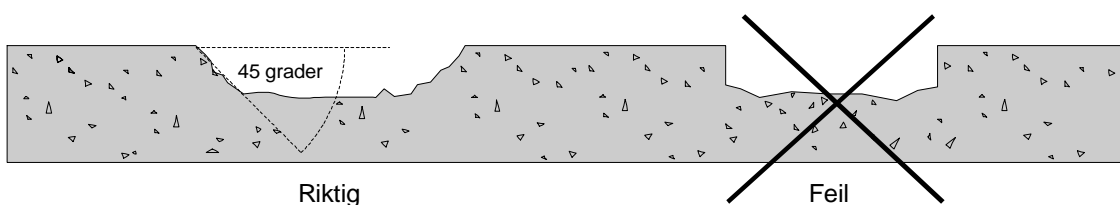
En fordel med vannmeisling i forhold til vanlig meislingsutstyr, er at fjerning av korrosjonsprodukter på armering kan utføres i samme arbeidsoperasjon som fjerning av betong.

Valg av metode for fjerning av betong har i tillegg til en teknisk og økonomisk side også et HMS-aspekt. Å meisle for hånd er meget tungt og sliter på arbeiderne. Av den grunn anses håndmeisling å være aktuelt kun der skadeomfanget er lite.

Vannmeisling er en effektiv metode, men pga. det høye trykket det arbeides med (opptil 1000 bar) har metoden sikkerhetsmessige betenkeligheter. Det gjelder både for arbeidere og de konstruksjoner som behandles. Spesielt må man være oppmerksom ved vannmeisling av betong med riss og sprekker. Det kan da være fare for oppbygging av vanntrykk langt inne i betongen med store utilsiktede sprengningsskader som resultat. Også sterkt karbonatisert betong bør vies spesiell oppmerksomhet, fordi karbonatisert betong i yttersjiktet har stor fasthet og kan kreve større trykk ved oppstart enn det som kreves ved videre fjerning av betong. Resultatet ved uoppmerksomhet kan bli at det skjæres dypt inn i betongen når man kommer gjennom det karbonatiserte sjiktet.

Sårutforming

Når oppmørtling skal foretas ved hjelp av tørrsprøyting, bør meislingen utføres slik at avslutningene blir 45° på betongflaten, se figur 9.1-1. 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.



Figur 9.1-1: Riktig og feil sårutforming ved tørrsprøyting.

9.1.2 Rengjøring av sårflater og korrodert armering

Rengjøring av sårflater etter meisling skal fjerne løse partikler og sørge for god heft for håndmørtel eller sprøytemørtel, mens rengjøring av armering innebærer fjerning av korrosjonsprodukter. De mest vanlige rengjøringsmetodene er høytrykksspyling med vannjet, sandblåsing og sandvasking.

Rengjøring av armeringens bakside er vanskelig med de rette blåsemunnstykkene som benyttes. Det kan derfor være vanskelig å oppnå det vanlige renhetskravet Sa 2-2,5. Denne detaljen bør det derfor legges spesielt vekt på både ved rengjøring av armering og ved videre utstyrsutvikling.

Dersom frilagt armering står en stund etter f.eks. vannmeisling, er det fare for at ny rust dannes på armeringen. Prosesskode-2 /1/ stiller krav om at oppmørtling/sprøyting skal foretas senest 2 døgn etter rengjøring. Dersom nevneverdig rust er dannet eller det åpne såret er utsatt for sjørakk, anses det som mest hensiktsmessig å legge opp til ny rengjøring før oppmørtling foretas. Dette anbefales foran alternativet som vil være påføring av korrosjonsbeskyttelse på armeringen. Bruk av korrosjonsbeskyttelse på armering er tidkrevende og medfører en risiko for å ødelegge heft til håndmørtel eller sprøytemørtel. Korrosjonsbeskyttelse anses å være et alternativ først og fremst når det er umulig å sikre armeringen tilstrekkelig overdekning.

Samme metode kan være aktuell både for rengjøring av sårflater og korrodert armering før oppstøpning og for rengjøring av betongoverflater før overflatebehandling.

9.1.3 Forvanning, håndmørtling/sprøyting og etterbehandling

Forvanning

Betong som er svært tett og lite vannsugende bør ikke forvannes, se Prosesskode-2 /1/ prosess 84.4. Dette gjelder f.eks. betong etter spesifikasjonene SV30 og SV40 i Prosesskode-2 og MA-betong i Prosesskoden fra 1988. For dårligere betongkvaliteter som er mer åpne, må underlaget forvannes i forkant av både håndmørtling og påføring av sprøytemørtel. Det er viktig at det ikke er fritt vann på betongoverflaten, men at flatene er svakt sugende.

Håndmørtling

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

Ved håndmørtling bør det brukes en heftbrua for å sikre heften mellom gammel betong og reparasjonsmørtel. Betongen må normalt (se ovenfor) forvannes før påføring av heftbrua. Reparasjonsmørtelen legges vått i vått med heftbrua. Heftbrua som benyttes ved håndmørtling vil også fungere som korrosjonsbeskyttelse. Sement/lateks-basert korrosjonsbeskyttelse og heftbrua er ofte samme materiale og fungerer som korrosjonsbeskyttelse pga. høyt finstoffinnhold og høy sementmengde. Problemstillingen knyttet til fare for redusert heft, er ikke til stede når påføring skjer vått i vått.

Overgangen mellom mørtel og gammel betong må vies ekstra oppmerksomhet. Spesielt viktig er sluttbearbeidingen mellom mørtel og gammel betong. Her må det legges vekt på å trekke pussebrettet fra mørtel mot gammel betong.

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. Da kvaliteten bestemmes av v/c-tallet og komprimeringen, er det viktig ikke å bruke verken for mye eller for lite vann.

Sprøyting

Det må brukes sprøyteutstyr hvor det er mulig å redusere matingen tilstrekkelig til at det også kan brukes til mindre sår. Også ved sprøyting bak armering kan det være behov for å redusere matingen. Da mørtelspruten kan separere, anbefales det ikke sprøyting i sterk vind. Det er bortkastet å bruke heftbrua og/eller korrosjonsbeskyttelse da dette blåses vekk ved tørrsprøyting. Det har vist seg at tørrsprøyting gir tildels samme effekt som sandblåsing på underlaget.

Tørrsprøyting er på samme måte som håndmørtling et håndverk, og det er opp til operatøren om resultatet blir godt. Operatøren justerer vannmengden i sprøytemunnstykket, og dette bestemmer kvaliteten på sprøytemørtelen.

Ved oppstarting av sprøytingen bør hele såret først sprøytes med noe bløtere masse, for at ikke støv og prell skal legge seg på flaten og redusere heften. Det skal sprøytes tilnærmet 90° på underlaget. Dette er bakgrunnen for kravet om såravslutninger på 45° ved meislingen. Det bør ikke sprøytes tykkere lag enn 4 cm pr. sprøyteomgang. Tykkere lag gir erfaringsmessig større risiko for siging, opprissing og dårlig komprimering. Normalt bør man vente 1-2 timer før sprøyting av neste lag.

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

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 etterhvert for å hindre at de forplanter seg til overflaten. Sluttlaget bør sprøytes med noe økt vanntilsetning slik at glatting blir lettere. Da sprøytemørtler ofte har en porøs overflate, bør sårene sprøytes ca. 10 mm utenfor tilsiktet avrettingsnivå.

Overgangen mellom sprøytemørtel og gammel betong må vies ekstra oppmerksomhet. Sprøytemørtel bør skrapes bort fra gammel betong og ikke danne tynne lepper med overgang til null. Overgangen bør kunne inspiseres etter sprøyting. Dersom såret er av begrenset størrelse, kan det foretas avretting med sagende bevegelser med rettholt eller lignende. Spesielt viktig er sluttbearbeidningen mellom reparasjonsmørtel og gammel betong. Pussebrettet trekkes fra mørtel mot gammel betong.

Etterbehandling

Det skal påføres rikelig med membranherdner umiddelbart etter oppmørtling. Det ideelle hadde vært å kunne stille krav til maksimal avdamping for membranherdnere. Et slikt krav knyttet til en standardisert prøvningsmetode er imidlertid ikke etablert ennå. En foreløpig anbefaling er derfor å benytte en voksbasert membranherdner. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at denne må fjernes med sandblåsing før overflatebehandling.

9.1.4 Optimalisering av reparasjonsprosedyren

Det er mulig å optimalisere reparasjonsprosedyren ved å «spare inn» på flere av arbeidsoperasjonene beskrevet i kapittel 9.1.1. Om alle disse besparelsene i arbeidsoperasjoner er mulig vil være avhengig av skadeomfang og hvilken overflatebehandling som ønskes. Mulige besparelser er beskrevet nedenfor:

1. Det foretas kun 1 rengjøringsoperasjon. Dvs at fjerning av betong, rengjøring av armering og rengjøring av øvrige betongflater utføres med samme utstyr. Det vil da kun være vannmeislingsutstyr som er aktuelt.
2. Sprøyting foretas kort tid etter vannmeisling.
3. Påføring av sement/lateks-basert elastisk overflatebehandling foretas umiddelbart etter sprøyting. Denne vil da fungere både som membranherdner og første strøk i en fullverdig overflatebehandling.

Det gjøres oppmerksom på at ved påføring av sement/lateks-basert elastisk overflatebehandling på fersk sprøytemørtel er det ikke behov for priming i forkant.

Denne optimaliseringen gjør det umulig å inspisere overgangen mellom gammel betong og sprøytemørtel etter minimum 1 måned som beskrevet i kapittel 9.2.4.

Det kan legges opp til spesiell kontroll på stikkprøvebasis enten ved å ta ut borkjerner eller fjerne belegget lokalt.

Påføring av sement/lateks basert belegg på fersk sprøytemørtel sikrer gode herdebetingelser. Dette ansees som svært viktig for kvaliteten til reparasjonen. I tillegg er det en ekstra sikkerhet at belegget er elastisk og bygger over riss.

9.2 Spesiell beskrivelse prosess 87.42 Mekanisk reparasjon

9.2.1 Bakgrunn

Spesiell beskrivelse angir tillegg og endringer til den generelle beskrivelsen, som er gitt i Prosesskode-2 /1/. Siden teksten for prosess 87.42 Mekanisk reparasjon er svært omfattende, er det vanskelig å få umiddelbart inntrykk av hva den spesielle beskrivelsen innebærer. For å gi bedre oversikt over den totale beskrivelsen, og sette prosjektets anbefaling med hensyn til spesiell beskrivelse i den rette sammenheng, har en nedenfor gjengitt den spesielle beskrivelsen med kursiv innflettet i en omredigert versjon av Prosesskodens tekst som er rammet inn. Teksten omhandler:

- b) Krav til materialer
- c) Krav til utførelse
- d) Prøvetaking
- e) Toleranser.

mens det under a) og f) i Prosesskoden ikke er foreslått spesiell beskrivelse.

9.2.2 b) Krav til materialer

Fra Prosesskode-2:

Generelt

Det vises til prosess 84.3 Armering, 84.4 Betongstøp og Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7, Retningslinjer for sprøytebetong.

Reparasjonen utføres med materialer som angitt i *den spesielle beskrivelsen*. Materialene skal være tilpasset underlaget og tilfredsstillende funksjonskrav i *den spesielle beskrivelsen*.

Ny armering legges med samme diameter, form og føring som opprinnelig, hvis ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen*.

Mørtel/betong skal gi minst mulig svinn og egenspenninger.

Dersom ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen*, skal delmaterialer og sammensetning av håndmørtel, sprøytemørtel eller betong til utstøping som minimum tilfredsstillende krav til betongspesifikasjon SV-40. (Se prosess 84.4 Betongstøp.)

Dersom den mekaniske reparasjonen gjøres i forbindelse med realkalisering/ kloriduttrekk eller ved installasjon av katodisk beskyttelse, må reparasjonsmaterialene ikke ha egenskaper som vesentlig reduserer eller forhindrer effekten av disse metodene. Dette kravet gjelder overordnet andre materialkrav, men reparasjonsmaterialenes fasthet og andre viktige egenskaper for bæreevne og bestandighet skal under enhver omstendighet ikke være dårligere enn det som ble lagt til grunn ved prosjektering av konstruksjonen/konstruksjonselementet.

Entreprenøren skal dokumentere at valgte materialer tilfredsstillende de spesifiserte kravene.

Materialene skal transporteres, håndteres og lagres på en slik måte at det ferdige produkt ikke forringes. De skal oppbevares og merkes slik at det ikke kan oppstå forveksling mellom, eller sammenblanding av, forskjellige produkttyper og kvaliteter.

Alt vann som benyttes skal være ferskvann uten innhold av skadelige stoffer for fersk eller herdet armert betong.

Trykkluft skal være oljefri.

Andre krav skal fremgå av *den spesielle beskrivelsen*.

Håndmørtel

Ved håndmørtling skal sementbasert korrosjonsbeskyttelse benyttes dersom ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen*. Korrosjonsbeskyttelsen skal være alkaliebestandig. I kloridutsatte miljøer skal korrosjonsbeskyttelsen ha dokumenterte egenskaper med hensyn til motstand mot kloridinntrengning.

Dersom dokumentasjon kan vise at mørtelen gir en heftfasthet til underlaget med middelvei større eller lik 1,2 MPa og ingen enkeltverdi under 1,0 MPa, kan heftbru ved håndmørtling sløyfes.

Sprøytemørtel

Sprøytemørtel skal ha minimum fasthetsklasse C45 definert etter Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7. Størkningsakselerator tillates ikke brukt.

Spesiell beskrivelse.**Materialkrav for håndmørtel:**

b) *Håndmørtelen skal ha dokumentert følgende egenskaper:*

Egenskap	Testmetode	Krav
Trykkfasthet	NS-EN 196-1	35-55 MPa
Bøyestrekfasthet	NS-EN 196-1	> 5 MPa
E-modul	NS 3676	20-30 GPa
Vanndampermeabilitet	NT Build 369	> $0,5 \times 10^{-12}$ kg / msPa
Termisk utvidelse	TP BC-PCC	$0,7-1,5 \times 10^{-5}$ pr. °C
Frostmotstand	SS137244	God
pH i porevann	SINTEF KS 70133 eller tilsvarende metode	> 12,0
Kloriddiffusjon	En av metodene NT Build 443, NT Build 355 eller SINTEF MB 71116	Lik eller lavere diffusjonskoeffisient enn referansebetong gruppe B i NS 3099
Svinn	DIN 52450	< 0,5 ‰
Svelling	DIN 52450	Skal være mindre enn det målte svinnet.

Membranherdneren skal være voksbasert.

Spesiell beskrivelse.**Materialkrav for sprøytemørtel:**

b) *Sprøytemørtelen skal ha dokumentert følgende egenskaper:*

Egenskap	Testmetode	Krav
Trykkfasthet	NS-EN 196-1	45-80 MPa
Bøyestrekfasthet	NS-EN 196-1	> 6 MPa
E-modul	NS 3676	20-35 GPa
Vanndampermeabilitet	NT Build 369	> $0,1 \times 10^{-12}$ kg / msPa
Termisk utvidelse	TP BC-PCC	$0,7-1,5 \times 10^{-5}$ pr. °C
Frostmotstand	SS137244	God
pH i porevann	SINTEF KS 70133 eller tilsvarende metode	> 12,0
Kloriddiffusjon	En av metodene NT Build 443, NT Build 355 eller SINTEF MB 71116	Lik eller lavere diffusjonskoeffisient enn referansebetong gruppe B i NS 3099

Membranherdner skal være voksbasert.

9.2.3 c) Krav til utførelse

Fra Prosesskode-2:

Generelt

Det vises til prosess 84.4 og Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7.

Reparasjonsarbeidene skal utføres med metoder og utstyr i henhold til den spesielle beskrivelsen og på en slik måte at det blir god samhörighet mellom de ulike deloperasjonene. Arbeidene skal ikke utføres ved temperaturer lavere enn +5 °C. Dersom det er uoverensstemmelse mellom beskrivelsen og leverandør av reparasjons-materialers anvisninger (ved bruk av reparasjonssystemer), skal leverandørens anvisninger følges.

Dersom ikke annet er angitt i den spesielle beskrivelsen skal påføring av mørtel utføres ved sprøyting eller som utstøping. Forskaling utføres i hht. prosess 84.2 Forskaling. Utstøping av betong utføres i hht. prosess 84.4 Betongstøp og den spesielle beskrivelsen.

Fremgangsmåte for å bestemme endelig reparasjons/meislingsomfang skal fremgå av den spesielle beskrivelsen.

Fjerning av betong

Gjenværende betong og armering må ikke skades under utførelsen.

Betong som uaktsomt fjernes eller beskadiges i større omfang enn bestemt er entre-prenørens ansvar og skal utbedres vederlagsfritt av entreprenøren.

Av hensyn til bruas sikkerhet må begrensninger ved fjerning av betong angis i den spesielle beskrivelsen og følges nøye. Disse begrensningene gjelder foran alle andre meislingskriterier.

Ved store/dype skader som overgår gitte begrensninger for meisling og/eller sterkt korrodert armering skal byggherrens representant varsles omgående.

Sårkanter på gjenstående betong må utformes slik at god utstøpning sikres. Ved sprøytemørtling skal sårkanter danne en vinkel på ca. 45° med betongoverflaten. Bruk av vinkelsliper for å avgrense områder hvor det skal meisles tillates ikke.

Armering hvor tverrsnittets omkrets frilegges mer enn 50 % skal frilegges helt. Armering skal da frilegges tilstrekkelig til at denne lar seg omstøpe. Den frie avstanden mellom armeringsstålet og betongoverflaten skal etter blottlegging være minimum 20 mm.

Det skal fremgå av den spesielle beskrivelsen om vannmeislingsarbeidet er selektiv fjerning av dårlig betong eller fjerning av betong i spesifiserte områder og til spesifiserte dybder. Ved selektiv fjerning av betong skal helautomatisk vannmeislingsrobot brukes. Ved fjerning av betong med vannmeislingsrobot skal vannmeislingsrobot og vannmeislingsentreprenør være godkjent i henhold til Vegdirektoratets godkjenningsordning.

Ved selektiv vannmeisling skal utrustningen kalibreres på et referansefelt. Dette omfatter vannmengde, vanntrykk, dyseåpning, bevegelsesmønster, osv. Utstyret skal kalibreres mot midlere avvirkningsdybde i henhold til den spesielle beskrivelsen. Referansefelt skal godkjennes av byggherren før videre meisling finner sted.

Ved vannmeisling av betong til spesifiserte dybder skal kalibrering utføres slik at dette er mulig å få til i hvert enkelt tilfelle.

Ved bruk av håndholdt vannmeislingsutstyr skal dette være rekylfritt og utstyrt med dødmannsknapp.

Det skal sørges for god bortledning av vann.

Rengjøring

Ved håndmeisling skal meislede flater rengjøres grundig med blåserensing.

Flater som ikke er meislet, men som det skal mørtles/støpes mot skal dersom annet ikke er angitt i den spesielle beskrivelsen blåserenses grundig.

Dersom ikke annet er angitt i den spesielle beskrivelsen skal frilagt armering rengjøres til Sa 2, dvs. nesten alt glødeskall, rust og fremmedpartikler skal fjernes.

Rengjøring utføres ovenfra og nedover.

Mørtling/støping skal utføres snarest mulig etter rengjøring av underlag og senest 2 dager etter.

Flater det skal mørtles/støpes mot skal umiddelbart før mørtling/støping være fri for støv, sementslam, olje, fritt vann osv.

Armeringsarbeider

Fjerning av armering er ikke tillatt uten byggherrens godkjenning. Armering som er svekket eller korrodert bort, erstattes med ny etter avtale med byggherren.

Armeringsarbeid utføres i henhold til prosess 84.3 Armering.

Korrosjonsbeskyttelse av armering utføres dersom det er angitt i den spesielle beskrivelsen. Korrosjonsbeskyttelsen skal dekke godt, også på baksiden av armeringen. Korrosjonsbeskyttelsen skal påføres samme dag som rengjøringen har funnet sted. I kloridutsatte miljøer skal korrosjonsbeskyttelse påføres umiddelbart etter rengjøring. Leverandørens anvisninger skal følges.

Forvanning

Underlaget skal forvannes godt og i minst ett døgn før påføring av sementbasert heftbru, mørtling/utstøping igangsettes. Eksisterende betongoverflate skal være overflatetørr og svakt sugende.

For svakt sugende betonger som f.eks. MA-betong, må det vurderes i hvert enkelt tilfelle om forvanning er nødvendig.

Håndmørtling

Dersom *den spesielle beskrivelsen* angir håndmørtling, skal eventuell heftbru kostes godt inn i underlaget, også bak armeringen. Mørtelen legges vått i vått med heftbrua, om nødvendig i flere lag slik at den ikke siger eller løsner. Mørtelen pakkes slik at fullstendig omstøping rundt armeringen oppnås.

Spesiell beskrivelse.

Krav til utførelse av håndmørtling :

- c) *Håndmørtel skal påføres i tykkelse inntil 3 cm i en etappe avhengig av sårets utforming. Dypere sår bygges opp i to eller flere omganger umiddelbart etter at mørtelen har satt seg. Dersom det går lengre tid mellom hver etappe, påføres heftbru mellom lagene.*

Når armeringsbeliggenheten er slik at avtrekking jevnt med betongoverflaten gir overdekning mindre enn [vurdert minimums overdekningsverdi] skal mørtel påføres slik at armering blir sikret minimum overdekning.

Overgangene mellom reparasjon og gammel betong skal bearbeides slik at ikke riss eller svakhetssoner oppstår.

Voksbasert membranherdner påføres umiddelbart etter mørtling i to omganger og totalt i en mengde på minimum 0,3 kg/m².

Temperatur under utførelse skal være mellom +5 og +25 °C. Ved temperatur over 25 °C kan mørtling bare gjennomføres dersom det settes i verk spesielle beskyttelsestiltak mot direkte solpåkjenning og uttørring.

Det skal utføres et prøvefelt etter arbeidsprosedyren for håndmørtling for å dokumentere at utførelseskrav og kontrollkrav blir oppfylt.

Fra Prosesskode-2:

Sprøyting

Sprøyteutstyret skal ha trinnløs kapasitetsregulering med proporsjonal regulering av vann og tørrstoff. Sprøytekapasiteten må kunne reguleres ned til så lav kapasitet at god omstøpning av armering sikres.

Før sprøytearbeidene starter skal utstyr og tilrigging samt hver enkelt sprøyteoperatør være godkjent av byggherren.

Ved oppstart sprøyting skal det alltid sprøytes mot lem, kasse eller lignende, inntil det visuelt kan kontrolleres at vanddoseringen er riktig.

På vertikale eller skrå flater starter sprøytingen nederst og fortsetter oppover. Sprøyting skal tilstrebes utført slik at minst mulig støv får feste seg på den rengjorte flaten.

Arbeidsstillas osv. skal ha slike dimensjoner at den sprøyteavstanden som er riktig for utstyret kan benyttes.

Det skal sprøytes på skrå og med redusert avstand bakom armering slik at sandlommer og skyggevirkning unngås.

Sprøytemørtelen skal legges på til jevnt med tilgrensende betongoverflate, eller til foreskrevet armeringsoverdekning med sikkerhet er oppnådd. Der det er store sår skal det sprøytes mot forskaling slik at eksisterende form gjenopprettes. For krav til minimum overdekning vises det til *den spesielle beskrivelsen*.

Sprøytemørtelen skal være velkomprimert og uten lagdeling, sandlommer eller porøse partier. Defekt sprøytemørtel skal meisles bort og erstattes med fullgodt materiale.

Til ferdig overflate stilles følgende alternative krav :

1. Ferdig sprøytet overflate uten ytterligere bearbeiding kan utgjøre den endelige overflaten, men sprøyting forutsettes utført slik at ujevnheter og ruheten blir minst mulig.
2. Ferdig sprøytet overflate skjæres av med rettholt og pusses, slik at den fremstår tilsvarende en brettskurt flate.
3. Ferdig sprøytet overflate pusses, eventuelt med tilførsel av mørtel, slik at større ujevnheter rettes av og overflaten fremstår tilsvarende en brettskurt overflate.

Dersom ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen* skal overflaten tilfredsstillende kravet i alternativ 1.

«Fliser», prelltap og løse partikler fra sprøytemørtelen ut på tilgrensende flater skal fjernes mens mørtelen ennå er fersk.

Etterbehandling

Herdetiltak utføres dersom ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen* i henhold til prosess 84.54 Herdetiltak og 84.541 Herding med membranherdner.

Herdetiltak må tilpasses en eventuell senere overflatebehandling.

Spesiell beskrivelse.

Krav til utførelse av sprøytemørtel:

c) *Det skal benyttes tørrsprøyting.*

Når armeringsbeliggenheten er slik at avtrekking jevnt med betongoverflaten gir overdekning mindre enn [vurdert minimums overdekningsverdi] skal mørtel påføres slik at armering blir sikret minimum overdekning.

Ved oppstarting av sprøytingen skal hele såret først sprøytes med noe bløtere masse, for at ikke støv og prell skal legge seg på flaten og redusere heften.

Det må sprøytes slik at oppfylling bak armering sikres. Det skal ikke sprøytes tykkere lag enn 4 cm for hver sprøyteomgang.

Ujevnheter skal skrapes ned etterhvert for å hindre at de forplanter seg til overflaten. Sårene skal sprøytes ca. 10 mm utenfor tilsiktet avtrekningsnivå. Sluttlaget skal sprøytes med noe økt vanntilsetning slik at glatting blir lettere. Overflaten skal tilfredsstillende alternativ 2 i Prosesskode-2.

Overgangen mellom reparasjon og gammel betong skal bearbeides slik at ikke riss eller svakhetssoner oppstår. Overgang mellom mørtel og gammel betong skal kunne inspiseres etter avsluttet påføring.

Umiddelbart etter avretting og pussing påføres voksbasert membranherdner i to omganger og totalt i en mengde på minimum 0,3 kg/m².

Lufttemperatur under utførelsen skal være mellom +5 og +25 °C. Ved temperatur over 25 °C kan sprøyting gjennomføres dersom det settes i verk spesielle beskyttelsestiltak mot direkte solpåkjenning og uttørking.

Sprøyting skal ikke foretas i sterk vind pga. faren for separering.

Det skal utføres et prøvefelt etter arbeidsprosedyren for sprøytemørtling for å dokumentere at utførelseskrav og kontrollkrav blir oppfylt.

9.2.4 d) Prøvetaking og e) Toleranser

Fra Prosesskode-2:

Meislede flater skal kontrolleres av byggherren før mørtling/utstøping.

Ved vannmeisling stilles det følgende krav til gjenværende betong:

- * Fri for bomsoner
- * Tilslaget skal splittes ved banking med hammer
- * Piper (små krater som vanskelig lar seg utstøpe) på maksimalt 5 % jevnt fordelt over meislet flate
- * Fri for skygger under armering.

Det skal kontrolleres ved banking med hammer at det ikke er bompartier i reparerte områder. Denne kontrollen utføres 14-28 døgn etter sprøyting.

I mørtlede områder skal heftfastheten dokumenteres ved hjelp av avtrekksinstrument med diameter på minst 50 mm. Det skal tas en prøveserie pr. 50 m² overflate. En prøveserie består av 3 prøver med en gjennomsnittlig heftfasthet større enn eller lik 1,2 MPa, ingen enkeltprøve skal være mindre enn 1,0 MPa. Det vises til Statens vegvesens håndbok 015 Feltundersøkelser.

Alle hull etter prøvetaking skal gjenstøpes omhyggelig og avrettes jevnt med tilgrensende betongoverflate.

For utstøpt betong vises det til prosess 84.4 Betongstøp.

Dersom ikke annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen* skal rissvidder i reparerte områder ikke overstige 0,1 mm.

Prøvetaking utføres forøvrig i henhold til *den spesielle beskrivelsen* og Statens vegvesens håndbok 015 Feltundersøkelser.

Det skal fremgå av *den spesielle beskrivelsen* om det ved oppstart av arbeidene skal lages et referansefelt. Dette feltet skal være referanse for det arbeid som skal utføres. Referansefeltet skal godkjennes både av entreprenør og byggherre før det videre arbeid igangsettes. Referansefeltets størrelse og plassering skal være angitt.

Spesiell beskrivelse.

Prøvetaking og toleranser for håndmørtel og sprøytemørtel:

- d) *Det skal foretas visuell kontroll av overflaten etter mørtling/sprøyting. Overflaten skal være tilnærmet lik omkringliggende betong.*

Flatene skal kontrolleres for riss og sprekker. Kravet er at verken mørtel eller overgang mørtel/gammel betong skal ha riss eller sprekker over 0,05 mm etter minimum 1 måned. Dersom det påføres overflatebehandling som gjør senere kontroll umulig, gjøres kravet gjeldende ved påføringstidspunktet.

I reparerte arealer skal hefffastheten kontrolleres etter 14 dager med avtrekksforsøk.

Heftprøving skal gjøres i henhold til metode 15.541 i Statens vegvesen håndbok 015 Feltundersøkelser. En prøveserie består av 3 enkeltprøver. Krav til heftfastheten for hver prøveserie er minimum 1,2 MPa. Ingen enkeltverdier skal være under 1,0 MPa. Ved brudd i underlaget skal det vurderes om det skyldes betongkvalitet eller sårprepareringen. Det skal tas 1 prøveserie for hver påbegynt 20 m² reparert areal. Dersom de 5 siste prøver tilfredsstiller kravet, kan prøvningsfrekvens settes til 1 prøveserie for hver 100 m² reparert areal.

- e) *Toleranser for sprøytemørtelens jevnhet er ± 10 mm.*

9.3 Kommentarer til spesiell beskrivelse

Det er i prosjektet fokusert på svinnegenskaper til håndmørtel og sprøytemørtel de første 24 timer etter påføring. Dette ansees som en viktig materialeegenskap ved mekanisk reparasjon. Imidlertid er det ikke mulig å stille et slikt krav da det ikke er etablert en standardisert prøvningsmetode for måling av tidligsvinn. Dette anses som et område for videre utviklingsarbeid.

For håndmørtel er det foreslått å benytte krav til svinn og svelling i henhold til DIN 52450 der det foretas uttørring fra 1-28 døgn og oppfukning fra 28-35 døgn. Disse kravene er ikke foreslått for sprøytemørtel. Problemet er å foreta utstøping av prøvestykker som får de samme egenskaper som sprøytemørtel påført i felt. Også dette anses som et viktig tema for videre utvikling.

For bruer der det er benyttet betong med lavere fasthetsklasse enn C35, må det vurderes å stille lavere krav til håndmørtelens fasthet enn 35-55 MPa som det står i forslaget til spesiell beskrivelse.

Når det gjelder elektrisk motstand/resistivitet, er det ansett som en fordel at denne er tilnærmet lik egenskapene til betongen. Imidlertid har det ikke vært mulig å tallfeste krav til elektrisk motstand/resistivitet for hverken håndmørtel eller sprøytemørtel.

Kravet til vanndamppermeabilitet for håndmørtel gjelder kun for mørtel alene og ikke for kombinasjonen heftbru-mørtel.

Det anbefales å bruke voksbasert membranherdner som etterbehandlingsmetode. Dette er fordi de tynne reparasjonssjiktene må sikres best mulig herdebetingelser. Dette betinger imidlertid at membranherdneren fjernes ved hjelp av f.eks. sandblåsing før det foretas overflatebehandling.

Dersom det påføres sementbasert rissoverbyggende overflatebehandling umiddelbart etter sprøyting/oppmørtling, kan membranherdner sløyfes. Denne overflatebehandlingen vil da fungere som herdemembran.

Det beskrives at armering skal sikres minimum overdekning. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Et minimumskrav på mindre enn 30 mm overdekning anbefales ikke. For å oppnå god nok beskyttelse mot klorider vil det ved for lav overdekning vanligvis bli beskrevet overflatebehandling med kloridbremsende egenskaper i tillegg til minimum overdekning med reparasjonsmørtel.

Dersom det oppstår riss i størrelsesorden 0,1 mm, bør det godtas rissoverbyggende overflatebehandling som korrigerende tiltak. Ved rissvidder større enn 0,2 mm i klorid-påkjente områder, bør det kreves at reparasjonen utføres på nytt eller det foretas riss-injeksjon etterfulgt av rissoverbyggende overflatebehandling.

Det er ikke arbeidet med våtsprøyting i prosjektet. Dette kan imidlertid være en aktuell metode spesielt ved stort reparasjonsomfang.

10. Overflatebehandling

10.1 Generelt

Prosjektet har arbeidet med vannavvisende impregneringer, akrylbaserte malinger, elastiske sement/lateks-baserte tykkfilmsbelegg, elastiske tykkfilmsmalinger og herdeplast-belegg /6/.

I Prosesskode-2 /1/ er overflatebehandling beskrevet i prosess 87.47. Normalt inngår flere arbeidsoperasjoner beskrevet med egne prosesser. Disse er:

- 87.471 Rengjøring av overflater
- 87.472 Slemming
- 87.473 Porefylling
- 87.474 Pussing
- 87.475 Vannavvisende impregnering
- 87.476 Overflatebehandling med maling/belegg.

I prosess 87.47 angis at det kan stilles krav til følgende egenskaper:

- Heftfasthet
- Kloridinntrengningsmotstand
- CO₂-motstand
- Vanndampdiffusjonsåpenhet
- Alkaliebestandighet
- Elastisitet
- Vanntetthet
- Vannavvisende evne
- Frostbestandighet
- UV-bestandighet.

Relevante krav med angivelse av prøvningsmetode og akseptkriterium skal oppgis i den spesielle beskrivelsen.

Overflatebehandlinger som benyttes på kystbruer av betong skal være dokumentert i henhold til Vegteknisk avdelings intern rapport nr. 2034: «Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong» /14/. Denne skal sammen med Vegdirektoratets: «Anbefaling for bruk av overflatebehandling på betongbruer» /15/ danne grunnlaget for årlige anbefalinger av produkter.

Nedenfor er det gitt prosjektets forslag, kommentarer og anbefalinger for følgende arbeidsoperasjoner og overflatebehandlinger:

- Rengjøring av overflater (87.471)
- Vannavvisende impregnering (87.475)
- Vannavvisende impregnering og akrylbasert maling med tykkelse < 0,5 mm (87.4761)
- Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg (87.4762)
- Herdeplastbelegg.

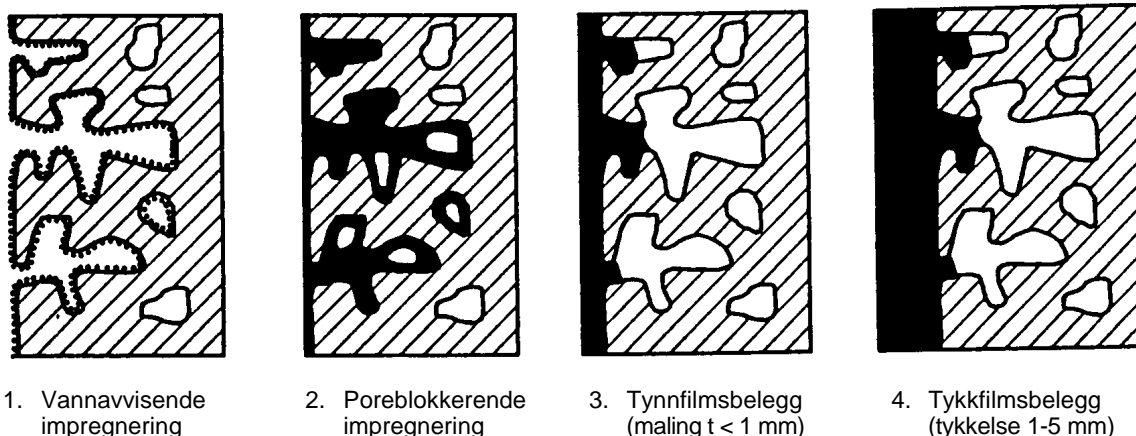
Vannbasert tykkfilmsmaling (ett produkt) ble benyttet i prosjektet. Erfaringen var at denne malingen ikke herdet i fuktig kystklima (RF > 80 %). Bruk av vannbasert tykkfilmsmaling kan derfor ikke anbefales i kystklima uten at anvendbarheten er grundig dokumentert.

10.2 Funksjon av ulike overflatebehandlinger

Overflatebehandlingsmaterialer kan deles inn på flere måter avhengig av funksjon og/eller tykkelse. Følgende hovedkategorier kan benyttes for overflatebehandling /16/:

1. Vannavvisende impregnering
2. Poreblokkerende impregnering
3. Tynnfilmsbelegg
4. Tykkfilmsbelegg.

Disse hovedkategoriene er illustrert i figur 10.2 -1.



Figur 10.2 -1: Hovedkategorier for overflatebehandlingsmaterialer /16/.

Løsninger for overflatebehandling kan bestå av kombinasjoner av produkter som faller inn under hovedkategoriene ovenfor. Det finnes også produkter som ikke faller naturlig inn i hovedkategoriene. Enkelte produkter kan ha flere virkemåter samtidig og/eller ha funksjonsmåter som ikke nødvendigvis dekkes av en hovedkategori.

Funksjonsmåtene for de overflatebehandlingsmetoder som det har vært arbeidet med i prosjektet er beskrevet nedenfor:

Vannavvisende impregnering

Behandlingen har til hensikt å hindre kloridinntrengning og være diffusjonsåpen. Som navnet sier tilhører denne behandlingen hovedkategori 1.

Vannavvisende impregnering og akrylbasert maling

Behandlingen har til hensikt å hindre kloridinntrengning og være diffusjonsåpen. Den skal ikke ta opp bevegelse. Løsningen har karbonatiseringsbremsende effekt og kan dessuten være aktuell som kosmetisk utbedring. Behandlingen er en kombinasjon av hovedkategori 1 og 3.

Elastisk tykkfilmsmaling

Materialet egner seg ikke i kystklima da det ikke oppnås tilstrekkelig herding i fuktige omgivelser. Løsningen tilhører kategori 4.

Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg

Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg er egnet til bruk på betongkonstruksjoner som skal beskyttes for klorider og mot karbonatisering, der det i tillegg stilles krav til diffusjonsåpenhet og rissoverbyggende egenskaper. Materialet har gode heftegenskaper selv på fuktige overflater. Det egner seg derfor til bruk i kystklima. Løsningen faller inn under kategori 4, men karakteriseres i tillegg av de elastiske egenskapene.

Herdeplastbelegg

Løsningen har til hensikt å hindre kloridinntrengning og karbonatisering samt å ha høy mekanisk styrke. Herdeplastbelegg faller inn under kategori 4, men er ingen ensartet type overflatebehandling. Egenskaper som diffusjonsåpenhet, mekanisk styrke og elastisitet kan være svært forskjellige for ulike typer herdeplastbelegg.

Observasjon av malte betongoverflater viser generelt at skader utvikler seg der overflaten er utsatt for store vannmengder eller der det er hull, rifter eller riss i malingen. Det kan synes som om den økte fukttransporten som oppstår gjennom defekten påfører for store belastninger på belegget rundt defekten.

Skader på belegg skjer raskere ved:

- dårlig betongkvalitet
- økt fuktpåkjønning/fukttransport gjennom betongen
- stor forskjell i motstand mot fukttransport i belegget (f.eks. i defekter/intakt belegg).

Det er spørsmål om det kan finnes malinger som kan ha bremsende effekt på klorid-inntrengning og samtidig er diffusjonsåpne nok til ikke å påføre ekstra belastninger ved defekter. Det er derfor trolig slik at et malingsbelegg må være absolutt uten rifter og defekter for å kunne ha god holdbarhet.

Det er spørsmål om tynnfilmsbelegg kan utføres uten hull eller defekter så lenge underlaget er ujevnt og har knaster, porer og riss. Trolig må det utføres pore- og riss-sparkling for å få et godt nok underlag til å kunne få en kontinuerlig, defektfri overflatefilm.

Tynnfilmsbelegg i kombinasjon med hydrofobering kan ha en sjanse til å oppnå holdbarhet uten porefylling, idet det hydrofoberte betongsjiktet muligens vil fungere som et ventilasjonslag bakom tynnfilmen. Forutsetningen for dette er selvfølgelig at hydrofoberingen har en tilfredsstillende inntrengningsdybde.

En betongkonstruksjon vil alltid ha bevegelser pga. svinn, temperaturendringer og laster. Det kan neppe garanteres at slike bevegelser ikke fører til riss og bevegelser i riss. Dersom ikke overflatebelegget har tøyings- og rissoverbyggende evne, er det kun et tidsspørsmål når riss også vil gi defekter i overflatebelegget.

Ut fra dette resonnementet vil kun tykkfilmsbelegg med enten rissoverbyggende evne eller mekanisk styrke til å tåle konstruksjonens bevegelser kunne gi rimelig varig overflatebeskyttelse. Trolig må belegget også ha en viss diffusjonsåpenhet dersom konstruksjonen er fuktbelastet.

Selv om en kan se for seg nedbrytningsmekanismer for overflatebehandlinger, gjenstår det fortsatt å observere i praksis hvor hurtig nedbrytingen foregår. Det kan vise seg at nedbrytningshastigheten er så liten at løsningsene alt i alt likevel er lønnsomme. Ingen hadde uansett forventet at overflatebehandlinger skulle være evigvarende.

10.3 Rengjøring av overflater

10.3.1 Spesiell beskrivelse, prosess 87.471 Rengjøring av overflater

- d) *Dersom det er gitt krav til heftfasthet for den etterfølgende overflatebehandlingen, skal betongunderlagets strekkfasthet etter rengjøring kontrolleres med avtrekksprøver. Det skal tas 1 prøve bestående av 3 enkeltavtrekk for hver påbegynt 50 m². Dersom de 5 siste prøvene tilfredsstillende, kan prøvningsfrekvensen reduseres til 1 prøve for hver 500 m².*

Kravet til betongunderlagets strekkfasthet er minimum 1,2 MPa for hver prøve, ingen enkeltavtrekk under 1,0 MPa.

Dersom kravet til betongunderlagets strekkfasthet ikke er oppfylt, skal det gjøres ny og forbedret rengjøring og prøving. Dersom kravet fortsatt ikke er oppfylt, skal det vurderes hvilken strekkfasthet betongkvaliteten i underlaget kan gi.

10.3.2 Kommentarer til spesiell beskrivelse

Rengjøring av betongoverflater skal fjerne løse partikler, skitt, begroing, olje, sement-slam, mørtelsøl fra reparasjoner og membranherdner. Rengjøringen skal sikre god heft for overflatebehandlingen.

De mest vanlige rengjøringsmetodene er høytrykksspyling med vannjet, sandblåsing og sandvasking.

Valg av rengjøringsmetode er avhengig både av foregående arbeidsoperasjon og av type overflatebehandling. Mange typer overflatebehandling stiller krav til maksimalt fuktinnhold i betongen. Dette er spesielt viktig å være klar over når vann inngår i rengjøringsmetoden.

I Prosesskode-2 /1/ er rengjøring av overflater beskrevet i prosess 87.471. Dersom det brukes vann til rengjøring, stiller Prosesskode-2 /1/ krav om at det skal benyttes rent ferskvann.

Det anbefales imidlertid å benytte en rengjøringsmetode uten bruk av vann ved overflatebehandling. Fuktig betong er ugunstig både med hensyn til inntrenging av vann-avvisende impregnering og heft for annen overflatebehandling. Dette gjelder også for elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg selv om dette er robust behandling med tanke på fukt i betongen.

Dersom det benyttes vann i rengjøringsmetoden, bør det legges spesiell vekt på oppfølging av kravene til inntrengingsdybde for impregneringer og heft for malinger.

10.4 Vannavvisende impregnering

10.4.1 Spesiell beskrivelse, 87.475 Vannavvisende impregnering

- b) *Vannavvisende impregnering skal foretas med rene silaner uten løsemidler, med molekyllengde som gir best mulig inntrengningsdybde inn i fuktig betong. Impregneringsmaterialet skal være dokumentert i henhold til Vegteknisk avdelings intern rapport nr. 2034: «Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong».*

Impregneringsmaterialet skal ha dokumentert følgende egenskaper:

Egenskaper	Prøvemethoder	Krav
<i>Motstand mot kloridinntrengning</i>	<i>SINTEF MB 71301</i>	<i>> 75 % reduksjon i forhold til referanse</i>
<i>Inntrengningsdybde</i>	<i>SINTEF MB 71301</i>	<i>Gjennomsnittlig inntrengningsdybde for en prøve skal være minimum 1 mm og for hver enkelt kjerneprøve minimum 0,5 mm</i>
<i>Løsningssevne for asfalt</i>	<i>SINTEF KS 70125 eller tilsvarende metode.</i>	<i>Ingen oppløsning. Kun relevant når produktet kommer i kontakt med asfalt.</i>
<i>Frostbestandighet</i>	<i>SS 13 72 44</i>	<i>Skal ikke forverre frostbestandigheten til referansebetongen.</i>

- c) *Impregneringsmaterialet sprøytes på med trykkluftutstyr. Overflaten skal være så tørr som mulig når det sprøytes, og den skal som et minimum være «lys grå tørr». Sprøytingen skal starte øverst. Hastigheten på sprøytingen skal styres ved å kontrollere at nedrenningen blir 30-40 cm. Impregneringen skal sprøytes i to strøk med mellomstrøkstid som angis av leverandøren.*

Forbruket av impregnering skal være 0,1-0,2 kg/m² for hvert strøk.

Før oppstart av arbeidene i full skala skal det utføres et prøvefelt etter samme utførelsesprosedyre og kvalitetsstyring som er forutsatt i fullskala arbeidet, for å dokumentere at kravene til forbehandling, forbruk og inntrengningsdybde blir oppfylt.

- d) *Det skal foretas visuell kontroll av overflaten før påføring. Underlaget skal være rent og tørt ved påføring.*

Inntrengningsdybde kontrolleres ved å bore ut kjerneprøver med minimum 60 mm diameter, splitte kjernene, tørke dem i 50-60 °C og bruke vann som indikator for å måle inntrengningsdybden. En prøve består av 3 kjerner. Inntrengningsdybde avleses med risslupe på alle 6 kjernehalvdeler. Eventuelt kan nøyaktigere metode benyttes. Krav til gjennomsnittlig inntrengningsdybde er 1 mm for hver prøve. Ingen kjernehalvdeler skal vise gjennomsnittlig inntrengningsdybde under 0,5 mm. Det skal tas 1 prøve for hver påbegynt 50 m². Dersom de 5 siste prøver tilfredsstiller kravet, kan prøvningsfrekvens reduseres til 1 prøveserie for hver 250 m².

Inntrengningsdybden måles dagen etter at andre strøk er påført. Eventuelt kan dokumentasjon av tilstrekkelig inntrengningsdybde baseres på prøving ved seinere tidspunkt, dersom materialleverandøren har angitt dette. I så fall skal inntrengningsdybden dagen etter andre strøk likevel måles, til bruk som «foreløpig kontrollkriterium».

10.4.2 Kommentarer til spesiell beskrivelse

Det er i prosjektet arbeidet med ulike typer vannavisende impregnering. Disse er:

- Siloxan/silan i white spirit
- Siloxan/silan i etanol
- Rene silaner (100 %)
- Silan i white spirit
- Vannbasert silan.

Resultatene i prosjektet viser at rene silaner gir størst trygghet for en vellykket impregnering.

Utførelsen er svært avgjørende for resultatet. Det er spesielt fokusert på å oppnå god inntrenging. For å sikre dette kreves at sement huden er fjernet og at overflaten er tørt når impregneringen påføres. Sandblåsing anbefales som forbehandlingsmetode. Dette fjerner forurensning og åpner sement huden uten å tilføre mer fukt. Dersom annen rengjøringsmetode ønskes brukt, bør det foretas utprøving av inntrengningsdybde på et prøvefelt. Det bør nevnes at det er et tankekors å fjerne sement huden, da denne er en forsterkning av overflaten. Hvis impregneringen blir mislykket, kan behandlingen resultere i en faktisk svekkelse av overflatens kloridmotstand.

Krav til forbruk er satt til 2 strøk á 0,1-0,2 kg/m². Forbruket kan variere på ulike betongoverflater. Porøse overflater suger mer enn tette overflater og tørr betong suger mer enn våt betong.

Kontroll i felt er ofte vanskelig fordi vannavvisende impregnering er en klar væske. I prosjektet er ulike metoder utprøvd. Disse er:

- Måling av elektrisk motstand i betongoverflaten (motstanden skal øke med god inntrengning)
- Vanninntrengning i felt (liten vanninntrengning tyder på god effekt)
- Vannpåspruting for visuelt å vurdere vannavprelling
- Inntrengningsdybde av impregneringsmaterialet.

Måling av elektrisk motstand ved bruk av utstyr utviklet av BAST (Bundesanstalt für Strassenwesen) er utprøvd i prosjektet, men vurdert ikke å være egnet som feltmetode. Den samme vurderingen er gjort for kvantitativ måling av vanninntrengning basert på feltforsøk utført av Veglaboratoriet.

Vannpåspruting er heller ikke tilfredsstillende. Metoden er kun kvalitativ, og det er derfor vanskelig å knytte noe akseptkriterium til metoden. Et annet problem er at vannpåspruting kun viser effekt på betongoverflaten.

Siden impregnering blir nedbrutt av UV-stråling, er måling av inntrengningsdybde den eneste kontrollmetoden som prosjektet kan anbefale. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at det er stor variasjon i inntrengningsdybden på alle betongoverflater. Dette skyldes at betong er et inhomogent materiale. Inntrengningsdybde måles tidligst dagen etter at andre strøk er påført. Inntrengning av påført impregnering påstås av enkelte å fortsette sakte i tiden etter påføring. Hvorvidt dette er av en slik størrelse at det har praktisk betydning er imidlertid uklart. Dersom ikke krav til inntrengningsdybde er oppnådd ved prøving dagen etter påføring, kan inntrengningsdybden kontrolleres etter 14 dager. Inntrengningsdybde måles som beskrevet i forslaget til spesiell beskrivelse.

10.4.3 Diskusjon

Vannavvisende impregnering med silan og/eller siloxan har vært gjenstand for omfattende arbeider. Slik impregnering er utført på en rekke kystbruer i de seinere årene, og det er viktig å få dokumentert hvilken effekt denne relativt enkle vedlikeholdsmetoden har. Tankegangen har vært at om man gjør betongoverflatene ikkevannsugende, vil også videre kloridinntrengning via kloridholdig vann reduseres. Dersom betongoverflatene i tillegg er diffusjonsåpne, ville betongen etterhvert tørke ut. Mindre fuktinnhold i betongen vil kunne virke gunstig med hensyn til lavere korrosjonshastighet. Erfaringer/målinger i prosjektet har imidlertid vist at ingen signifikant uttørking har funnet sted som følge av impregnering.

Tidligere dokumentasjon av vannavvisende impregneringers effekt har i hovedsak vært basert på laboratorieprøving, dvs. prøving under kontrollerte forhold og på betong som

har vært tørrere enn betongen i en kystbru. Prøvene har vært uten påkjenning av vær, vind og aldring. Denne prøvningen har imidlertid vist at vannavvisende impregnering, under disse forhold, har betydelig effekt med hensyn til å bremse/reducere kloridinntrengningen. I hvilken grad overflatebehandlingen på Gimsøystraumen bru har ført til redusert kloridinntrengning eller utjevning av kloridprofilen har en imidlertid ikke kunnet fastslå i løpet av prosjektperioden.

Fordi silaner og siloxaner ikke er UV-bestandige, har en innsett at hydrofoberingen må trenge *inn* i betongen for å ha en rimelig varighet. Desto lenger inn impregneringen trenger, desto bedre beskyttelse har den mot sollys, vær og vind, og desto lengre varighet må en regne med at den vil få. En snakker uansett ikke om mer enn noen få millimeters inntrengningsdybde. Impregnering som ikke trenger inn i betongen vil høyst sannsynlig ha betydelig kloridbremsende effekt så lenge den er tilstede på overflaten, men det er trolig at behandlingen vil ha effekt kun i en relativt kort tidsperiode.

Mye av arbeidet i prosjektet har derfor vært sentrert rundt inntrengningsevne for silaner/siloxaner i betong. To forhold har vært vesentlige i dette arbeidet:

1. Impregneringsmidlets molekylstørrelser og i særlig grad impregneringsmidlets eventuelle innhold av løsemidler
2. Betongens kvalitet og dens fukttilstand ved impregnering.

Muligens må en innse at det er en umulighet å sette sammen en «optimal» silan/siloxan impregnering. Materialet består av korte molekyler med god inntrengning, men høy flyktighet, og lengre molekyler med dårligere inntrengningsevne og mindre flyktighet. Værforholdene, dvs. temperatur, stråling og vind, vil ha stor innvirkning på flyktigheten. Resultatene i prosjektet er likevel ganske entydige med hensyn til hvilke produkter (blant de som er testet) som gir best inntrengningsdybde der inntrengning er vanskelig å oppnå: 100 % silan gir best inntrengningsdybde mens silan/siloxan med løsemiddel gir mindre inntrengningsdybde.

Betongens fuktinnhold er hovedproblemet med hensyn til inntrengning av impregneringen. Betong er et porøst og hygroskopisk materiale som suger vann i væskeform fra overflaten og innstiller seg fuktmessig i likevekt med luftens fuktinnhold. Noen få millimeter innenfor betongoverflaten har det vist seg på Gimsøystraumen bru at fuktinnholdet i betongen er høyt og konstant, uavhengig av årstid og sted på brua. Forholdene er med andre ord ikke gunstige når det gjelder inntrengning for en impregnering.

Dersom betongens poresystem har en høy vannfyllingsgrad helt ut til overflaten, vil en impregnering ikke kunne trenge inn, ganske enkelt fordi porene er vannfylte fra før. Impregneringsmidlet vil da danne en film eller et belegg på overflaten.

Dersom impregneringen trenger inn i betongens porer, tyder prosjektets resultater på at betongoverflaten blir diffusjonsåpen. Dersom impregneringsmidlet ikke trenger inn, men blir liggende på overflaten, har det vist seg at diffusjonsmotstanden blir betydelig

høyere. Diffusjonsmotstanden vil bli i samme størrelsesorden som om overflaten var påført en tynnfilmsmaling på akryl/latex-basis. Dersom man har en målsetting om en «diffusjonsåpen overflatebehandling», vil da denne ikke være oppnådd.

I tillegg til impregneringsmidlets sammensetning og betongens fuktinnhold, spiller selvfølgelig betongkvaliteten en betydelig rolle. Det er langt vanskeligere å oppnå inntrenging i en tett høykvalitetsbetong enn en mer grovporøs betong.

Kravene til «Vannavvisende impregnering» er utarbeidet på grunnlag av resultatene i prosjektet, både fra laboratorium og felt, og vurdering av hvilken minimums inntrenging en må ha for at hydrofoberingen skal være beskyttet mot sol- og værpåkjønning, slik at den oppnår en rimelig levetid. Det skal ikke legges skjul på at det til tross for betydelig utvikling i prosjektet har vært vanskelig å oppnå god inntrenging i felt, dvs. på Gimsøystraumen bru. Det er oppnådd gjennomsnittlig inntrengningsdybde > 1 mm med 100 % silan på lo-siden (sørsiden) av brua, der overflaten var tørr i 2-4 mm dybde. Tilsvarende resultat ble ikke oppnådd på le-siden (nordsiden), hvor betongen var fuktigere.

Med hensyn til betydningen av inntrengningsdybde på lo- og le-siden kan det benyttes innbyrdes motstridende argumenter. Det er på lo-siden værslitasjen på en overflatebehandling er størst, slik at det skulle være størst behov for en god inntrengningsdybde. Samtidig er det på lo-siden kloridpåkjønningen er minst, slik at det er minst behov for en effektiv kloridbremsende overflatebehandling. På le-siden er kloridbelastningen størst, slik at behovet for en god impregnering er størst. Samtidig er forholdene på le-siden slik at inntrengningsdybden blir minst.

Noen sammenheng mellom fuktinnhold i betongen, inntrengningsdybde og diffusjonsmotstand i den hydrofoberte betongoverflaten er ikke kvantifisert gjennom OFU-prosjektet. Slike relasjoner er sannsynligvis spesifikke for den enkelte betong. Hvilket fuktinnhold i betongen som kan tillates hvis en skal være sikker på å oppnå vellykket impregnering, er derfor heller ikke fastlagt. Det er likevel lite trolig at noen timers solskinn eller en dags opphold for regnvær er tilstrekkelig til å tørke ut betongoverflaten så mye at hydrofobering vil bli vellykket, altså at den trenger inn.

Hvilken betydning vil det ha om hydrofoberingen blir mislykket, dvs. at impregneringen ikke trenger inn i betongen? Som før nevnt innebærer det at:

- a) Bremsingen av kloridinntrengningen får kortere varighet enn tilsiktet.
- b) Betongoverflaten har en langt lavere diffusjonsåpenhet enn tilsiktet inntil silan-filmen er blitt nedbrutt av sollys og regnvær.

Med hensyn til levetiden av en mislykket og en vellykket impregnering har en fortsatt sparsomt med dokumentasjon. Observasjoner fra en rekke bruer som har blitt impregnert viser imidlertid at det etter 1-2 år er svært lite å se av impregneringen, både på overflaten og på bruddflaten av borkjerner. Resultatene fra en bru hvor en søyle ble

impregnert relativt kort tid etter utførelsen tyder imidlertid på at impregneringen har hatt effekt, til tross for at det ikke var mulig å se noe til den.

Hvorvidt impregneringen trenger inn i betongen eller ikke, kan ha betydning for frostbestandigheten. Resultatene, både i OFU-prosjektet og i andre prosjekter, indikerer at hydrofobering:

- kan øke frostbestandigheten dersom inntrengningsdybden er «stor», og
- kan ødelegge frostbestandigheten dersom inntrenging ikke oppnås (avskallingskader).

Effekten på frostbestandighet kan ha sin årsak i betongoverflatens diffusjonstetthet, som nevnt tidligere.

For å oppsummere kan vi si at vellykket hydrofobering, dvs. impregnering med inntrenging av silan noen få millimeter inn i betongen, er vanskeligere å oppnå på kystbruer enn hva en trodde ut fra laboratorieresultater og feltresultater fra andre klimaer. Årsaken til at det er vanskeligere, er i tillegg til betongkvaliteten den høye vannmetningsgraden som betong i fuktig klima har. Erfaringene viser at dersom en skal bruke vannavvisende impregnering som vedlikeholdsmetode må følgende tas hensyn til:

1. Rette langt større oppmerksomhet mot betongens fuktinnhold på det tidspunktet impregnering utføres. Behovet for skjerming mot nedbør og eventuelt kunstige uttørkingstiltak før impregnering er større enn man i utgangspunktet hadde trodd. Det antas at betongen må være «lysgrå tørr» i overflaten, som et absolutt minimum.
2. Inntrenging av impregneringen inn i betongen må en anse som en nødvendighet både for å oppnå rimelig levetid for tiltaket, og for å oppnå diffusjonsåpne betongoverflater. Kontroll av inntrengningsdybde er derfor meget viktig.
3. Impregneringsmaterialet bør være en 100 % silan, som har vist seg å ha best inntrengningsevne.
4. Betongoverflaten bør rengjøres ved sandblåsing, slik at sement huden «åpnes» for inntrenging av impregneringen. Andre rengjøringsmetoder bør ikke benyttes uten at det er påvist på et prøvefelt at dette er tilrådelig.

Prosjektet har avdekket behov for videre evaluering av vannavvisende impregnering som vedlikeholdsmetode. Dette gjelder både betingelsene ved utførelse av impregneringen og spørsmål omkring aldring, nedbrytning og levetid for såvel vellykkede som mislykkede hydrofoberinger. Det er fortsatt betydelig usikkerhet omkring metodenes anvendbarhet på kystbruer.

10.5 Overflatebehandling med vannavvisende impregnering og akrylmaling

10.5.1 Ny prosess 87.4761 Overflatebehandling med vannavvisende impregnering og akrylmaling

- b) *Overflatebehandlings-systemet skal tilfredsstille kravene i Vegteknisk avdelings intern rapport nr. 2034: «Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong».*

Vannavvisende impregnering skal foretas med rene silaner, med molekyllengde som gir best mulig inntrengningsdybde på fuktig betong. Impregneringsmaterialet skal ha dokumentert følgende egenskaper:

Egenskap	Testmetode	Krav
<i>Inntrengningsdybde</i>	<i>SINTEF MB 71 301</i>	<i>Gjennomsnittlig inntrengningsdybde for en prøve skal være minimum 1 mm og for hver enkeltkjerne minimum 0,5 mm</i>
<i>Løsningssevne for asfalt</i>	<i>SINTEF KS 70 125 eller tilsvarende metode</i>	<i>Ingen oppløsning. Kun relevant når produktet kommer i kontakt med asfalt</i>

Akrylmalingen skal ha dokumentert god heft til impregneringen som brukes. Den kombinerte løsningen skal ha dokumentert følgende egenskaper:

Egenskap	Testmetode	Krav
<i>Motstand mot kloridinntrengning</i>	<i>SINTEF MB 71 301</i>	<i>> 75 % reduksjon i forhold til referanse</i>
<i>Hefffasthet</i>	<i>NS-ISO 4624</i>	<i>> 1,5 MPa</i>
<i>Motstand mot karbonatisering</i>	<i>NT Build 300</i>	<i>> 90 % reduksjon etter 16 uker</i>
<i>Vanndamppermeabilitet</i>	<i>NT Build 369</i>	<i>$0,5 \times 10^{-12}$ kg/msPa</i>
<i>UV bestandighet</i>	<i>ASTM G53 1990</i>	<i>Klasse m2/g2 etter DIN 53 209</i>

- c) *Forbruket av impregnering skal være 0,1-0,2 kg/m², påført i ett strøk. Forbruket av akrylmaling skal være 0,2-0,4 kg/m².*

Det er viktig at flaten er så tørr som mulig ved påføring av impregnering.

Akrylmaling skal påføres 12-24 t etter impregnering. Det kan benyttes enkle trykkluftsprøyter eller malesprøyter til påføring av primer og maling. Akrylmalingen påføres i ett eller to strøk avhengig av krav til fargejevnhet.

Før oppstart av arbeidene i full skala skal det utføres et prøvefelt etter samme utførelsesprosedyre og kvalitetsstyring som er forutsatt i fullskala arbeidet, for å dokumentere at kravene til forbehandling, forbruk, inntrengningsdybde av impregnering, heftfasthet og farge blir oppfylt.

- d) *Det skal foretas visuell kontroll av overflaten etter påføring. Overflaten skal ikke ha krakeleringer, hull eller sprekker og ikke ha påfallende fargevariasjoner.*

Heftfastheten skal kontrolleres med avtrekksforsøk i henhold til metode 15.541 i Statens vegvesen håndbok 015 Feltundersøkelser. Tidspunkt for heftmåling bestemmes ut fra leverandørens anvisninger om herdetid. En prøve består av 3 enkeltavtrekk.

Ved prøving skal det noteres ca. hvor stor andel av bruddet som går i underlaget, i heftsonen eller i selve beleggmaterialet. Kravet til heftfasthet dersom bruddet går helt eller delvis i underlaget eller heftsonen er for hver prøve minimum 1,2 MPa og ingen enkeltavtrekk under 1,0 MPa. Dersom bruddet går i selve beleggmaterialet og bruddspenningen ikke tilfredsstillende dette kravet, skal bruddspenningene vurderes i forhold til den strekkfastheten som er dokumentert for belegget.

Det skal tas 1 prøve for hver påbegynt 50 m². Dersom de 5 siste prøvene tilfredsstillende kravet, kan prøvningsfrekvensen settes til 1 prøve for hver 250 m².

Det skal foretas kontroll av medgått mengde av både vannavvisende impregnering og akrylmaling for hvert utførelsesavsnitt.

10.5.2 Kommentarer til spesiell beskrivelse

Løsningen har til hensikt å hindre kloridinntrengning. Løsningen vil dessuten hindre karbonatisering, samt være diffusjonsåpen. Den er ikke forutsatt å skulle ta opp bevegelse. Løsningen kan også brukes som ren kosmetisk utbedring. Akrylmaling kan farges etter fargekart.

Sandblåsing anbefales som forbehandlingsmetode. Dette fjerner forurensning og åpner sement huden uten å tilføre mer fukt. Annen forbehandling kan velges etter utprøving på prøvefelt.

Det er ikke en forutsetning for bruk at det benyttes poresparkel som forbehandling.

Erfaringer fra prosjektet viser at et godt resultat med tanke på heft og inntrengningsdybde oppnås ved bruk av 100 % silan som primer for akrylmaling. Det gjøres oppmerksom på at erfaringene i prosjektet er basert på løsemiddelbasert akrylmaling (metakrylat).

10.6 Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg

10.6.1 Ny prosess 87.4762 Overflatebehandling med elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg

- b) *Overflatebehandlings-systemet skal tilfredsstillende de krav som er angitt i Vegteknisk avdelings intern rapport nr. 2034: «Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong».*

Overflatebehandlingen skal ha dokumentert følgende egenskaper:

Egenskap	Testmetode	Krav
<i>Motstand mot kloridinntrengning</i>	<i>SINTEF MB 71 301</i>	<i>> 75 % reduksjon i forhold til referanse</i>
<i>Strekfasthet</i>	<i>NS-ISO 4624</i>	<i>> 0,8 MPa ved 20 °C</i>
<i>Heftfasthet</i>	<i>NS-ISO 4624</i>	<i>> 1,2 MPa eller materialets heftfasthet</i>
<i>Motstand mot karbonatisering</i>	<i>NT Build 300</i>	<i>> 90 % reduksjon etter 16 uker</i>
<i>Vanndamppermeabilitet</i>	<i>NT Build 369</i>	<i>$0,5 \times 10^{-12}$ kg/msPa</i>
<i>UV bestandighet</i>	<i>ASTM G53 1990</i>	<i>Klasse m2/g2 etter DIN 53 209</i>
<i>Rissoverbyggende egenskap</i>	<i>ZTV SIB 90 TP OS</i>	<i>Klasse IIIτ</i>

- c) *Overflatebehandlingen skal lukke alle porer og sprekker i overflaten slik at en pore- og sprekkfri overflate fremkommer.*

Det forutsettes utførelse i henhold til leverandørens anvisning.

Når primingen har tørr, men klebrig overflate (normalt etter 2-24 timer), påføres overflatebehandlingen i to strøk med totalt forbruk 3,5 kg/m². Det første strøket på ca. 2 kg/m², benyttes som poresparkel og dras over med gumminal. Det andre strøket påføres når første strøket har avbundet, det vil si etter 1-6 timer. Påføringen kan skje med sprøyte, men skal dras ut med kost.

Utstyr for sprøyting: Liten monopumpe (sandsparkelsprøyte), sprøytemunnstykke og trykkluft.

Følgende krav stilles til værforhold for arbeidsutførelse:

- *Temperaturen på overflaten: $+5\text{ °C} < T < +30\text{ °C}$*
- *Temperatur i luft under utførelse: $+5\text{ °C} < T < +30\text{ °C}$*
- *Relativ fuktighet i luft, maksimum 95 %*
- *Vindhastighet maksimum 10 m/s*
- *Sterk sol som fører til overflatetemperatur over $+30\text{ °C}$ eller temperaturstigning på overflaten på over 10 °C pr. time, skal unngås.*

Før oppstart av arbeidene i full skala skal det utføres et prøvelfelt etter samme utførelsesprosedyre og kvalitetsstyring som er forutsatt i fullskala arbeidet, for å dokumentere at kravene til forbehandling, forbruk, heftfasthet og farge blir oppfylt.

- d) *Det skal foretas visuell kontroll av overflaten etter påføring. Overflaten skal ikke ha synlige porer, krakeleringer, sprekker eller påfallende fargevariasjoner.*

Heftfastheten skal kontrolleres med avtrekksforsøk 14 dager etter påføring i henhold til Statens vegvesen håndbok 015 Feltundersøkelser, metode 15.541. En prøve består av 3 enkeltavtrekk.

Ved prøving skal det noteres ca. hvor stor andel av bruddet som går i underlaget, i heftsonen eller i selve beleggs materialet. Kravet til heftfasthet dersom bruddet går helt eller delvis i underlaget eller heftsonen er for hver prøve minimum 1,0 MPa ved 20 °C og ingen enkeltavtrekk under 0,8 MPa. Dersom bruddet går i selve beleggs materialet og bruddspenningen ikke tilfredsstillende dette kravet, skal bruddspenningene vurderes i forhold til den strekkfastheten som er dokumentert for belegget.

Det skal tas 1 prøve for hver påbegynt 50 m^2 . Dersom de 5 siste prøvene tilfredsstillende kravet, kan prøvningsfrekvensen settes til 1 prøve for hver 250 m^2 .

Det skal foretas kontroll av medgått mengde for hvert utførelsesavsnitt.

10.6.2 Kommentarer til spesiell beskrivelse

Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg er egnet til bruk på betongkonstruksjoner som skal beskyttes mot klorider og mot karbonatisering, og i tillegg ha rissoverbyggende

egenskaper. Løsningen er dessuten diffusjonsåpen. Materialet har gode heftegenskaper også på fuktige overflater. Det egner seg derfor til bruk i kystklima.

Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg er forutsatt å lukke alle porer og sprekker i overflaten slik at en pore - og sprekkfri overflate fremkommer.

Dersom det påføres elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg umiddelbart etter sprøyting/oppmørtling av utmeislede sår, kan membranherdner sløyfes. Overflatebehandlingen vil da fungere både som herdemembran og som første strøk i en fullverdig overflatebehandling. Det gjøres oppmerksom på at ved påføring av sement/lateks-basert elastisk overflatebehandling på fersk sprøytemørtel, er det ikke behov for priming i forkant.

Elastisk sement/lateks-basert tykkfilmsbelegg er svært elastisk og har følgelig lav strekkfasthet. Dette er bakgrunnen til at dokumentasjonsprøvingen inneholder krav både til heftprøving og prøving av strekkfasthet og at kravet til heftfasthet i felt er forholdsvis lavt. Det er også viktig å være oppmerksom på at materialets strekkfasthet varierer med temperaturen. Strekkfastheten er ca 0,9 MPa ved 20 °C, mot ca 1,5 MPa ved 10 °C for det produktet som har vært benyttet i OFU-prosjektet.

Det er også viktig å la materialet herde ut før det foretas måling av heftfasthet. Materialet bør ikke kontrolleres med hensyn på heft før 14 dager etter påføring. Ved heftprøving bør bruddet fortrinnsvis skje i materialet og ikke i kontaktsonen mellom betong og belegg.

10.7 Herdeplastbelegg

Herdeplastbelegg har til hensikt å hindre kloridinntrengning og karbonatisering samt å ha høy mekanisk styrke. Våre erfaringer med herdeplastbelegg av ren epoxy og kombinasjon av epoxy og polyuretan, er at materialegenskapene kan varieres svært mye. Det er mulig å benytte belegg som er diffusjonsåpne eller diffusjonstette, elastiske eller stive, samt belegg med lavt vannopptak og lite svinn/svelling.

Dagens systemer er kostbare og arbeidskrevende sammenlignet med f.eks. sement/lateks-baserte tykkfilmsbelegg. Det er imidlertid mulig å tilpasse bruksegenskapene til f.eks. sprøyting ved anvendelse på store arealer.

Herdeplastbelegg har ikke vesentlig bedre egenskaper med hensyn på klorider, karbonatisering eller rissoverbygging enn sement/lateks-baserte tykkfilmsbelegg.

Materialegenskaper som er vanskelig å oppnå med andre typer overflatebehandlinger er høy mekanisk styrke samt ekstremt lavt vannopptak og lite svinn/svelling.

11. Oppsummering - erfaringer/nyheter

Prosjektet OFU Gimsøystraumen bru har hatt stor betydning for den utviklingen som har foregått innen betongreparasjon og bruvedlikehold i perioden 1993-1997. I hele perioden har en tilstrebet å føre erfaringene fra prosjektet videre til brukere og til veiledninger, retningslinjer osv. Samtidig har prosjektet mottatt impulser og erfaringer fra andre arbeider. Ved prosjektets avslutning framstår derfor enkelte prosjektresultater ikke lenger som nyheter, da resultatene allerede er innarbeidet i Vegvesenets hånd-bøker, og er etablert fagkunnskap.

11.1 Inspeksjoner

Inspeksjoner og vedlikeholdstiltak er ikke engangs foreteelser, men arbeider som må påregnes utført om og om igjen i et byggverks levetid. Ved inspeksjoner er det spesielt viktig å få klare holdepunkter for hastigheten av tilstandsutviklingen. Derfor er det også viktig at alle observasjoner, prøveuttak osv. er nøyaktig stedfestet, og til dette trengs et logisk lokaliseringssystem.

I prosjektet har et slikt lokaliseringssystem vært prøvd ut på ei stor kystbru, og ut fra erfaringene med dette er det utarbeidet forslag til bruk av koordinatsystem (X,Y) på utbredte flater av både søyler og overbygning.

Kloridbelastningen på konstruksjonen varierer med konstruksjonsutformingen og klimaet. I prosjektet er det dokumentert at kloridbelastningen er bestemt hovedsakelig av 4 forhold:

1. Høyde over sjø
2. Lo/le-effekten
3. Størrelse og form på værpåkjente flater
4. Mikroklimate nederst på søyler.

Ut fra kunnskap om disse forhold og hvordan værpåkjening også gir innvirkning på betongoverflatenes utseende, er det gitt veiledning om planlegging av inspeksjoner. Dette vil bidra til at kloridinntrengning kan undersøkes systematisk med færre prøver og mindre innsats.

På grunnlag av erfaringene fra de omfattende spesialinspeksjonene som ble gjennomført i prosjektet er det gitt oversikt og anbefalinger om inspeksjonsmetoder. Erfaringene er også konkretisert med forslag til spesiell beskrivelse som dels supplerer og dels foreslår endringer i forhold til Prosesskode-2 /1/.

Spesialinspeksjoner med omfattende materialundersøkelser kan ende opp med en datamengde det er vanskelig å få full oversikt over. I prosjektet er resultatene og registre-ringene ved inspeksjonene lokalisert i samsvar med bruas lokaliseringssystem og tegnet inn på utbrettet overflatetegninger. Denne framstillingsmåten anbefales videre fordi det gir bedre oversikt og større sikkerhet i tolkningen av inspeksjonsresultatene med hensyn på omfang av tiltak.

Det er påpekt at det er viktig med inspeksjoner også etter at vedlikeholdstiltak er utført. Dette for å verifisere hvorvidt vedlikeholdstiltakene er utført som beskrevet, og for «tid-null registreringer» for den videre tilstandsutviklingen for brua.

11.2 Tilstandsvurdering og valg av vedlikeholdstiltak

Kostnadseffektivt vedlikehold forutsetter at man klarer å tolke inspeksjonsresultatene riktig. Denne tolkningen er fortsatt noe av det aller vanskeligste i bruvedlikeholdet. I OFU-prosjektet har en kunnet tilføre og illustrere en del nytt omkring omsetningen av inspeksjonsresultater til valg av vedlikeholdstiltak.

Det er dokumentert at «kritisk kloridinnhold for korrosjon» og «potensial som betyr korrosjon», ikke er enkelttall men svært varierende størrelser. Det advares derfor mot for bokstavelig og «firkantet» tolkning av disse måleresultatene hver for seg. Det er gitt anbefaling om og veiledning for systematikk i måleopplegg slik at resultatene av ulike typer målinger kan benyttes samlet. Usikkerheten i konklusjonen reduseres dersom trenden i hver for seg usikre måleresultater er den samme.

Betydningen av statiske vurderinger som grunnlag ved valg av vedlikeholdsmetode er illustrert i prosjektet. Erfaringene har vist at en skal være meget forsiktig med frimeisling av armeringsjern i trykksoner og skjøteområder. Langtids kryp i betongmaterialet kan ha medført andre spenningsforhold i betong og armering enn enkle betraktninger skulle tilsi.

Statiske beregninger kan også benyttes for å se hvor en kan og hvor en ikke kan ta noen sjanser med hensyn til vedlikeholdsmetoder. Dette er utnyttet i prosjektet ved at rimelige vedlikeholdsmetoder som det var knyttet usikkerhet ved om ville fungere, ble testet ut på områder hvor det fortsatt var gode marginer med hensyn til armeringskorrosjon.

At valgte vedlikeholdstiltak er kostnadseffektive bør påvises konkret med tall. I prosjektet er de økonomiske konsekvensene av slike vedlikeholdsstrategier og -metoder illustrert med nåverdiberegninger. For at slike beregninger skal være pålitelige, må en imidlertid ha gode data for levetid og vedlikeholdsfrekvens for de metodene som vurderes. Slike data mangler en fortsatt, men likevel gir nåverdiberegningene et rimelig godt holdepunkt for de valg som må gjøres.

11.3 Material- og produktutvikling

I prosjektet er det tenkt gjennom hvordan og på hvilke stadier det bør stilles krav til materialer og produkter. Kravene bør stilles i samsvar med den måten en ønsker ansvar skal være fordelt mellom byggherre, utførende entreprenør og materialleverandør. Dette har ført til at funksjonskrav stilles til ferdig produkt, dvs. materiale og utførelsesprosedyre brukt på konstruksjonen, og til materialets egenskaper i herdnet tilstand ved standardisert laboratorieprøving. Materialeegenskaper i utførelsesfasen og selve utførelsesprosedyren er forhold som hører hjemme i kontaktflaten entreprenør/materialleverandør.

11.4 Mekanisk reparasjon

Mekanisk reparasjon er den benevnelsen som benyttes for bortmeisling av skadet betong, rengjøring av underlaget og fylling av såret med ny mørtel. Mekanisk reparasjon er den typen reparasjon som tradisjonelt har vært mest benyttet, uansett skadeårsak og skadegrad.

I OFU-prosjektet har en ufrivillig fått demonstrert en av denne reparasjonsmetodens begrensninger. Til tross for en konservativ meislingsplan basert på statiske beregninger og vurderinger, fikk en under utførelsen problemer med utknekking av frimeislet armering. Dette viser at en skal være meget forsiktig med å anvende denne metoden der armeringen står under trykkrefter og der armeringen skjøtes. Bruk av metoden på for store arealer om gangen der det er slike forhold kan skade konstruksjonen betydelig. Bruk av metoden begrenses også ved at en ikke kan meisle bort større deler av betongverrsnittet enn at lastene fortsatt kan overføres.

Mekanisk reparasjon er imidlertid selvskreven å utføre der det er lokale svakheter ved betongen eller ovennevnte begrensninger ikke gjelder.

Et viktig resultat i prosjektet er anvisningen om hvordan sår skal utformes ved mekanisk reparasjon. Dersom sårene skal gjenmørtles ved sprøyting, må sårene avsluttes med meislet flate ca. 45° i forhold til betongoverflaten for at en skal kunne sprøyte vinkelrett på underlaget. Denne sårutformingen kan med fordel benyttes også hvor sårene

gjenmørtles ved håndmørtling. Skjæring med sag eller vinkelsliper 90° på betongoverflata gir en glatt flate hvor det lett oppstår heftbrudd og riss, dessuten blir det umulig å sprøyte vinkelrett på sårkanten.

I prosjektet er det utviklet nye mørtler med redusert svinn i den tidlige herdeperioden, både sprøytemørtel og håndmørtel. Lavt svinn i den tidlige herdeperioden, mens heft utvikles til underlaget, er identifisert som en viktig parameter for å oppnå mørtelreparasjoner uten riss. Mangel på standardiserte prøvningsmetoder gjør det imidlertid fortsatt vanskelig å kvantifisere kravene til denne viktige parameteren. Et annet problemområde er utvikling av prøvemetoder for sprøytemørtler der prøvestykkene støpes ut på en slik måte at de får de samme egenskapene som sprøytemørtel i felt. Ved å løse dette vil det være mulig å foreta dokumentasjonsprøving av sprøytemørtler med hensyn på svinn (etter uttørring i 1-28 døgn) og svelling.

Mørtelreparasjoner skal fungere som en del av konstruksjonen, og bør ha mekaniske egenskaper mest mulig lik den omgivende betongen samtidig som heften bør være god. Dersom det seinere blir aktuelt å installere katodisk beskyttelse, må mørtelreparasjonene fungere tilsvarende betongen også når det gjelder elektrokjemiske egenskaper. Disse ønskemålene er til dels innbyrdes motstridende, og en må velge et kompromiss. Dessuten har en i prosjektet fått en klar bevissthet om at selve heftsonen mellom reparasjonsmørtelen og underlaget kan ha diffusjonstetthet, elektrisk motstand osv. som er mer avgjørende for reparasjonens egenskaper enn materialparametrene for selve mørtelen.

En usikkerhet ved mekaniske reparasjoner i kloridholdig betong, er hvorvidt korrosjonen øker i overgangssonen mellom reparerte og ikke-reparerte områder. I prosjektet er det utprøvd mørtler med inhibitor for å undersøke om dette påvirker eventuelle korrosjonsproblemer i overgangssonene. Resultater fra bruk av inhibitor i felt foreligger ikke ennå, men dette blir fulgt opp i årene som kommer.

11.5 Overflatebehandling

Prosjektet har gitt en rekke resultater som viser hvilken avgjørende betydning klimaet har for valg av overflatebehandlingstype og dens virkning. Det høye fuktinnholdet i betongen, som er et resultat av det kystklimaet Gimsøystraumen bru står i, innebærer en ekstra vanskelighet for overflatebehandlingsmidler.

Impregnering med hydrofoberende midler er en enkel vedlikeholdsmetode som det har vært stilt høye forventninger til. I prosjektet er det klart at inntrengningsdybde er et avgjørende kvalitetskriterium for hydrofobering. Det høye fuktinnholdet i tillegg til betongkvaliteten gjør det vanskelig for impregneringen å trenge inn. Hydrofoberingsmaterialet er ikke UV-stabilt, slik at den materialfilmen som legger seg på overflaten må påregnes å få en kortvarig levetid. Om impregneringsmaterialet legger seg på

overflaten og ikke trenger inn, viser det seg også at overflatens diffusjonstetthet øker vesentlig.

Det gjenstår fortsatt å avklare hvilke grenseverdier for fukt i betongunderlaget som kan tolereres ved påføring av hydrofoberende impregnering. Levetiden for en vellykket og en mislykket hydrofobering gjenstår også å dokumentere. Imidlertid synes følgende prosjektresultater å være ganske klare:

1. En må fokusere langt sterkere på fuktinnhold i betongen når hydrofoberende impregnering skal benyttes. Som et absolutt minimum må betongoverflaten være «lysgrå tørr» når impregnering påføres.
2. For rengjøring av underlaget bør sandblåsing benyttes. Denne åpner sement huden for inntrenging av hydrofoberingen uten at fukt tilføres. Andre metoder bør ikke benyttes uten at det er påvist på prøvefelt at dette er tilrådelig.
3. Til impregnering bør det benyttes 100 % silan uten løsemidler, fordi denne har best inntrengning i fuktig betong.
4. Kontroll av inntrengningsdybde er en meget viktig kontroll, og må benyttes fortløpende under impregneringsarbeidet.

Det arbeides kontinuerlig med utvikling av nye hydrofoberingsmaterialer. Det pågår for tiden utprøving av hydrofobering med kremkonsistens slik at materialet kan smøres på. Dette vil forhåpentligvis sikre bedre inntrengningsdybde. Usikkerheter er materialforbruk (og dermed pris) og egenskaper som vanddampdiffusjon.

I prosjektet er det utført omfattende arbeider med belegg og kombinasjonsløsninger. Kombinasjonen av ett strøk silan-impregnering pluss ett eller to strøk (avhengig av krav til fargejevnhet) av tynnfilmsmaling på acrylat-basis synes å være en svært lovende løsning.

I prosjektet er det også utviklet et sprøytbart sement/lateks tykkfilmsbelegg med rissoverbyggende egenskaper. Belegget har vist meget gode hefteegenskaper selv på underlag med høyt fuktinnhold, og har dessuten gunstige diffusjonsegenskaper. Dette er trolig den sikreste av de overflatebehandlings-løsningene prosjektet har kommet fram til. I tillegg kan materialets egenskaper i mange tilfeller utnyttes for å optimalisere reparasjonsprosedyren ved mekaniske reparasjoner. Dette gjøres ved å bruke det sement/lateks-baserte tykkfilmsbelegget som membranherdner på fersk sprøytemørtel. Brukt på denne måten slipper en å bruke primer før påføring av belegget.

Når det gjelder herdeplastbelegg, er to sprøytbare systemer utprøvd i prosjektet. Disse er et sement/epoxy-system og et epoxy/polyuretan-system. Disse materialene er benyttet offshore siden 1972, og viser interessante resultater med hensyn på heft, kloridbremsende egenskaper og bestandighet.

Varigheten av OFU-prosjektet har vært for kort til at en definitivt kan fastslå effektene og levetiden for de overflatebehandlingstypene som er testet. Noen indikasjoner om effektene har en likevel:

1. Fuktinnholdet i betongen bakom en diffusjonsåpen overflatebehandling reduseres ikke, man oppnår ingen uttørking av konstruksjonen. Fuktinnholdet stabiliseres imidlertid på et nivå i likevekt med luftens gjennomsnittlige fuktinnhold, og betongens fuktutveksling med omgivelsene reduseres.
2. Oksyngrensestrømmålinger viser at oksygentilgangen til armeringen reduseres bakom en overflatebehandlet betongflate. Dette kan være et resultat av at fuktinnholdet stabiliseres og at fuktutvekslingen reduseres. En kan håpe på at redusert oksygentilgang vil føre til redusert korrosjonshastighet, men det er også en mulighet for at det kun vil føre til dannelsen av andre korrosjonsprodukter med mindre sprengende virkning.
3. I hvilken grad overflatebehandlingen har ført til redusert kloridinntrengning eller utjevning av kloridprofilen har en ikke kunnet fastslå i løpet av den korte tiden. Det ansees imidlertid høyst trolig at overflatebehandlingene bremser den videre kloridinntrengningen.

At den elastiske akrylemulsjons tykkfilmsmalingen som ble forsøkt i prosjektet viste seg ikke å herde i det fuktige kystklimaet, understreker bare at en må være omtensksom ved valg av overflatebehandling i slikt klima.

11.6 Prøvningsmetoder

Mangelen på pålitelige prøvningsmetoder er et problem både med tanke på dokumentasjonsprøving og kontroller i felt.

For både håndmørtler og sprøytemørtler er lavt svinn i den tidlige herdeperioden identifisert som en viktig materialegenskap. Imidlertid gjør mangelen på en standardisert prøvningsmetode det fortsatt vanskelig å kvantifisere krav til denne parameteren. Utvikling og standardisering av en slik metode anses som viktig og bør arbeides med i laboratoriemiljøene.

En ytterligere begrensning for dokumentasjonsprøving av sprøytemørtler er utstøping av prøvestykker i laboratoriet med tilsvarende materialegenskaper som sprøytebetong i felt. Dersom dette blir løst, kan det stilles dokumentasjonskrav til viktige materialegenskaper som svinn og svelling også for sprøytemørtler.

En materialegenskap som er viktig for hvordan betong fungerer som elektrolytt og som dermed er av betydning for armeringskorrosjon, er betongens elektriske motstand/

resistivitet. Imidlertid har måling av dette gitt så store variasjoner at det ikke har vært mulig å tallfeste krav til elektrisk motstand/resistivitet for hverken hånd- eller sprøytemørtel. En prøvningsmetode bør også inkludere selve heftsonen mot underlaget, da denne kan ha spesiell betydning både for den elektriske motstanden og for fuktvandringen.

I forbindelse med overflatebehandlinger er også mye ugjort når det gjelder prøvningsmetoder.

For impregnering savnes en pålitelig feltprøvningsmetode for måling av impregneringens effekt etter påføring. To prinsipper har vært prøvd i prosjektet; elektrisk motstand i overflaten og vannoppsug. Det eksisterer flere varianter (typer av måleutstyr/ måleprosedyrer) av disse to måleprinsippene, men erfaringene i prosjektet har vært at metodene ikke har gitt reproducerbare resultater som har kunnet danne grunnlag for krav til impregnering etter påføring i felt. Det hadde også vært ønskelig med en standardisert testmetode for impregneringer og andre overflatebehandlings aldrings- og værbestandighet.

En problemstilling i forbindelse med overflatebehandlinger er overflatesjiktets tetthet og tilhørende fare for avflassing og frostsprengning. Det savnes prøvningsmetoder både for å måle tetthet direkte og for å måle den totale behandlingens frostbestandighet. I Reparasjonsanbefalingen er dette foreslått ivaretatt ved å stille krav til frostbestandighet for impregnert betong og krav til vanndamppermeabilitet for filmdannende belegg. Vanndamppermeabilitet synes ikke å være en uproblematisk test. Resultatene fra testing av vanndamp-permeabilitet viser stor sprik. Dessuten kan selve prøvningsmetoden diskuteres. I prosjektet er NT Build 369 benyttet. I denne prøvningsmetoden skjer transporten av vanndamp først gjennom en overflatebehandling og deretter gjennom et betongsjikt, mens det er den motsatte damptransporten som kan føre til problemer i felt.

Krav til frostbestandighet er stillet i henhold til SS 137244 som er en betongstandard. Kravet er formulert slik at impregnering ikke skal forverre frostbestandigheten til en referansebetong. For filmdannende belegg er det ikke mulig å stille krav i henhold til SS137244, da intakte belegg ikke slipper vann i gjennom og betongen dermed ikke blir påkjent av frostsprengning.

I Reparasjonsanbefalingen er krav til materialer i flere tilfeller stillet i henhold til SINTEF metodebeskrivelser som ikke er standardiserte. Dette er ikke en god løsning. Det som er ønskelig i stedet for de laboratorieinterne metodebeskrivelsene, er å kunne stille krav til standardiserte metoder. Dette er en problemstilling for følgende materialkrav:

- pH i porevann til reparasjonsmørtler
- motstand mot kloridinntrengning etter saltpåsprøyting i saltkammer
- inntrengningsdybde for impregnering
- løsningsevne for asfalt.

Utvikling av prøvningsmetoder er en svært tung og tidkrevende prosess. I prosjektet har dette vært en svært viktig aktivitet, og prosjektets anbefalinger er implementert i forslagene til spesiell beskrivelse.

11.7 Fremtidig utvikling og langsiktig oppfølging

Fortsatt utvikling av materialer og metoder for vedlikehold og reparasjon av betongbruer i kystklima er en kontinuerlig utfordring. Det er viktig å være åpen for nye metoder og nyttiggjøre seg ny teknologi. Imidlertid må Statens vegvesen være konservativ og kreve fylldig og relevant dokumentasjon av brukbarheten til nye vedlikeholds- og reparasjonsmetoder. Det er også viktig å være oppmerksom på at stadig sterkere fokus på HMS vil sette begrensninger på anvendelse og håndtering av materialer i fremtiden.

Det vil bli foretatt en videre oppfølging av de utførte prøvereparasjonene 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 overvåknings-systemet og ved jevnlig inspeksjoner og kontrollmålinger på brua.

Problemstillinger som det blir sett nærmere på i oppfølgingsprosjektet er:

1. Bestandighet av mekaniske reparasjoner i områder med kloridholdig betong
2. Effekt av inhibitorer i reparasjonsmørtler på eventuell korrosjonsaktivitet
3. Kloridutjevning i reparasjonsmørtler
4. Bestandighet og heft av ulike overflatebehandlinger i kystklima
5. Kloridbremsende egenskaper for ulike overflatebehandlinger
6. Effekt av ulik forbehandling (rengjøring) før overflatebehandling
7. Utjevning av klorider bak overflatebehandling
8. Overflatebehandlings betydning for fukt i betong, oksygentilgang til armering og korrosjonsaktivitet
9. Brukbarheten av ulike instrumenterings- og overvåkningsteknikker med hensyn på korrosjonsovervåking i kystklima.

Resultatene fra oppfølgingsprosjektet vil i første rekke bli kanalisert gjennom revisjoner av denne Reparasjonsanbefalingen og prosjektets Instrumenteringsanbefaling /25/.

12. Referanser

Fortrolige rapporter og notater er merket med *.

- /1/ Statens vegvesen: *Prosesskode-2; Standard arbeidsbeskrivelse for bruer og kaier*. Håndbok 026. Vegdirektoratet 1997.
- /2/ Statens vegvesen: *Inspeksjonshåndbok for bruer*. Håndbok 136. Vegdirektoratet 1998.
- /3/ Statens vegvesen: *Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer*. Håndbok 147. Vegdirektoratet 1997.
- /4/ Statens vegvesen: *Laboratorieundersøkelser*. Håndbok 014. Vegdirektoratet 1998.
- /5/ Statens vegvesen: *Feltundersøkelser*. Håndbok 015. Vegdirektoratet 1997.
- /6/ OFU Gimsøystraumen bru - Sluttrapport: *Prøvereparasjon og produktutvikling*. Veglaboratoriets publikasjon nr. 84. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet 1997.
- /7/ OFU Gimsøystraumen bru - Sluttrapport: *Klimapåkjennning og tilstandsvurdering*. Veglaboratoriets publikasjon nr. 85. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet 1998.
- /8/* Videm, K. og Myrdal, R.: *Vurdering av EKP-målinger og Gecor 6*. Prosjektrapport P-97-044. OFU Gimsøystraumen bru. 02/1997.
- /9/ Vegdirektoratet, Bruavdelingen: *Anbefalinger for bruk av ElektroKjemisk Potensialmåleutstyr (EKP)*. BRU Rapport nr. 94-16. 1994.
- /10/* Sellevold, E. J.: *Betongens fukttilstand*. Prosjektrapport P-96-043. OFU Gimsøystraumen bru. 01/1997.
- /11/ Rådgivende Ingeniørers Forening: *Norm for betongrehabilitering, Tekniske bestemmelser*. 1993.
- /12/ Vegdirektoratet, Bruavdelingen: *Godkjenningsordning for vannmeislingsutstyr*. 1995.
- /13/ Rannem Isaksen, H.: *Utvikling av kloridbestandig betong*. Fra: Norsk Betongdag 1997. Norsk betongforening. Oslo 1997.
- /14/ Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling: *Krav til dokumentasjon av kloridbremsende produkter til overflatebehandling av betong*. Intern rapport nr. 2034. 1998.

-
- /15/ Vegdirektoratet, Bruavdelingen: *Anbefaling for bruk av overflatebehandling på betongbruer*. BRU Rapport nr. 94-06. 1994.
- /16/ Sasse, H. Reiner et al.: *Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen - Sachstandsbericht*. Deutsches Ausschuss für Stahlbeton, Heft 443. Beuth Verlag, Berlin 1994.
- /17/ Byggforsk: *Measurement of chlorides in concrete - Sampling techniques*. NBI Project Report no 137. 1993.
- /18/ Byggforsk: *Measurement of chlorides in concrete - An evaluation of three different analysis techniques*. NBI Project Report no 110. 1992.
- /19/ Tuutti, K.: *Corrosion of steel in concrete*. CBI 4:82. Cement och betonginstitutet. Stockholm 1982.
- /20/ Maage, M., Carlsen, J. E. and Helland, S.: *Service Life Prediction of Concrete in Marine Environment*. In: Proceedings of the International Conference Repair of Concrete Structures, May 1997, Svolvær, Norway.
- /21/ Steen, P. E.: *Systematic Bridge Inspection, Condition Assessment and Service Life Prediction*. In: Proceedings of the International Conference Repair of Concrete Structures, May 1997, Svolvær, Norway.
- /22/ Poulsen, E.: *Four-parametric Descriptions of Marine Exposure and Concrete's Response to its Chloride Intensity*. In: Proceedings of the International Conference Repair of Concrete Structures, May 1997, Svolvær, Norway.
- /23/ Fredriksen, J. M. and Poulsen, E.: *A Danish Manual for Design and Execution of Reinforced Concrete Infrastructures Exposed to Chloride*. In: Proceedings of the International Conference Repair of Concrete Structures, May 1997, Svolvær, Norway.
- /24/ Vegdirektoratet, Veglaboratoriet: *Bruk av overdekningsmålere*. Intern rapport nr. 1784. 1995.
- /25/ OFU Gimsøystraumen bru: *Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåkning av kystbruer i betong*. Veglaboratoriets publikasjon nr. 88. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet 1998.
- /26/ Norges Standardiseringsforbund: *Årskostnader for bygninger*. NS 3454. 1988.
- /27/ Vegdirektoratet, Bruavdelingen: Prosjekt «Utvikling av kloridbestandig betong». Ennå upubliserte data fra søyle-elementer, Kristiansand.

/28/ Claus K. Larsen: *Chloride binding in concrete; The effect of concrete composition and environment*. Dr. ing. avhandling NTNU. 1998.

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



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:
Klimapåkjennning 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*