

# **Veiledning i metoder for utbedring av karbonatisert betong i verneverdige bygninger**



Januar 2004

Jan Lindland, Stærk & co

## Forord

Utbedring av betongskader på verneverdige betongkonstruksjoner reiser en del antikvariske problemstillinger som kan være avgjørende for valg av utbedringsmetoder. Slike problemstillinger har til nå i liten grad vært omtalt. Ettersom stadig flere byggverk med betongkonstruksjoner blir verneverdige, har Riksantikvaren finansiert denne veiledningen som beskriver ulike metoder for utbedring av **karbonatisert** betong på verneverdige bygninger.

Veiledningen omhandler metodene mekanisk reparasjon, elektrokjemisk realkalisering, katodisk beskyttelse, korrosjonsinhibitorer og preventiv overflatebehandling.

Veiledningen beskriver bygningsmessige, antikvariske og drifts-/vedlikeholdsmessige konsekvenser for de ulike metodene. Den antikvariske vurderingen har omfattet hovedelementene arkitektur, inngrep, materialer og byggemetode, reversibilitet og lesbarhet.

Veiledningen er utarbeidet av Stærk & Co. a.s ved rådgivende ingeniør MRIF Jan Lindland. Kontaktperson hos Riksantikvaren har vært Håvard Christiansen. Dersom ikke annet er angitt er fotos tatt av Jan Lindland.

Forsidefoto viser et typisk skadebilde på grunn av armeringskorrosjon fra fasaden til spinnerbygningen på Sjølingstad Uldvarefabrik.

Rapporten er også tilgjengelig på <http://www.ra.no>

Oslo, januar 2004

## Innholdsfortegnelse

<b>Forord .....</b>	<b>1</b>
<b>Innholdsfortegnelse.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Innledning .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Karbonatisering .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Utbedringsmetoder .....</b>	<b>6</b>
3.1 Generelt .....	6
3.2 Tilstandsanalyse og antikvarisk vurdering .....	6
<b>4. Mekanisk reparasjon .....</b>	<b>9</b>
4.1 Metodebeskrivelse.....	9
4.2 Bygningsmessige konsekvenser.....	10
4.3 Antikvariske konsekvenser .....	11
4.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser.....	12
<b>5. Elektrokjemisk realkalisering .....</b>	<b>13</b>
5.1 Metodebeskrivelse.....	13
5.2 Bygningsmessige konsekvenser.....	14
5.3 Antikvariske konsekvenser .....	16
5.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser.....	17
<b>6. Katodisk beskyttelse.....</b>	<b>18</b>
6.1 Metodebeskrivelse.....	18
6.2 Bygningsmessige konsekvenser.....	19
6.3 Antikvariske konsekvenser .....	19
6.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser.....	21
<b>7. Korrosjonsinhibitorer .....</b>	<b>22</b>
7.1 Metodebeskrivelse.....	22
7.2 Bygningsmessige konsekvenser.....	22
7.3 Antikvariske konsekvenser .....	22
7.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser.....	23
<b>8. Preventiv overflatebehandling.....</b>	<b>24</b>
8.1 Metodebeskrivelse.....	24
8.2 Bygningsmessige konsekvenser.....	24
8.3 Antikvariske konsekvenser .....	25
8.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser.....	27
<b>9. Sammenstilling.....</b>	<b>28</b>
9.1 Generelt .....	28
9.2 Mekanisk reparasjon.....	28
9.3 Elektrokjemisk realkalisering .....	28
9.4 Katodisk beskyttelse.....	28
9.5 Korrosjonsinhibitorer .....	29
9.6 Overflatebehandling .....	29
<b>Litteraturliste.....</b>	<b>30</b>

## 1. Innledning

Betong har vært det dominerende byggematerialet i det tjuende århundret. Som andre materialer blir betong utsatt for ulike kjemiske, biologiske og fysiske nedbrytningsmekanismer. De siste 25 årene har bransjen satt fokus på betongskader. Det har vært og er en kontinuerlig utvikling innen fagområdet når det gjelder utbedringsmetoder.

Etter hvert som flere byggverk med betongkonstruksjoner blir verneverdige, reises flere antikvariske problemstillinger som kan være avgjørende for valg av utbedringsmetode. Slike problemstillinger har så langt vært viet liten oppmerksomhet. Dette skyldes dels at forskningsinstitutter og forvaltningsinstanser for kulturminner har liten erfaring med reparasjon og vedlikehold av betongkonstruksjoner.

Riksantikvaren gjennomførte derfor et forprosjekt i år 2000, der en utredet antikvariske, bygnings-, drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser for aktuelle utbedringsmetoder der skader skyldes karbonatiseringsinitiert armeringskorrosjon på fasader. Siden ulike metoder kan benyttes til utbedring av betongskader, gjennomførte Riksantikvaren i 2001-2002 et prosjekt der en vurderte hvordan antikvariske/kulturhistoriske verdier var ivaretatt på gjennomførte prosjekt. I tillegg vurderte en også bygnings-, drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser.

Med bakgrunn i ovennevnte har Riksantikvaren finansiert denne veiledningen for planlegging av og beslutning om utbedring av betongskader som skyldes karbonatiseringsinitiert korrosjon på fredete og verneverdige bygninger.



*Fig. 1  
Eksempel på betongskader på grunn  
av armeringskorrosjon på fredet  
bygning.*

Formålet med veiledningen er dels å gi kulturminneforvaltningen innsikt i de ulike reparasjonsmetodene og synliggjøre konsekvensene av disse, og dels å gi byggebransjen forståelse for antikvariske vurderinger ved valg av reparasjonsmetode.

De ulike antikvariske konsekvensene som omtales er ikke forsøkt veiet opp mot hverandre. Dette må gjøres i hvert enkelt prosjekt. Ofte kan bygningsmessige konsekvenser og antikvariske konsekvenser peke i hver sin retning. I hvert enkelt prosjekt må derfor de ulike konsekvensene vurderes hver for seg og samlet.

## 2. Karbonatisering

Karbonatisering er en naturlig kjemisk prosess som oppstår når en betongoverflate er i kontakt med luft. Lufta diffunderer langsomt inn i betongen. Karbondioksidet i lufta og vann reagerer kjemisk med bestanddeler i betongen (kalsiumhydroksidet) slik at det dannes kalsiumkarbonat. Denne prosessen kalles karbonatisering og medfører at betongens pH-verdi reduseres til 8-9.

Fersk betong er sterkt alkalisk med en pH-verdi i området 12,5-14. Dette skyldes det høye innholdet av kalsiumhydroksid og alkalier fritt oppløst i betongens porevann. Pga. den høye pH-verdien dannes en tett korrosjonsbeskyttende oksidfilm rundt armeringen. Når den korrosjonsbeskyttende oksidfilmen blir ødelagt, er ikke armeringen lenger korrosjonsbeskyttet, og armeringen vil begynne å korrodere ved tilgang på luft og fuktighet (RF>65%). Den korrosjonsbeskyttende filmen brytes ned når pH-verdien kommer under 9,5 - noe som skjer ved karbonatisering. Rustproduktet som dannes ved korrosjon, har et volum som er vesentlig større (opptil 5-7 ganger) enn jernet. Volumutvidelsen medfører en sprengvirkning inne i betongen. Når sprengkraften blir større enn betongens strekkfasthet, oppstår først riss og deretter avskallinger – såkalt rustsprengning. Eksempel på rustsprengning er vist på figur 2.1.



Fig. 2.1  
Avskallingskader på grunn av rustsprengning.

Karbonatiseringshastigheten er størst til å begynne med i yttersjiktet av betongen, og avtar gradvis innover i betongen ettersom tykkelsen på det karbonatiserte (ytter)sjiktet øker. Skillet mellom karbonatisert og ukarbonisert betong kalles karbonatiseringsfronten. Først når karbonatiseringsfronten når armeringen, kan korrosjonen starte. De ulike stadiene i karbonatiseringsprosessen er vist på figur 2.2. Ved å måle karbonatiseringdybden og armeringens overdekning og sammenholde disse måleresultatene, vil en kunne vurdere faren for armeringskorrosjon.

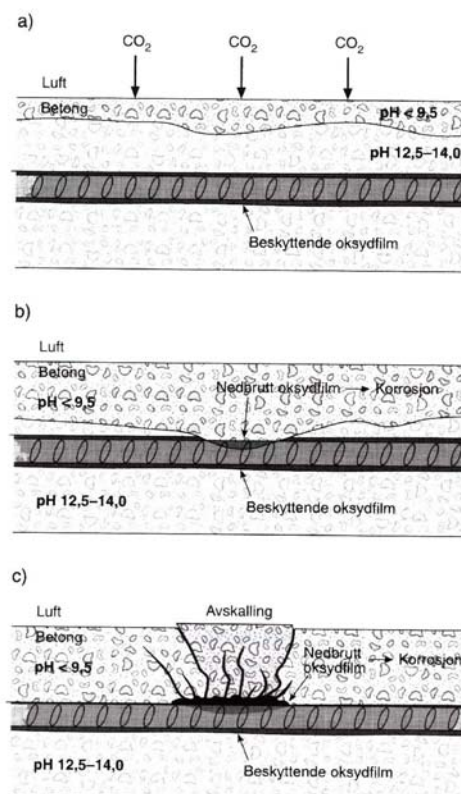


Fig.2.2  
De ulike stadiene i karbonatiseringsprosessen. /8/

Karboniseringshastigheten varierer med fuktigheten i betongen. Tørre og fuktige betongkonstruksjoner karbonatiserer meget langsomt. Karboniseringshastigheten er størst ved en relativ fuktighet (RF) i området 40-60%, ref. figur 2.3.

Fig. 2.3  
Karboniseringshastigheten ved ulike fuktighetsnivåer i betongen. /8/

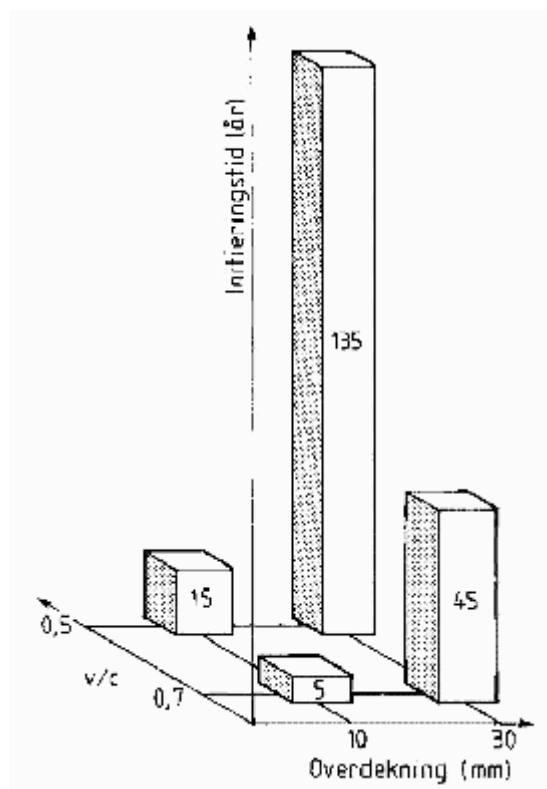
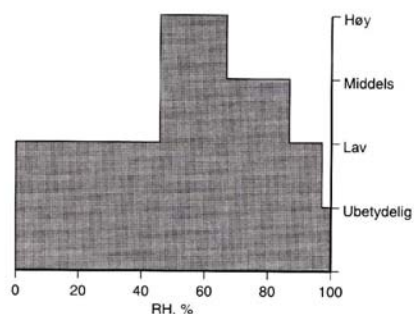


Fig. 2.4  
Sammenhengen mellom initieringstid, v/c-tall og overdekning /10/. v/c-tall beskriver forholdet mellom vann og sement i fersk mørtel.

Armeringens overdekning og tettheten i betongoverdekningen har mest å si for hvor lang tid (initieringstiden) det tar før karboniseringsfronten når armeringen. God betongkvalitet (lavt v/c-tall) og god overdekning er avgjørende for levetiden for en betongkonstruksjon mht. karbonatisering. Figur 2.4 viser sammenhengen mellom initieringstid, v/c-tall og overdekning.

For uarmerte betongkonstruksjoner er karbonatisering positiv, fordi en får noe tettere betong med noe høyere trykkfasthet. Uten armering i betongen får man heller ingen rustsprengning.

For mer utfyllende litteratur henvises til publikasjonene /2/, /3/ og /8/ i vedlagte litteraturliste.

### 3. Utbedringsmetoder

#### 3.1 Generelt

Følgende utbedringsmetoder benyttes ved utbedring av betongskader som skyldes karbonatisert betong:

- mekanisk reparasjon
- elektrokjemisk realkalisering
- katodisk beskyttelse
- korrosjonsinhibitorer
- preventiv overflatebehandling

Det er vanlig å kombinere flere av metodene på samme flate. For eksempel kombineres mekanisk reparasjon med preventiv overflatebehandling. Ved elektrokjemisk realkalisering og katodisk beskyttelse utføres alltid reparasjon av synlige skader i forkant. Likeledes vil mange prosjekter også omfatte overflatebehandling, selv om denne ikke er ment å ha en skadeforebyggende (preventiv) funksjon. Sammenhengene er søkt vist på figur 3.1.

Videre kan skadebildet være forskjellig på ulike flater på samme byggverk. Det kan derfor være aktuelt å benytte forskjellige metoder på ulike flater/konstruksjonsdeler.

Generelt kan en si at utbedringsarbeider ikke må utføres ved temperaturer lavere enn +5°C.

Etterfølgende kapitler gir en enkel beskrivelse av de ulike metodene samt en vurdering av bygningsmessige, antikvariske og drift-/vedlikeholdsmessige konsekvenser for de ulike metodene. For mer utfyllende beskrivelse av metodene henvises til publikasjonene /2/, /4/ og /5/ i vedlagte litteraturliste.

Veiledningen gir ingen fasitsvar på hvilken metode som tar best hensyn til de kulturhistoriske eller arkitektoniske verdiene. Dette vil være avhengig av skadebildet, type betongoverflate, puss og overflatebehandling. Imidlertid vil veiledningen peke på hvilke forhold som må vurderes før reparasjonsmetode velges, men også hvilke forhold som krever ekstra oppfølging etter at metode er valgt.

Det anbefales å etablere et prøvefelt på bygningen med den mest aktuelle reparasjonsmetoden for å se hvordan metoden fungerer og hvilke konsekvenser metoden medfører.

#### 3.2 Tilstandsanalyse og antikvarisk vurdering

Utbedring av betongskader må ikke igangsettes uten at det i forkant er gjennomført en grundig tilstandsanalyse. Hensikten med tilstandsanalysen er å kartlegge skadeårsak samt vurdere skadeomfang, skadekonsekvens og aktuelle utbedringstiltak. Tilstandsanalysen må også omfatte nødvendig prøvetaking for å bestemme opprinnelige materialer.

En tilstandsanalyse bør omfatte en visuell undersøkelse av hele konstruksjonen og en detaljundersøkelse på et begrenset antall steder. Før en setter i gang med tilstandsundersøkelsen er det viktig å få fremskaffet mest mulig relevant informasjon om konstruksjonen, som for eksempel armeringstegninger, beskrivelse, anbudsdokumenter, materialresepter, produktdatablad, etc. Erfaringer viser at denne type informasjon gjør at en får et langt bedre grunnlag for å kunne velge type prøving/undersøkelse, prøveomfang og prøvested.

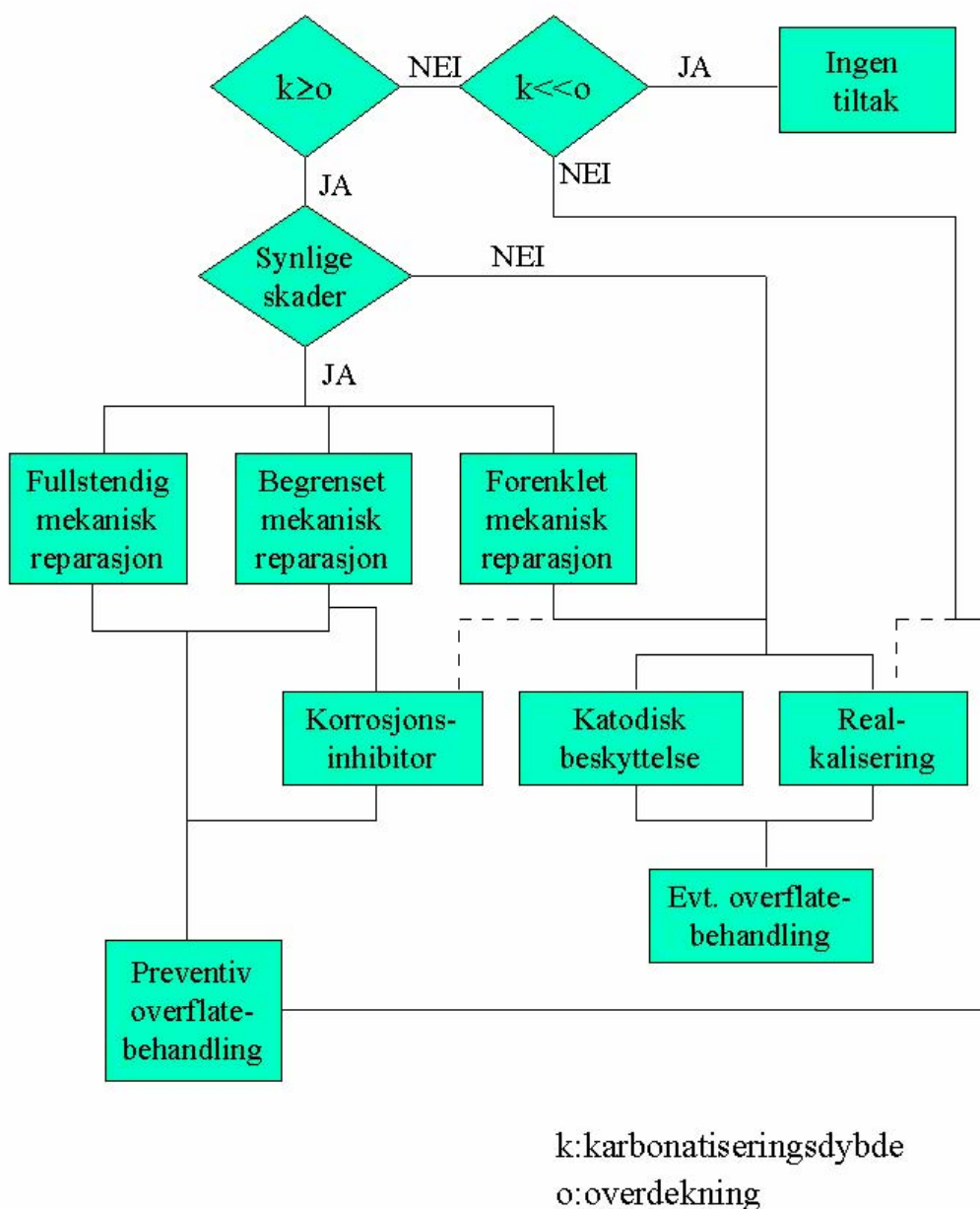


Fig. 3.1  
Utbedringsmetoder for karbonatisert betong. (Jan Lindland)

Når det gjelder karbonisering, er det helt sentralt å få undersøkt om hele eller deler av konstruksjonen er armert. Dernest er det viktig å få undersøkt hvor stor karboniseringsdybden er i forhold til armeringens overdekning.

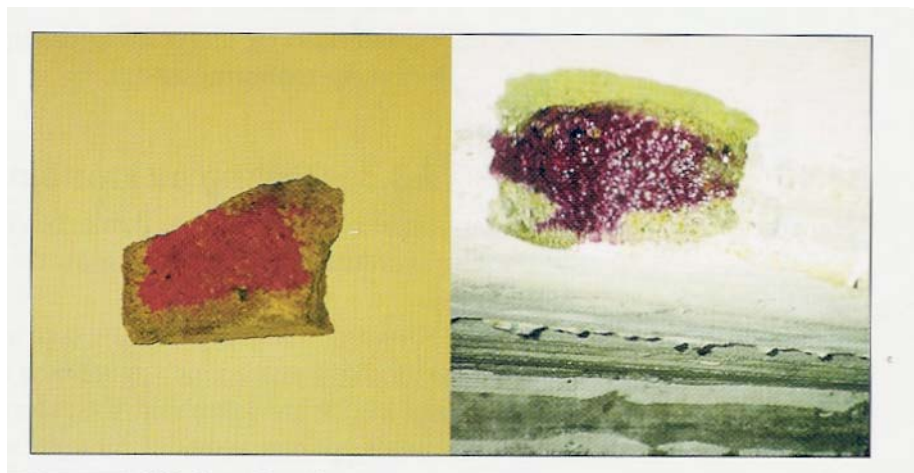
Følgende undersøkelser bør alltid inngå i en tilstandsanalyse:

- måling av karboniseringsdybde
- måling av armeringens overdekning
- måling av rissvidder
- kartlegging av bomskader
- uttak av materialprøver for bestemmelse av eksisterende og opprinnelig overflatebehandling og pusstype



I tillegg kan det være aktuelt med:

- uttak av borkjerner for måling av trykkfasthet
- måling av heftfasthet
- måling av armeringskontinuitet



*Fig. 3.2  
Påvisning av karboniseringsdybde – rødfiolett fargeutslag indikerer ukarbonisert betong /9/*

For mer utfyllende beskrivelse av tilstandsanalyse henvises til publikasjon /7/ i vedlagte litteraturliste.

I tillegg til en ren teknisk tilstandsanalyse er det viktig for verneverdige bygninger at det foreligger en antikvarisk vurdering av bygningen inkludert hvilke kulturhistoriske og arkitektoniske verdier det er viktig å ivareta.

## 4. Mekanisk reparasjon

### 4.1 Metodebeskrivelse

Mekanisk reparasjon er den vanligste metoden for reparasjon av betongskader. Med betongskader menes riss, bom (løs betong) og avskallinger som skyldes rustsprengning på grunn av armeringskorrosjon. Steinreir og støpesår utbedres på samme måten.

Reparasjon av skader (mekaniske reparasjon) må alltid utføres uavhengig av utbedringsmetode. Enten utføres mekanisk reparasjon alene som metode eller i kombinasjon med de øvrige metodene. Ved elektrokjemiske utbedringsmetoder utføres forenklet mekanisk reparasjon.

Mekanisk reparasjon består av følgende deloperasjoner:

- fjerning av betong for frilegging av korrodert armering
- rengjøring av korrodert armering (utføres ofte ved sandblåsing)
- rengjøring av sårflatene
- evt. montering av ny armering (i de tilfeller der det er tverrsnittsreduksjon av betydning på bærende armering)
- påføring av korrosjonsbeskyttelse på rengjort armering (ikke ved de elektrokjemiske metodene eller bruk av sprøytømørtel)
- evt. forskaling
- forvanning/evt. påføring av heftbro
- utfylling med reparasjonsmørtel
- evt. pussing/slemming av reparasjonsområdet

Den trinnvise oppbyggingen ved mekanisk reparasjon er vist på figur 4.1

Bruk av korrosjonsbeskyttelse utelates altså ved reparasjoner i forbindelse med de elektrokjemiske metodene.

Mekanisk reparasjon karakteriseres enten som bærende reparasjon eller ikke-bærende reparasjon. En bærende reparasjon innebærer tiltak for å gjenvinne helt eller delvis redusert bæreevne som følge av skade og/eller meislingsomfang. En ikke-bærende reparasjon er en reparasjon av alle andre skader som ikke berører bæreevnen til konstruksjonen.

Ved ren mekanisk reparasjon påføres som regel en karbonatiseringsbremsende maling for å forebygge videre skadeutvikling. Overflatebehandling er som regel også ønskelig ut fra estetiske hensyn. Antikvariske hensyn kan gi andre føringer. Når det gjelder problemstillinger rundt karbonatiseringsbremsende overflatebehandling, henvises til kap.8.

Ved ren mekanisk reparasjon i forbindelse med karbonatiseringsinitiert korrosjon, kan mekanisk reparasjon utføres på to nivåer – enten som **fullstendig** mekanisk reparasjon eller som **begrenset** mekanisk reparasjon. Forskjellen ligger kun i kriteriene for fjerning av betong. I forbindelse med fullstendig mekanisk reparasjon fjernes all betong rundt de deler av

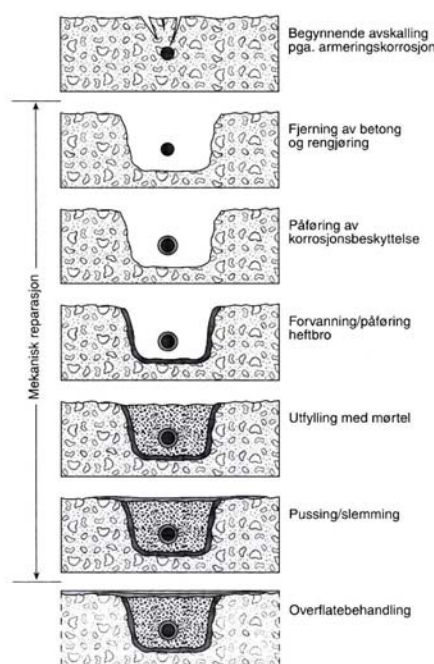


Fig. 4.1  
Trinnvis oppbygging ved mekanisk reparasjon /2/

armeringen som befinner seg i karbonatisert betong. Dette vil medføre omfattende meisling der en betydelig del av armeringen ligger i karbonatisert betong.

Fullstendig mekanisk reparasjon er kun egnet der en svært liten andel av armeringen ligger i karbonatisert betong, og der karboniseringsfronten har god klaring til den øvrige del av armeringen. Ellers er metoden uegnet.

Ved **begrenset mekanisk** reparasjon reduseres meislingsomfanget ved at betong kun fjernes der det er synlige tegn til skader. Korrodert armering frilegges da til friskt armeringsjern blottlegges. En kan derfor risikere at det etter reparasjon fremdeles vil ligge noe armering i karbonatisert betong. Denne armeringen kan endog ha tilløp til svak korrosjon selv om det ikke er synlige tegn til slik aktivitet på betongoverflaten. Det er derfor viktig å påføre betongoverflaten en karbonatiseringsbremsende maling etter utført reparasjon for å forebygge videre skadeutvikling. Begrenset mekanisk reparasjon er først og fremst egnet der skadeomfanget er lite og der det meste av armeringen ligger i ukarbonatisert betong.

Ved valg av elektrokjemiske metoder, utbedres synlige skader ved **forenklet mekanisk** reparasjon. Meislingsomfanget er mindre enn ved begrenset mekanisk reparasjon, fordi det kun er nødvendig å fjerne løs betong. Korrodert armering må ikke frilegges til frisk jern. I tillegg er det ikke behov for å påføre korrosjonsbekyttelse på armeringen.

Pussreparasjoner utføres fortrinnsvis med samme pusstype som eksisterende puss. Dette forutsetter at det i forkant er gjort nødvendige analyser for bestemmelse av eksisterende puss.

For mer detaljert beskrivelse og informasjon om metoden mekanisk reparasjon, henvises til kapittel 5 i publikasjon /2/ samt publikasjonene /4/ i vedlagte litteraturliste.

#### 4.2 Bygningsmessige konsekvenser

På bærende konstruksjoner kan meislingsomfanget bli så stort at det er fare for redusert bæreevne. I slike tilfeller må konstruksjonen enten avlastes eller oppstemples/understøttes midlertidig mens arbeidene pågår. Skader på søyler og bjelker i en fasade kan fort medføre et meislingsomfang som tilsier redusert bæreevne. Avlastning av betongtverrsnittet, for eksempel på søyler, er ofte nødvendig for å redusere spenningene over tverrsnittet mens arbeidene pågår for at det samlede tverrsnittet etter reparasjon får en mest mulig jevn spenning over tverrsnittet.

Flater som overflatebehandles, kan også bli noe skjoldete, fordi underlagets sugeevne og struktur i reparerte områder kan være forskjellig fra flatene utenfor reparerte områder.

Meisling med elektrisk meislemaskin og lufthammer er de mest benyttede metodene for fjerning av betong på fasader. Disse metodene kan medføre små mikroriss i underbetongen og knuse tilslaget, men dette er normalt ikke noe stort problem. Ved meisling rundt vinduer kan en risikere å knuse glass i vinduer enten fordi meislehammere glipper eller fordi den gir press på vindusrammer.

En ulempe med denne metoden for fjerning av betong, er at de medfører en god del støy. Støyproblemet kan reduseres betydelig ved bruk av vannmeisling. Metoden er ikke like godt egnet på fasader på grunn av faren for vannlekkasjer inn i konstruksjonen via ventiler, riss/sprekker og materialoverganger. Vannmeisling er derimot godt egnet på store sammenhengende flater uten vinduer, etc.

Når det gjelder selve reparasjonen, er det liten risiko for endringer over tid. Det som derimot kan være et problem, er muligheten for videreutvikling av nye skader ved begrenset mekanisk

reparasjon. Etter reparasjon kan det fremdeles ligge noe armering i karbonatisert betong. Denne armeringen kan endog ha tilløp til svak korrosjon, selv om det ikke er synlige tegn til slik aktivitet på betongoverflaten. Erfaringer fra prosjekter utført etter prinsippet begrenset mekanisk reparasjon viser svært liten risiko for utvikling av nye skader etter 5 – 10 år.

### 4.3 Antikvariske konsekvenser

#### 4.3.1 Arkitektur

Reparasjonene isolert sett bidrar ikke til endring i bygningens form. Der en fjerner deler av eller all opprinnelig puss og erstatter den med en ny puss, kan en til en viss grad klare å bevare fasadens uttrykk, selv om det kan bli noe avvik i forhold opprinnelig overflatestruktur.

Der betongflatene ikke er pusset etter utført reparasjon, vil reparasjonsområdene kunne få en annen overflatestruktur enn øvrig betong slik det framgår av figur 4.2. Dette skyldes bl.a. at reparasjonsmørtelen har en annen kornfordeling enn opprinnelig betong og at betongoverflaten som regel har vært forbehandlet i forkant av selve reparasjonsarbeidene.



*Fig. 4.2  
Reparasjonsområde med annen  
overflatestruktur*

Dersom reparasjonene utføres med en standard reparasjonsmørtel, blir det som regel en farge- og strukturforskjell mellom opprinnelig betong og reparasjonsmørtelen. Når flatene ikke pusset eller overflatebehandles etter utført reparasjon, vil forskjell i farge mer eller mindre medføre endring både i karakter og uttrykk. Erfaringer har vist at dersom en lager en spesialtilpasset mørtel mht. til farge, kan en oppnå et svært godt resultat. Ved reparasjon av betongflater med frilagt tilslag, vil annet tilslag enn opprinnelig samt annen mørtel bidra til endring i både struktur og farge.

Det kan være vanskelig å gjenskape den opprinnelige overflatestrukturen på de reparerte betongflatene. Dette har sammenheng med at materialsammensetningen i nye og opprinnelige materialer er forskjellig. I tillegg er eksisterende overflater et resultat av overflateslitasje fra vær og vind over flere år, noe som er vanskelig å gjenskape ved reparasjon. Etter reparasjon vil en derfor kunne se hvilke flater som er reparert. På pussede overflater vil forskjellen i overflatestruktur normalt bli langt mindre.

#### 4.3.2 Inngrep

Mekanisk reparasjon medfører inngrep i konstruksjonen ved at skadet og dårlig betong fjernes og erstattes med ny betong/mørtel. I forbindelse med de elektrokjemiske metodene er reparasjonsomfanget og dermed også inngrepene i konstruksjonene normalt langt mer beskjedne.

De største inngrepene får en der hele eller deler av opprinnelig puss fjernes.

#### 4.3.3 Materialer og byggemetode

Den trinnvise oppbyggingen av en reparasjon medfører at en rekke nye materialer/produkter bygges inn i konstruksjonen. Reparasjonene utføres normalt med standard reparasjonsmørtler fra kjente leverandører. Reparasjonsmørtelene har samme basis som opprinnelig betong (sementbasert), men reparasjonsmørtelene har en finere kornfordeling enn opprinnelig betong. Dette er nødvendig for å sikre god utstøping av mindre sår samt sikre fullstendig omhylling rundt frilagt armering.

De største endringene i materialbruk får en der hele eller deler av opprinnelig puss blir erstattet med en annen type puss. Det er normalt ønskelig å beholde mest mulig av originalmaterialet, slik at kun løs puss fjernes.

#### 4.3.4 Reversibilitet

Reparasjoner er reversible, fordi reparasjonene kan fjernes og erstattes med noe annet. Det samme gjelder også pussreparasjonene.

Dersom reparasjonene skal fjernes en gang i framtiden, må en regne med at noe mer av underliggende betong må fjernes samtidig, fordi reparasjonsmaterialet vil ha god vedheft til underliggende betong.

#### 4.3.5 Lesbarhet

Reparasjonene blir generelt sett mest synlige på de flatene som ikke er pusset, men kun overflatebehandlet. Figur 4.3 viser et eksempel på svært lesbare reparasjoner – mørtelpølser over armering med for liten overdekning. Reparasjonene blir i varierende grad synlige alt avhengig av forskjell i overflatestruktur og jevnhet i overgangen mellom reparert og ikke-reparert område. Erfaringer viser at det er mulig å gjøre reparasjonene lite synlige. Reparterte områder kan bli mindre synlige, dersom reparasjonsområdene forbehandles på samme måte som øvrig betong. Ellers er det å bemerke at god håndverksmessig utførelse bidrar til mindre synlige reparasjoner, ref. figur 4.4.



*Fig. 4.3*  
*Svært synlige og lesbare reparasjoner*



*Fig. 4.4*  
*Reparasjonsområdet er nærmest usynlig*

### **4.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser**

Normalt tilsyn er nødvendig. Erfaringer fra utførte prosjektet viser at det er liten fare for videreutvikling av nye skader ved begrenset mekanisk reparasjon innen en 10-års periode, dersom metoden kombineres med en preventiv overflatebehandling. Ved fullstendig mekanisk reparasjon vil det ta betydelig lengre tid før nye skader utvikles. Dersom betongoverflaten ikke påføres en karboniseringsbremsende overflatebehandling, vil nye skader utvikles langt tidligere.

## 5. Elektrokjemisk realkalisering

### 5.1 Metodebeskrivelse

Realkalisering er en elektrokjemisk metode for reetablering av det basiske miljøet rundt armeringen. Elektrokjemisk realkalisering utføres ved å påføre et elektrisk felt mellom armeringen og betongoverflaten. Dette gjøres ved at et elektrodenett (vanligvis armeringsnett) monteres på trelekter på betongoverflaten, og deretter omsprøytes nettet med en alkalisk ledende masse (elektrolytt) som vanligvis består av fibermasse og alkalier (natrium- eller kaliumkarbonat) utblandet i vann.

Nettet kobles til en strømlikeretter og armeringen, og strømmen settes på. Elektrokjemisk realkalisering skjer da ved elektro-osmose, elektrolyse og ionemigrering. Ved elektrolyse får en produksjon av hydroksid-ioner på armeringens overflate, slik at det dannes en korrosjonsbeskyttende (passiv) film. Ved elektro-osmose får en transport av alkalier inn i betongen som sørger for en permanent pH på 10,5-10,8. Dette er tilstrekkelig til å bevare passiveringen rundt armeringen. Ionemigreringen sørger for elektro-balanse til hydroksid-ionene som produseres ved elektrolysen, slik at disse forblir rundt armeringen og bevarer passiveringen. Prinsippet for elektrokjemisk realkalisering er vist på figur 5.1, og figur 5.2 viser metoden i praksis.

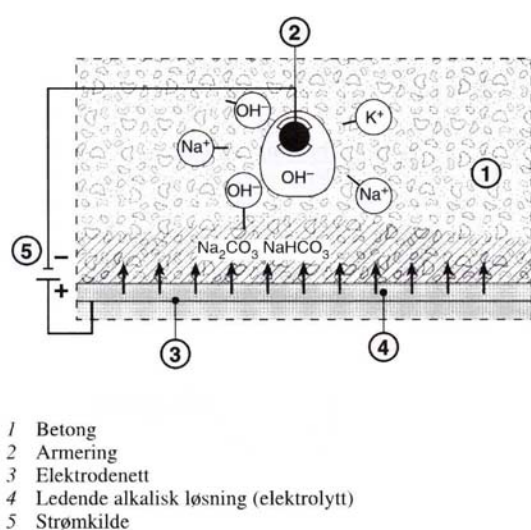


Fig. 5.1  
Prinsipp for elektrokjemisk realkalisering /2/



Fig. 5.2  
Elektrokjemisk realkalisering i praksis

Behandlingstiden varer fra 3-10 dager alt avhengig av strømstyrke, tykkelse og kvalitet på betongoverdekning samt karbonatiseringsdybde. Under behandlingsperioden må strøm og spenning kontrolleres. Elektrolytten må dessuten holdes fuktig. Etter at prosessen er ferdig, fjernes fibermassen, elektrodenett og alle ledninger, og betongoverflaten vaskes med vann.

Transport av alkalier inn i betongen er vanskelig dersom betongen er svært tett eller overflatebehandlet med en silan- eller siloksanbasert impregnering. Der en ikke får noen transport av alkalier inn i betongen, foregår realkaliseringen kun som elektrolyse på armeringsoverflaten. Dette har begrenset effekt, fordi en da ikke får etablert et permanent alkalisk miljø som kan bevare passiveringen rundt armeringen. Det er også verd å merke seg

at prosessen i så fall må pågå over vesentlig lengre tid for å produsere et tilstrekkelig alkalisk miljø.

En forutsetning for at metoden skal fungere, er at all armering må være i elektrisk innbyrdes kontakt – armeringskontinuitet. Kontroll av armeringskontinuitet må derfor utføres før prosessen kan igangsettes. Ved manglende kontinuitet, må elektrisk kontinuitet etableres ved å koble sammen armeringen. Dette kan gjøres for eksempel ved sveising av kontaktpunkter mellom kryssende armeringsjern.

Før prosessen kan igangsettes, må alle åpne sprekker tettes og alle sår (avskallinger og bom) inn til armeringen repareres for å hindre kortslutning under prosessen. Det holder som regel å slemme rissene. Avskallings- og bomskader utbedres etter prinsippet forenklet mekanisk reparasjon som beskrevet i kap.4. Meislingsomfanget er svært mye mindre enn ved tradisjonell mekanisk reparasjon. Løs puss må fjernes dersom dette medfører at realkaliseringsprosessen ikke vil fungere.

Elektrokjemisk realkalisering har begrensninger når sementen er av en annen type enn ren portlandsement. Dersom det er benyttet en annen sementtype i betongen, må det foretas utprøving i forkant for å undersøke om metoden vil fungere.

Normalt vil alkalieløsningen som benyttes, løse opp organisk overflatebehandling og dermed fungere som "kjemisk malingsfjerning". I de tilfeller betongoverflaten er behandlet med en tett maling som ikke løses opp av alkalieløsningen og som forhindrer realkaliseringsprosessen, må eksisterende overflatebehandling fjernes før realkalisering kan utføres.

Elektrokjemisk realkaliseringsprosessen krever kontinuerlig strømtilførsel så lenge prosessen skal pågå. Kontinuerlig kontroll av strømstyrke og spenning er derfor nødvendig. Fibermassen må hele tiden holdes fuktig.

Metoden er først og fremst egnet på betongkonstruksjoner med lite synlige skader og der karboniseringsfronten er i nærheten av eller forbi armeringen. På naturbetongflater er metoden helt ideell, fordi en der ønsker minst mulig synlige reparasjoner. Synlige skader utbedres etter prinsippet forenklet mekanisk reparasjon. Dette setter store krav til både tilslag og mørtler som må være mest mulig lik det opprinnelige. På denne type betongflater er det en stor fordel at elektrokjemisk realkalisering utføres før skader får utvikles.

Bransjen har erfaring med denne metoden over de siste 15-20 årene. Metoden er benyttet på en rekke prosjekter rundt om i landet.

## **5.2 Bygningsmessige konsekvenser**

Meislingsomfanget er som regel så lite at det normalt ikke er nødvendig å foreta oppstempling eller understøttelse.

Eventuelle ulemper med metoden er først og fremst knyttet til at hele betongflaten (konstruksjonen) blir nedfuktet. Overflaten vil være helt mettet med fuktighet, dvs. alkalisk væske. Mengde fuktighet som tilføres konstruksjonen er avhengig av betongens porøsitet og av prosesstiden. En betong med et porevolum på 10 % vil teoretisk kunne tilføres ca. 1 liter væske pr.m<sup>2</sup> og cm dybde. Normalt blir betongen nedfuktet til et par centimeter bak armeringen.

Det er svært viktig at konstruksjonen får tørke tilstrekkelig ut før flaten påføres ny overflatebehandling. Siden yttersjiktet av betongen tilføres fuktighet under prosessen, vil en

naturlig uttørking i etterkant medføre transport av fuktighet ut til overflaten. Dette vil ofte resultere i kalkutfelling på overflaten. Misfarging, som skyldes fukt-transport, kan også være et problem. Figur 5.3 viser både misfarging og tegn til malingsavflassing på realkalisert flate.



*Fig. 5.3  
Misfarging og tegn til malingsavflassing på  
realkalisert flate*

Påføres ny overflatebehandling for tidlig, kan resultatet lett bli malingsavflassing. For å redusere faren for utfelling på overflaten, bør kaliumkarbonat benyttes som elektrolytt. Utfellingsproduktene på betongoverflaten må fjernes før den males, fordi de kan bidra til redusert heft og fordi de kan reagere kjemisk med malingen.

God uttørking før overflatebehandling samt valg av riktig overflatebehandling er helt avgjørende for å unngå problemer med malingsavflassing. Et prøvefelt i forkant vil avdekke hvorvidt malingsavflassing og/eller misfarging er et problem.

Nødvendig uttørkingstid før påføring av ny overflatebehandling vil variere avhengig av type overflatebehandling og tilført mengde fuktighet. I verste fall må overflatebehandlingen utstå til neste sesong. Betongoverflaten behøver ikke overflatebehandles for å unngå videre korrosjonsutvikling, fordi det ved den elektrokjemiske prosessen blir etablert et stabilt korrosjonsbeskyttende miljø rundt armeringen. Flatene overflatebehandles da som regel ut fra estetiske eller historiske hensyn.

Bruk av oppfuktet fibermasse som elektrolytt medfører som regel ikke inntrenging av fuktighet i riss til bakenforliggende konstruksjon. Fibermassen vil holde på fuktigheten og kun avgi fuktighet til betongen ved kapillærsug. Dersom fibermassen gjøres fuktig ved påsprøyting, må det utvises forsiktighet slik at en unngår lekkasjer i ventiler, materialoverganger, etc.

Det er også viktig at de realkaliserte flatene får tørke godt ut før betongkonstruksjonen blir utsatt for kuldegrader. Dette for å unngå frostskafer i overflaten.

På betongflater som ikke skal overflatebehandles etter realkalisering, må en benytte en fibermasse som ikke avsetter farge på betongoverflaten.

En skal være spesielt oppmerksom på at den alkaliske væsken kan virke etsende på glass og metaller. Tildekking og grundig spyling med vann i forkant og etterkant er derfor nødvendig. Nedfukting av betongen og eventuelt pussing kan skape problemer med malingsavflassing på tilstøtende konstruksjonsdeler samt misfarging på tilstøtende overflater.

Problemer med realkalisering over tid synes først og fremst å være knyttet til malingsavflassing og misfarging. Det er derimot ingen fare for videreutvikling av nye skader pga. armeringskorrosjon.



## **5.3 Antikvariske konsekvenser**

### 5.3.1 Arkitektur

Selve realkaliseringen bidrar ikke til endring av arkitekturen. Derimot bidrar nødvendig forbehandling og eventuell etterfølgende overflatebehandling til endringer i arkitekturen. Dersom eksisterende overflatebehandling fjernes under realkaliseringsprosessen, medfører det normalt ingen endring i opprinnelig overflatestruktur. Fjerning av eksisterende overflatebehandling i forkant kan medføre noe endret overflatestruktur. Dette er omtalt nærmere i kapittel 8.3.1.

Overflatestrukturen på reparerte områder blir normalt noe annerledes enn opprinnelig betongoverflate. Dette er nærmere omtalt i kap.4.3.1.

### 5.3.2 Inngrep

Selve realkaliseringsprosessen medfører i liten grad inngrep i konstruksjonen, dersom det er god armeringskontinuitet i konstruksjonen. Inngrepene er først og fremst knyttet til etablering av kontinuitets-/koblingspunkter samt reparasjon av synlige skader (som normalt er svært begrenset). Reparasjonene utføres på tradisjonelt vis ved forenklet mekanisk reparasjon, ref. kap.4. På en del eldre konstruksjoner skal en være oppmerksom på at armeringskontinuiteten kan være dårlig. Dette vil i så fall kreve mer opphugging enn ellers for å få etablert tilstrekkelig armeringskontinuitet.

Realkaliseringsprosessen gjør det som regel nødvendig å fjerne eksisterende overflatebehandling. Dette er normalt det største inngrepet med metoden.

Dersom betongkonstruksjonen er pusset med edelpuss, akrylpuss eller lignende, er det stor sannsynlighet for at all pussen må fjernes, fordi den er for tett til at realkaliseringsprosessen kan foregå. Utprøving i laboratorium eller gjennomføring av prøveprosjekt vil vise om elektrokjemisk realkalisering er mulig uten å fjerne pussen. Dersom eksisterende puss er den opprinnelige, er det antikvarisk lite ønskelig å fjerne den. Fjerning av opprinnelig puss betegnes som et vesentlig inngrep.

### 5.3.3 Materialer og byggemetode

Noe endring i materialbruk får en ved at alle sår etter kontinuitets-/koblingspunkter blir reparert med et annet materiale enn det opprinnelig. Avvik i materialegenskaper og farge er nærmere omtalt i kap 4.3.2.

Dersom eksisterende puss må fjernes, kan det være vanskelig å fremskaffe tilsvarende puss. En del eldre pusstyper er ikke lenger tilgjengelig på markedet. Med sement- og kalksementbaserte pusstyper er dette ikke noe problem. Skader på disse pusstypene erstattes med puss med tilsvarende kvalitet. Dette kan bestemmes ved analysering av pussprøver.

En utfordring med elektrokjemisk realkalisering er å velge en overflatebehandling som fungerer på realkaliserte flater og samtidig er antikvarisk akseptabel. Normalt utføres overflatebehandlingen kun ut fra estetiske eller historiske hensyn. Organiske og uorganiske produkter kan benyttes så lenge de er alkaliebestandige, diffusjonsåpne mht. vanndamp og kompatible med et realkalisert underlag. Silikatmalinger er ikke egnet, fordi de ikke kan påføres et fuktig alkalisk underlag. (Enkelte silikatmalinger kan muligens benyttes etter en grundig nøytralisering av betongoverflaten på forhånd). På pussete flater må en kun velge materialer som er tilpasset pussunderlag.

Ny overflatebehandling og puss medfører endret materiale. Dette er nærmere omtalt i kap. 8.3.3.

#### 5.3.4 Reversibilitet

Realkaliseringsprosessen er ikke reversibel, fordi det er umulig å transportere ut tilførte alkalier. Metoden bidrar derimot til å reetablere den opprinnelige korrosjonsbeskyttelsen rundt armeringen.

#### 5.3.5 Lesbarhet

Selve realkaliseringen er ikke lesbar, men resultatet av realkaliseringsprosessen er på en måte lesbar ved eventuelle problemer med malingsavflassing og misfarging. Misfargingen kan være både lett synlig og svært forstyrrende, slik som vist på figur 5.4.



*Fig. 5.4  
Misfarging etter elektrokjemisk realkalisering*

### **5.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser**

Etter utført realkalisering ligger all armering i et stabilt korrosjonsbeskyttet miljø. Metoden har vært på markedet i snart 20 år og den er benyttet på flere hundre tusen kvadratmeter. Erfaringer så langt viser ingen tegn til nedbrytning av det korrosjonsbeskyttende miljøet rundt armeringen og sannsynligheten for utvikling av nye betongskader er derfor liten.

Normalt ettersyn bør likevel utføres med hensyn til å vurdere behovet for ny rebehandling i de tilfellene betongflatene er overflatebehandlet, ref. kap.8.4.

## 6. Katodisk beskyttelse

### 6.1 Metodebeskrivelse

Katodisk beskyttelse er en anerkjent metode for å beskytte stål mot korrosjon, og det har vært en sterk økning i anvendelse av katodisk beskyttelse av betongkonstruksjoner de siste 10 årene.

Når armering korroderer, er det som følge av en elektrokjemisk prosess som resulterer i at armeringen går i oppløsning. I korrosjonsprosessen forbrukes elektroner ved katodereaksjonen. Elektroner tilføres fra anodereaksjonen, noe som medfører at stålet blir oppløst. Prinsippet ved katodisk beskyttelse er å tilføre elektroner fra en ekstern kilde (anode) slik at det blir et overskudd av elektroner. Disse elektronene fører til at armeringen blir negativt ladet, noe som forhindrer at armeringen går i oppløsning (korroderer). Det er dette prinsippet som kalles katodisk beskyttelse, fordi all armering blir katode.

Systemer for katodisk beskyttelse er enten:

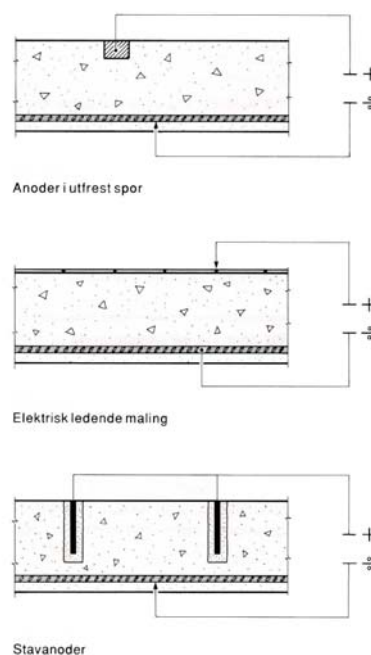
- galvaniske med offeranoder i ulike legeringer, for eksempel sink, som går i oppløsning (ofres)
- elektrolytiske med påtrykt likestrøm (anoden går ikke i oppløsning)

Hovedutfordringen ved katodisk beskyttelse av betongkonstruksjoner består i å finne et velegnet anodesystem som kan fordele nødvendig beskyttelsesstrøm til armerings overflate.

Anodesystemet kan være av forskjellige typer, materialer og utforming, ref. figur 6.1. Følgende anodesystemer benyttes i dag:

- nettanoder
- trådanoder
- stavanoder
- ledende mørtel/belegg

Fig. 6.1  
Prinsipp for ulike anodesystemer /3/



Metoden er først og fremst benyttet og egnet på betongkonstruksjoner der armeringskorrosjonen skyldes klorider. Metoden er i mindre grad benyttet på konstruksjoner der armeringskorrosjon skyldes karbonatisert betong. Den er derimot godt egnet på betongkonstruksjoner der en har både klorider og karbonatisering. Der katodisk beskyttelse er benyttet i forbindelse med karbonatiseringsinitiert armeringskorrosjon, er det anodesystem med ledende maling som er benyttet.

Offeranoder er ikke benyttet i forbindelse med karbonatisering. Det er nå riktignok utviklet små offeranoder, sinkbriketter, som kan være aktuelle ved lokale skader for å unngå for mye meisling. Disse anodene festes til armeringen og dekkes til med reparasjonsmørtelen. Foreløpig har vi ikke noe erfaringsmateriale når det gjelder denne type anoder.

Katodiske anlegg med påtrykt spenning krever kontinuerlig overvåking av strømstyrke og spenning for å sikre at anlegget fungerer over tid som forutsatt.

For mer utfyllende litteratur henvises til kap.7.3 i publikasjon /1/ samt publikasjon /3/ i litteraturlista.

## 6.2 Bygningsmessige konsekvenser

For alle systemer med katodisk beskyttelse er det en forutsetning at all armering som skal beskyttes, er i innbyrdes kontakt, dvs. god armeringskontinuitet. Der det ikke er god armeringskontinuitet, må slik kontakt etableres enten ved sveising eller ved annen type sammenkobling. For at systemene skal fungere tilfredsstillende, er det også viktig med kontakt mellom armering og betongen. Der det er områder med manglende kontakt, må det foretas lokale reparasjoner. Alle sår, avskallinger og bomskader må utbedres etter prinsippet forenklet mekanisk reparasjon med sementbaserte materialer.

Ledende mørtel/belegg er avhengig av god heftfasthet over tid. Eksisterende overflatebehandling må derfor fjernes, og det er som regel nødvendig med sandblåsing av betongoverflaten for at flatene skal bli mest mulig ru for å sikre optimal vedheft.

Strømtilførsel samt instrumentering/overvåkingsutstyr vil medføre en del kabling. Omfanget er bl.a. avhengig av type anodesystem. Som regel prøver en å montere kabler på lite synlige steder. Kablene bør dessuten dekkes til for å unngå skade pga. hærverk.

Svikt i anlegget kan føre til over- eller underbeskyttelse. Overvåking av anlegget er en nødvendig forutsetning for at det skal fungere. I dag er det utviklet ulike overvåkingssystemer som gjør det mulig å overvåke og styre anleggene via modem.

## 6.3 Antikvariske konsekvenser

### 6.3.1 Arkitektur

En forutsetning for at katodisk beskyttelse med ledende belegg skal fungere over tid er god heft til betongunderlaget. Siden det ledende belegget påføres direkte på den sandblåste overflaten, kan ferdig betongoverflate fremstå med noe annerledes struktur enn den opprinnelige, ref. figur 6.2. Struktur, karakter og overflate kan derfor bli vesentlig endret. Siden overflatene kan bli en del grovere, vil en også få en viss endring av arkitekturen. Tilsvarende vil også være tilfelle for nettanoder i puss. Pusset eller slemmet overflate kan gi en annen overflatestruktur enn opprinnelig betongflate. De øvrige anodesystemene vil i liten grad medføre endring av arkitekturen.



Fig. 6.2  
Endret overflatestruktur på grunn av sandblåsing

Overflatestrukturen på reparerte områder blir normalt noe annerledes enn på områder som ikke repareres. Dette er nærmere omtalt i kapittel 4.3.1.

### 6.3.2 Inngrep

Inngrepene ved metoden er først og fremst knyttet til fjerning av eksisterende overflatebehandling, nødvendige reparasjoner samt opphugginger for å etablere nødvendige kontinuitets-/koblingspunkter. Omfanget av slike opphugginger er normalt begrenset.

Når det gjelder katodiske anlegg med tråd- og stavanoder, vil det kreve inngrep i konstruksjonen enten ved fresing av spor til trådanoden eller ved boring av hull til stavanoden. Stavanoder medfører riktignok små inngrep, fordi borehullene som regel ikke er større enn ca. 15 mm.

For ledende belegg/maling vil inngrepet i konstruksjonen først og fremst være knyttet til fjerning av eksisterende overflatebehandling og den kraftige forbehandlingen av overflaten for å sikre god vedheft for anodesystemet over tid. Dersom eksisterende betongoverflate har en svak puss, vil hele pussen med stor sannsynlighet måtte fjernes for å sikre god heft for det katodiske systemet.

Dersom det er dårlig armeringskontinuitet, vil etablering av kontinuitetspunkter kreve en del opphugginger med tilhørende reparasjoner. Reparasjonsomfanget for øvrig er normalt lite, kun begrenset til reparasjon av synlige skader og områder med bom/delaminering som skyldes armeringskorrosjon.

### 6.3.3 Materialer og byggemetode

Alle anodesystemene medfører at nye materialer/produkter påføres og/eller monteres på betongoverflaten. Ved bruk av nettanoder og ledende maling/belegg dekkes hele betongoverflaten med anodesystemet i motsetning til tråd- og stavanoder hvor en mindre del av betongoverflaten benyttes. Grunnen til denne forskjellen har med hvordan de ulike anodesystemene fungerer

Når hele betongoverflaten påføres en ledende maling/belegg eller nettanode, vil overflaten sannsynligvis fremstå med en helt annen overflatestruktur enn opprinnelig overflate. I tillegg kan kabler bli synlige og virke som fremmedelementer på betongoverflaten.

Ved bruk av nettanoder kan disse i teorien legges i en slemme- eller pussmørtel som harmonerer med den opprinnelige, men dette er foreløpig ikke godt nok utprøvd og dokumentert.

Det ledende belegget påføres normalt et dekkstrøk med en beskyttende maling, som ofte er vesentlig forskjellig fra den opprinnelige malingen.

Reparasjonene utføres med sementbaserte materialer på samme måte som ved elektrokjemisk realkalisering.

### 6.3.4 Reversibilitet

Metoden er reversibel, fordi det katodiske anlegget kan fjernes i sin helhet. All kabling og alt utstyr kan meget lett fjernes, men vil etterlate en del mindre hull/sår som må repareres.

En skal være oppmerksom på at god heft mellom det ledende belegget/malingen og underliggende betong kan medføre at noe av underbetongen fjernes sammen med det ledende belegget.

### 6.3.5 Lesbarhet

Lesbarheten til nødvendige reparasjoner og etablering av kontinuitets-/koblingspunkter, er omtalt i kap. 4.

Når det gjelder det katodiske anlegget, kan strømfordelingsbånd i ledende belegg og koblingspunktene være synlige på avstand og til en viss grad forstyrrende. Spor etter tråd- og stavanoder vil også kunne bli synlige, slik som vist på figur 6.3.



*Fig. 6.3  
Synlig strømfordelingsbånd*

Som regel vil en god del av nødvendig kabling bli synlig. Gjennomførte prosjekt viser at kablingen kan utføres på en slik måte at den blir minst mulig synlig. Overvåkingsskap må plasseres på steder som er lett tilgjengelige og minst mulig synlige.

### 6.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser

Et katodisk anlegg må overvåkes kontinuerlig for å sikre at anlegget fungerer optimalt. Dette krever kompetanse, og det bør derfor inngås en serviceavtale med et kvalifisert firma som kan ivareta dette.

En har noe begrenset erfaring med katodiske anlegg på betongkonstruksjoner. Levetiden for de ulike anleggene antas å være 20-40 år. Dersom betongoverflaten er malt, gjelder dessuten normalt vedlikehold av overflatebehandlingen.

## **7. Korrosjonsinhibitorer**

### **7.1 Metodebeskrivelse**

Korrosjonsinhibitorer er kjemikalier som i små mengder tilføres betongen for å redusere eller stanse et korrosjonsangrep. En penetrerende korrosjonsinhibitor består av en væskeløsning som påføres betongoverflaten og angivelig trenger inn i betongen til armeringen. Derved skal både starttidspunktet for armeringskorrosjon utsettes og korrosjonshastigheten reduseres. Korrosjonsprosessen vil ikke opphøre. Synlige skader utbedres i forkant etter prinsippet forenklet mekanisk reparasjon. Ved bruk av korrosjonsinhibitorer påføres betongflatene også en avsluttende overflatebehandling.

Korrosjonsinhibitoren påføres betongoverflaten etter at flatene er rengjort grundig ved høytrykksspyling. Dersom betongflatene er malt, må eksisterende overflatebehandling fjernes. Inhibitorerne trenger inn til armeringen gjennom kapillærsug og gassdiffusjon. Inhibitorerne påføres betongoverflaten i 3-5 omganger. Noen dager etter siste påføring med inhibitor spyles overflaten grundig med høytrykksspyling. Dette for å sikre god heft for etterfølgende overflatebehandling. Overflatebehandlingen må være kompatibel over tid med den behandlede flaten.

Det finnes tre typer korrosjonsinhibitorer: anodiske, katodiske og kombinerte (anodiske og katodiske). Det er kjent at anodiske inhibitorer iblandet den ferske betongen beskytter mot armeringskorrosjon, men disse er ikke egnet for påføring på eksisterende betongoverflate.

Katodiske korrosjonsinhibitorer påvirker katodeprosessen. Ved å bremse katodereaksjonen reduseres oppløsning av jern ved anoden, der selve korrosjonen foregår. De kombinerte korrosjonsinhibitorerne bremser både den anodiske og katodiske reaksjonen i korrosjonsprosessen. Disse inhibitorerne er filmdannende, dvs. at det dannes en passiv film rundt armeringen.

Dersom en forutsetter at bruk av penetrerende korrosjonsinhibitorer fungerer slik leverandørene påstår, er metoden først og fremst aktuell der armeringen ligger i karbonatisert betong og hvor en har lite skader. I tillegg kan metoden være aktuell i kombinasjon med begrenset mekanisk reparasjon for å begrense meislingsomfanget ytterligere og for å redusere faren for utvikling av nye skader.

Metoden er relativt ny og er benyttet på enkelte prosjekt etter 1996. Det er ikke kjent at det er rapportert positiv dokumentasjon med metoden. Risikoen er først og fremst knyttet til om korrosjonsinhibitorerne fungerer over tid som forutsatt og om inhibitoren umuliggjør bruk av andre metoder på et senere tidspunkt, dersom det skulle bli nødvendig.

### **7.2 Bygningsmessige konsekvenser**

Det er kun synlige skader som må utbedres. Disse repareres som beskrevet i kap.4. Denne metoden er ikke avhengig av armeringskontinuitet.

Vi vet ennå ikke hvordan denne metoden vil påvirke muligheten til å anvende andre elektrokjemiske metodene dersom bruk av korrosjonsinhibitorer ikke fungerer.

### **7.3 Antikvariske konsekvenser**

#### **7.3.1 Arkitektur**

Selve korrosjonsinhibitoren medfører ingen endringer av arkitekturen, men nødvendige reparasjoner og overflatebehandling vil medføre endringer som beskrevet i kap.4.3.1 og 8.3.1

### 7.3.2 Inngrep

Dersom betongkonstruksjonen er pusset med edelpuss, akrylpuss eller lignende, er det stor sannsynlighet for at hele pussen må fjernes før inhibitoren kan påføres. Dette er lite ønskelig ut fra et antikvarisk perspektiv.

Dersom en har en betongkonstruksjon uten puss, medfører selve inhibitoren ingen inngrep i konstruksjonen. Reparasjon av skader og påføring av overflatebehandling medfører derimot inngrep som beskrevet i henholdsvis kapittel 4.3.2 og 8.3.2.

### 7.3.3 Materialer og byggemetode

Bruk av korrosjonsinhibitor medfører at konstruksjonen tilføres et helt nytt materiale. Dette medfører ikke endringer i selve konstruksjonen.

Dersom opprinnelig puss må fjernes, kan det være vanskelig å få etablert tilsvarende puss, fordi pussene ikke er tilgjengelig lengre. Med sement- og kalksementbaserte pusstyper er dette neppe noe problem. Skader på disse pusstypene erstattes med puss med tilsvarende eksisterende puss.

Endringer i materialbruk pga. reparasjoner, ny puss og overflatebehandling er behandlet i henholdsvis kap.4.3.3 og 8.3.3.

### 7.3.4 Reversibilitet

Korrosjonsinhibitoren er en væske som trenger inn i betongen via poresystemet. Materialet kan ikke fjernes uten at en samtidig må fjerne betongen med inntrengt væske. Bruk av korrosjonsinhibitorer er derfor et ikke-reversibelt tiltak.

### 7.3.5 Lesbarhet

Korrosjonsinhibitoren er en transparent penetrerende væske. Den er ikke synlig og derfor ikke lesbar.

## **7.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser**

Bransjen har foreløpig for liten erfaring med metoden til å kunne si noe om levetiden for denne type behandling. Dessuten foreligger ikke tilstrekkelig dokumentasjon som viser at korrosjonsinhibitorer fungerer som forutsatt.

Når det gjelder selve overflatebehandlingen, må tilsyn og rebehandling utføres som angitt i kap8.4.



## 8. Preventiv overflatebehandling

Som metode er preventiv overflatebehandling behandlet i dette kapitlet. Antikvariske vurderinger ved all overflatebehandling er behandlet i avsnittet om antikvariske konsekvenser.

### 8.1 Metodebeskrivelse

Med preventiv overflatebehandling menes påføring av en karboniseringsbremsende overflatebehandling. Hensikten med en slik overflatebehandling er å redusere inntrenging av kuldioxid fra lufta inn i betongen, for på den måten å redusere karboniseringshastigheten.

Metoden er først og fremst egnet for betongkonstruksjoner der karboniseringsdybden er en del mindre enn armeringens overdekning.

Karboniseringsbremsende overflatebehandling benyttes som regel sammen med mekanisk reparasjon. Dette er kommentert nærmere i kap.4.

For mer utfyllende beskrivelse av overflatebehandling av betong henvises til kap.9 i publikasjon /2/ samt publikasjon /5/ i vedlagte litteraturliste.

### 8.2 Bygningsmessige konsekvenser

Påføring av en karboniseringsbremsende overflatebehandling krever alltid en grundig rengjøring av underlaget i forkant. Dersom betongflaten er malt, er det svært ofte nødvendig å fjerne eksisterende overflatebehandling for å sikre god heft, for å unngå for tett samlet overflatebehandling og/eller fordi ny overflatebehandling ikke er kompatibel med eksisterende overflatebehandling.

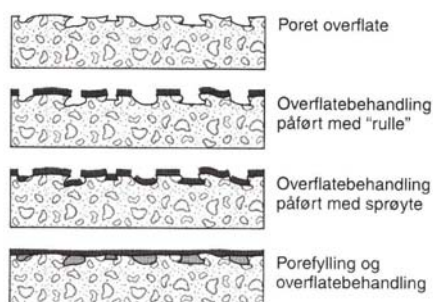


Fig. 8.1  
Effekt av porefylling /2/

Dersom betongoverflaten er porete, må overflaten porefylles slik at porene tettes. Dette er viktig for å sikre at den karboniseringsbremsende overflatebehandlingen kan danne en sammenhengende film og dermed fungere som forutsatt. Effekt av porefylling er vist på figur 8.1. Det benyttes fortrinnsvis en sementbasert porefyller.

Den karboniseringsbremsende effekten er størst dersom overflatebehandlingen er tettest mulig. Faren med dette er at overflatebehandlingen blir så tett at fuktighet i konstruksjonen ikke får diffundere ut gjennom overflatebehandlingen.

Resultatet kan bli fuktopphoping bak malingsfilmen, noe som i sin tur vil medføre malingsavflassing og fare for frostskafer i underlaget.

Det er derfor viktig at den karboniseringsbremsende overflatebehandlingen er mest mulig diffusjonsåpen mht. vanndamp slik at fuktighet i konstruksjonen får diffundere ut gjennom overflatebehandlingen. Dette er spesielt viktig på fasadeflater med innvendig varm flate og utvendig kald flate.

En preventiv overflatebehandling skal være karboniseringsbremsende, slagregntett og diffusjonsåpen mht. vanndamp. Dette betyr at produkter med rent bindemiddel av kalk, sement eller silikat ikke er egnet. Organiske materialer med bindemiddel av for eksempel lateks eller akryl har gode karboniseringsbremsende egenskaper. En skal være oppmerksom

på at denne type overflatebehandling ikke er særlig egnet på kalk- og kalksementpuss, fordi overflatebehandlingens egenskaper ikke er kompatible med pussens egenskaper. En karbonatiseringsbremsende maling på en puss som nettopp trenger tilgang på CO<sub>2</sub> blir meningsløst. (Ikke hvis karbonatiseringen er unnagjort før malingen påføres) Resultatet kan derfor bli at opprinnelig puss må fjernes, dersom det er nødvendig med en karbonatiseringsbremsende maling. De organiske malingerne er kun egnet på betongunderlag.

Som regel er det dels manglende og dels mangelfull dokumentasjon av opprinnelig overflatebehandling. Dette er spesielt problematisk ift. en antikvarisk vurdering. Det er derfor viktig å få identifisert/kartlagt opprinnelig overflatebehandling.

I forbindelse med overflatebehandling, bør det alltid utføres et prøvefelt/prøveprosjekt på forhånd for vurdering av struktur, glans, farge, misfarging, etc.

Risikoen for endringer over tid for overflatebehandling er først og fremst knyttet til noe falming - endring av farge.

Når det gjelder overflatebehandling av realkaliserte flater, er risikoen for endringer over tid knyttet til faren for malingsavflassing og misfarging.

### **8.3 Antikvariske konsekvenser**

#### **8.3.1 Arkitektur**

Påføring av ny overflatebehandling, vil i mange tilfeller føre til endringer i overflatestruktur og i noen grad byggverkets karakter og uttrykk vurdert på avstand. Spesielt vil overflatebehandling av tidligere ubehandlede flater gi store negative endringer, men også endring i farge betraktes som endring i arkitekturen. Velges annen type overflatebehandling enn opprinnelig, må ny overflatebehandling ha tilnærmet samme glans og tekstur.

Endringer i bygningens karakter skyldes derfor enten valg av annen farge enn opprinnelig, bruk av annen type overflatebehandling enn opprinnelig eller overflatebehandling av tidligere ubehandlede flater.

Bruk av porefyller vil også kunne medføre endring i overflatestruktur. Med porefylling påføres betongflaten et nytt materiale. Korngraderingen i porefylleren blir nødvendigvis forskjellig fra opprinnelig betong, fordi porefylleren skal ha mulighet til å fylle porene i betongoverflaten.

I forbindelse med påføring av ny overflatebehandling, må ofte opprinnelig maling fjernes. Forbehandlingen (malingsfjerning og rengjøring) vil i større eller mindre grad føre til endring av struktur, karakter og overflate ved at deler av sement huden i overflaten fjernes. Jo svakere underlaget er, dess mer sannsynlig er det at overflaten blir ruere enn opprinnelig. Kraftig sandblåsing vil medføre en langt grovere overflatestruktur enn den opprinnelige flaten, mens slipingseffekten ved sandvaskingen vil bidra til en noe mer avrundet overflatestruktur enn den opprinnelige. Figurene 8.2 og 8.3 viser eksempler på endret overflatestruktur etter malingsfjerning.

Overflatestrukturen etter forbehandling er avhengig av:

- forbehandlingsmetode
- betongens fasthetsegenskaper
- type overflatebehandling som skal fjernes



Fig. 8.2  
Spor i overflaten etter malingsfjerning



Fig. 8.3  
Endret overflatestruktur på grunn av sandblåsing

### 8.3.2 Inngrep

Inngrepet er først og fremst knyttet til fjerning av opprinnelig overflatebehandling – maling eller puss. Det er ikke ønskelig ut fra et antikvarisk synspunkt å fjerne opprinnelig overflatebehandling eller puss.

For å unngå fjerning av puss, kan flatene påføres en annen type overflatebehandling som er mer kompatibel med puss, men uten særlig karboniseringsbremsende effekt, f.eks. rene kalk-, sement- eller silikatmalinger.

### 8.3.3 Materialer og byggemetode

Endring i materialbruk/overflatebehandling skyldes enten bruk av annen type overflatebehandling (materialsammensetning) eller påføring av overflatebehandling på tidligere ubehandlede flater. Når det benyttes en annen type maling enn den opprinnelige for å oppnå en karboniseringsbremsende effekt, er det å betrakte som en vesentlig endring i materialbruk.

Det er ikke ønskelig ut fra et antikvarisk synspunkt å fjerne opprinnelig puss. For å unngå å fjerne puss, kan flatene påføres en annen type overflatebehandling som er mer kompatibel med puss, men uten særlig karboniseringsbremsende effekt, f.eks. rene kalk-, sement- eller silikatmalinger. Dersom en karboniseringsbremsende overflatebehandling ikke påføres, vil karboniseringsprosessen fortsette som før og utvikle armeringskorrosjon når karboniseringsfronten når armeringen. Dette gjelder kun ved mekanisk reparasjon og ikke overflatebehandling etter elektrokjemiske metoder.

### 8.3.4 Reversibilitet

En filmdannende overflatebehandling kan fjernes i ettertid og er dermed å betrakte som et reversibelt tiltak. Selv om den kan fjernes i ettertid, må en være oppmerksom på at det er en viss fare for endret overflatestruktur pga. forbehandlingen som er nødvendig for å fjerne overflatebehandling. Prosessen med å fjerne malingen kan bl.a. føre til skade på underliggende betong pga. ”graving/sliping” i betongoverflaten.

Ved impregnering trenger impregneringsvæsken inn i betongen og kler poreveggene med en meget tynn film slik som vist på figur 8.4. Siden det ikke etableres en film på betongoverflaten ved impregnering, er den umulig å fjerne uten å måtte fjerne den impregnerte delen av betongen. Impregneringen er derfor ikke-reversibel.

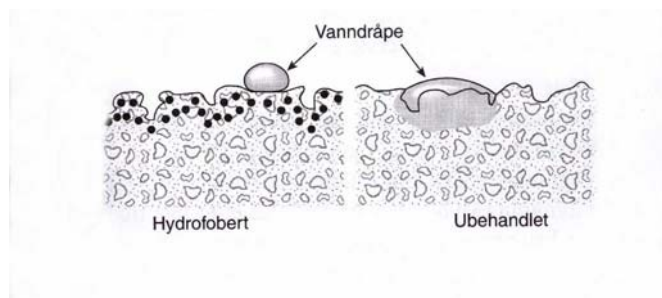


Fig. 8.4  
Effekt av impregnering /2/

### 8.3.5 Lesbarhet

Overflatebehandling av betongflatene kan bidra til at de reparerte områder blir mindre synlige enn de ville vært uten overflatebehandling. En skal likevel være oppmerksom på at en overflatebehandling også kan fremheve reparerte områder på grunn av ujevn glans og struktur.

### **8.4 Drifts- og vedlikeholdsmessige konsekvenser**

Normalt tilsyn må utføres jevnlig for å fange opp tegn til skader samt slitasje på overflatebehandlingen. Rebehandling er normalt nødvendig etter 10-15 år, avhengig av de påkjenninger fasaden utsettes for.

Eksisterende overflate må rengjøres grundig før flatene kan påføres nytt malingslag. En forutsetning for rebehandling er at samlet filmtykkelse (etter rebehandling) ikke endrer de fukt-tekniske egenskapene mht. vanndampdiffusjon. Dette bør alltid dokumenteres. Dersom rebehandlingen medfører at samlet overflatebehandling blir for tett, må eksisterende overflatebehandling fjernes før ny maling påføres.

## 9. Sammenstilling

### 9.1 Generelt

Dagens utbedringsmetoder for skader som skyldes karboniseringsinitiert armeringskorrosjon er både teknisk og antikvarisk egnet til reparasjon av kulturminner i betong. Foreløpig bør en være noe tilbakeholdende når det gjelder bruk av korrosjonsinhibitorer, fordi det ikke finnes dokumentasjon som viser at metoden fungerer over tid.

Valg av metode må vurderes i hvert enkelt tilfelle og vil bl.a. være avhengig av synlig skadeomfang, omfang av betong eller puss som må fjernes, karboniseringsdybden i forhold overdekningen, overflatestruktur, overflatebehandling, puss, frilagt tilslag, etc. En grundig tilstandsanalyse må derfor gjennomføres i forkant som grunnlag for valg av metode.

### 9.2 Mekanisk reparasjon

Fullstendig mekanisk reparasjon er generelt lite aktuell i forbindelse med rehabilitering av verneverdige bygninger pga. store inngrep i konstruksjonen. Begrenset mekanisk reparasjon i kombinasjon med en preventiv overflatebehandling er derimot aktuell når en begrenset del av armeringen ligger i karbonatisert betong. En karboniseringsbremsende maling kan være i konflikt med hva som er brukt opprinnelig. Dersom opprinnelig overflatebehandling likevel benyttes istedenfor en karboniseringsbremsende maling, vil resultatet bli et større og hyppigere fremtidig reparasjonsbehov.

Mekanisk reparasjon medfører i større eller mindre grad inngrep i betongkonstruksjonen alt avhengig av skadeomfanget. Reparasjonene vil i varierende grad være lesbare avhengig av type tilslag samt farge- og strukturforskjell på reparert område i forhold til opprinnelig betong. De største endringen ved mekanisk reparasjon får en når all opprinnelig puss og/eller overflatebehandling fjernes og erstattes med annen type puss og/eller overflatebehandling. Dette bidrar både til endret karakter, form og uttrykk.

### 9.3 Elektrokjemisk realkalisering

Elektrokjemisk realkalisering kan være godt egnet for verneverdige betongkonstruksjoner, dersom karboniseringsdybden er større eller lik armeringens overdekning og skadeomfanget er beskjedent. Metoden medfører normalt små inngrep i konstruksjonen selv om den er pusset, og det er liten fare for utvikling av nye skader. I tillegg står en relativt fritt når det gjelder valg av overflatebehandling, fordi den har en estetisk og historisk funksjon. Ulempen med metoden er knyttet til nødvendig uttørkingstid før betongoverflaten kan males, pga. nedfuktingen med alkalisk væske.

Inngrepet ved elektrokjemisk realkalisering er størst på betongflater som er malt, fordi det som oftest er nødvendig å fjerne all eksisterende maling for at metoden skal fungere. Siden eksisterende overflatebehandling fjernes, er det også stor fare for endret overflatestruktur som følge av forbehandlingen. Omfanget av reparasjoner er normalt lite ved metoden. Realkaliseringen er ikke-reversibel og ikke lesbar. Malingsavflassing og misfarging kan være et problem med metoden. Faren for utvikling av nye skader pga. armeringskorrosjon er liten.

### 9.4 Katodisk beskyttelse

Katodisk beskyttelse er først og fremst egnet når betongen inneholder skadelige klorider. Ledende malingsystemer benyttes en del i forbindelse med karboniseringsinitiert korrosjon. Katodisk beskyttelse vil medføre betydelig større inngrep i konstruksjonen enn elektrokjemisk realkalisering. I tillegg krever katodisk beskyttelse kontinuerlig oppfølging og overvåking

I enkelte tilfeller kan for eksempel trådnett som legges i ny slemmemasse være egnet på verneverdige konstruksjoner, spesielt der en kan oppnå tilsvarende overflatestruktur og glans som i opprinnelige overflater.

Inngrepet ved katodisk beskyttelse med ledende belegget og trådnett i slemmemasse/puss er knyttet til at all eksisterende maling må fjernes for å sikre god heft for anoden. I tillegg tilføres konstruksjonen en hel del nye materialer som selve anoden (det ledende belegget), kabling, instrumentering samt beskyttende overflatebehandling. Metoden er reversibel. All kabling og instrumentering vil som regel være synlig og kan være forstyrrende. Det ledende belegget vil normalt gi en annen overflate enn det opprinnelige.

### **9.5 Korrosjonsinhibitorer**

Korrosjonsinhibitorer utføres som regel aldri som et isolert tiltak. Inhibitorer benyttes som en ekstra sikkerhet ved begrenset mekanisk reparasjon kombinert med preventiv overflatebehandling for å minimalisere faren for videreutvikling av skader pga. armeringskorrosjon. Bransjen har foreløpig liten erfaring med metoden og det foreligger ikke tilstrekkelig dokumentasjon som viser at inhibitorene fungerer som forutsatt over tid.

Ved bruk av korrosjonsinhibitorer tilføres betongkonstruksjonen et nytt materiale som ikke er reversibelt. Korrosjonsinhibitoren er transparent og dermed ikke synlig.

### **9.6 Overflatebehandling**

Preventiv overflatebehandling i form av karboniseringsbremsende maling er først og fremst aktuell på betongkonstruksjoner der karboniseringsdybden er en del mindre enn armeringens overdekning. Denne type overflatebehandling er ikke egnet for betongflater med kalk- eller kalksementpuss.

I mange tilfeller må eksisterende overflatebehandling fjernes ved rehabilitering. Nødvendig forbehandling kan resultere i endret overflatestruktur. I enkelte tilfeller må betongoverflaten pusses eller sparkles etter utført forbehandling, fordi flatene blir for ru og ujevne.

Påføring av ny type overflatebehandling medfører endret materialbruk og kan medføre endret overflatestruktur, karakter og uttrykk. Overflatebehandling av tidligere umalte flater samt valg av annen farge enn opprinnelig bidrar til en vesentlig endring av arkitekturen.

Filmdannende overflatebehandling er reversibel i motsetning til impregnering som ikke er reversibel.

## Litteraturliste

- /1/ Rapport "Forprosjekt - Alternative metoder for reparasjon av karbonatisert betong", utarbeidet av Stærk & Co. a.s, 19.02.01
- /2/ Bernt Kristiansen, Jan Lindland og Trond Østmoen, "Betongrehabilitering – Metoder og utførelse", Byggenæringens Forlag 1998
- /3/ Byggforskseriens forvaltningsblad 720.232 "Armeringskorrosjon i betongkonstruksjoner. Utbedring av skader", 1997
- /4/ RIF-publikasjonen "Betongrehabilitering – utfyllende tekniske bestemmelser til NS 3420", Rådgivende Ingeniørers Forening, Oslo 1990
- /5/ Norsk Betongforening publikasjon nr. 24 "Overflatebehandling av utvendige betongflater", 1999
- /6/ Jan Lindland, Hågen Vikan og Olav Ødegård, "Betongrehabilitering – begrenset mekanisk reparasjon. Erfaringer", 1995
- /7/ RIF-publikasjonen "Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner", Rådgivende Ingeniørers Forening, Oslo 1995
- /8/ Pål Gjerp og Morten Opsahl, "Grunnleggende betongteknologi", Byggenæringens Forlag 2001
- /9/ Statens vegvesen: Inspeksjonshåndbok for bruer. Håndbok 136, Oslo 2000
- /10/ Byggforskseriens byggdetaljblad 520.061 "Armeringskorrosjon", 1990