

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Fakultet for miljøvitenskap og teknologi

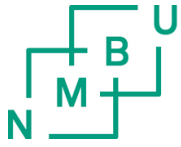
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2016  
30 stp

# **Rehabilitering av eldre betongbygg**

Rehabilitation of older concrete buildings

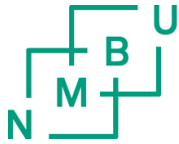
Kazhal Mohammad



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave våren 2016 - Kazhal Mohammad Mahmoud

---



## Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i Ås, og er den avsluttende oppgaven innen masterprogrammet Byggeteknikk og arkitektur. Det har vært utfordrende, men ikke minst veldig lærerikt å jobbe med denne oppgaven, og inntrykket jeg sitter igjen med etter endt oppgaveskriving er veldig positivt.

Jeg vil spesielt få takke mine veiledere, professor John Petter Langdalen ved NMBU og Camilla Sandem Dhelie fra Weber, for råd og veiledning.

Oppgaven er utført i samarbeid med Millab Consult a.s. Problemstilling og store deler av materialet til oppgaven er hentet herfra. Derfor er det på sin plass å takke Iain Miller for stor tålmodighet og interesse i oppgaven.

En spesiell takk til mannen min og barna mine som har hatt troa og støttet meg hele tiden. Det betyr utrolig mye, spesielt på de tunge dagene. Takk til familie og venner som har vist interesse og støtte.

Ås, mai 2016

*Kazhal Mohammad*



## Sammendrag

Betong har vært det primære byggematerialet i det tjuende århundret. Den blir som alle andre materialer utsatt for ulike kjemiske, fysiske, og biologiske nedbrytningsmekanismer. Materialet er ikke et vedlikeholdsfritt og evigvarende materiale, slik oppfatningen tidligere har vært, og denne feiloppfatningen har medført manglende og dårlig vedlikehold. Betongkonstruksjoner bør ha jevnlig vedlikehold og tilsyn for å oppfylle den dimensjonerte levetiden.

Denne oppgaven handler om rehabilitering og reparasjon av betongbygninger generelt, og er spesielt rettet mot bygninger oppført i perioden 1910-1950, som viser tydelige tegn til forfall, og som har behov for vedlikehold. Boligblokker og eneboliger er blant disse byggene.

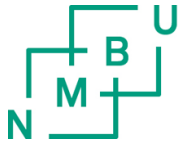
Oppgaven beskriver hvilken betongkvalitet og byggemetoder som ble brukt i tidsperioden, og beskriver hvilke skader som befinner seg i disse byggene, samt beskriver hvilke utbedringsmetoder som brukes.

Oppgaven er utført gjennom et omfattende litteraturstudie og intervjuer.

Ved rehabilitering av betongbygg reises det problemstillinger omkring reparasjonsmaterialer. Reparasjonsmaterialer er ofte lite egnet for rehabilitering fordi materialene i liten grad er tilpasset betongunderlaget. Det mangler fortsatt vitenskapelige metoder for å velge korrekte reparasjonsmaterialer basert på kompatibilitetsbehov for å sikre vellykkede resultater og lang varighet.

Kompatibilitet i reparasjonssystemer kan defineres som balansen mellom fysiske, kjemiske og elektrokjemiske egenskaper til henholdsvis reparasjonsmaterialet og underlaget. Målet er å oppnå en balanse som medfører at systemet tåler alle påkjenninger forårsaket av laster, kjemiske miljøpåkjenninger, termiske miljøpåkjenninger, samt diverse kjemisk-fysiske effekter over en bestemt periode som kan kalles levetid.

For å oppnå en vellykket reparasjon med langt levetid, må det iverksettes forsknings- og utviklingsprosjekter i samarbeid med materialleverandører og konsulenter som forhåpentligvis vil lede til bedre reparasjonsmaterialer og -systemer, bredere produktutvalg, effektive testmetoder for bestemmelse av betongens materialeegenskaper, samt endringer i standarder og normer for materialproduksjon, tilstandskontroller og anvendelser.



## Summary

Concrete has been the primary building material in the twentieth century. It has, as every other material, been exposed to different chemical, physical and biological decay processes. The material is not a maintenance free and everlasting material as perceived previously, and this misconception has resulted in lack of and poor maintenance. Concrete constructions should have regular maintenance and supervision to fulfill the designed lifetime.

This thesis is about the rehabilitation and repair of concrete buildings in general, and specifically targets buildings erected between 1910-1950, showing clear signs of maturity, and in need of maintenance. Multi family houses and single family houses are among these buildings.

The thesis describes the different concrete qualities and building methods that were used in this period, and describes which damages you might find. At last which remediation methods that can be used.

The thesis has been conducted as a comprehensive study of literature and interviews.

Issues concerning the repair materials has been detected when rehabilitating concrete buildings. Repair materials are often unsuitable for rehabilitation because the materials are seldom adapted to the existing concrete substrate. It is still lacking scientific methods to establish the appropriate repair materials based on the compatibility needed to ensure successful outcomes and long duration.

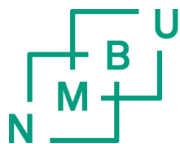
The compatibility in the repair systems can be defined as the right balance between physical, chemical and electrochemical properties in both the repair material and the substrate. The target is to obtain a balance that ensures that the system can endure all the stress and strain that are caused by loads, chemical attacks, thermal environment changes, and different chemical-physical effects in this period that is called the lifetime.

To obtain a successful repair with a long lifetime, different research and innovation projects need to be initiated between material providers and advisors. This will hopefully lead to better repair materials and –systems, a wider product range, more effective test methods for the determination of the concrete material properties and finally changes in standards and norms for the material production, condition monitoring and the use of these.



## Innholdsfortegnelse

Forord.....	3
Sammendrag .....	4
Summary .....	5
1 Innledning.....	8
1.1 Problemstilling.....	8
1.2 Avgrensing .....	8
2 Betongens og sementens historie .....	9
3 Betongkvalitet fra 1910 frem til i dag.....	10
3.1 Betongfremstilling ca 1910 til 1960.....	10
3.2 Betongfremstilling ca 1960 til 1990.....	10
3.3 Betongfremstilling ca 1990 til idag.....	11
4 Stilarter og byggemetoder (1910-1950).....	12
5 Byggemetoder og konstruksjoner (1910-1950) .....	15
5.1.1 Plane betongdekker.....	15
5.1.2 Betongvegger .....	15
6 Nedbrytningsmekanismer .....	17
6.1 Armeringskorrosjon.....	17
6.1.1 Karbonatisering .....	19
6.1.2 Kloridinntrengning.....	21
6.2 Fysiske påkjenninger .....	23
6.2.1 Frostangrep .....	23
6.2.2 Fuktighetsvariasjoner .....	24
6.2.3 Temperaturvariasjoner.....	24
6.3 Kjemisk nedbrytning.....	24
6.3.1 Alkalireaksjoner .....	24
6.3.2 Utlutning.....	25
6.3.3 Biologisk nedbryting .....	26
7 Betongrehabilitering.....	27
7.1 Tilstandsanalyse .....	27
7.1.1 Målingsmetoder .....	28
7.2 Forbehandling av prøver og overflater .....	33



---

7.2.1	Mekanisk forbehandling.....	33
7.2.2	Termisk forbehandling .....	34
7.2.3	Kjemisk forbehandling.....	34
7.3	Reparasjonsmetoder .....	34
7.3.1	Mekanisk reparasjon .....	35
7.3.2	Elektrokjemisk realkalisering.....	37
7.3.3	Katodisk beskyttelse .....	38
7.3.4	Elektrokjemisk kloriduttrekk .....	40
7.3.5	Preventiv og overflatebehandling .....	40
8	Metoder for utbedring av verneverdige bygninger med armeringskorrosjon.....	43
9	Mislykkede betongreparasjoner .....	47
9.1	Kompatibilitetsfaktorer og materialegenskaper .....	48
9.1.1	Dimensjonert kompatibilitet .....	49
9.1.2	Permeabilitet og kompatibilitet .....	50
9.1.3	Elektrokjemisk kompatibilitet.....	53
9.2	Veikart for valg av reparasjonsmaterialer .....	56
9.2.1	Dimensionbar kompatibilitet.....	56
9.2.2	Permeabilitet og kompatibilitet .....	57
9.2.3	Elektrokjemisk kompatibilitet.....	57
9.2.4	Kjemisk kompatibilitet.....	58
9.2.5	Estetisk kompatibilitet.....	58
10	Resultater og diskusjon .....	59
10.1	Betong og skader i funksisbygg.....	59
10.2	Hvordan betong i perioden 1910-1950 har oppført seg med hensyn til armeringskorrosjon og hvordan den skiller seg fra nyere og dagens betong .....	61
10.3	Kartlegging av utbedringsmetoder.....	61
10.4	Reparasjonsmateriale.....	62
11	Konklusjon .....	64
12	Figurliste .....	66
13	Referanser .....	68

## 1 Innledning

Betong er et dominerende byggematerialet som allerede ble benyttet for 2000 år siden i romerske konstruksjoner. I Norge har betong blitt benyttet sporadisk siden 1850-tallet til bygging av større signalbygg og til militære formål. Spesielt var den industrielle utviklingen på tidlig 1900-tall svært avgjørende for bruken. Utviklingen av betong har vært drevet av bla. byggeteknikk, krav til styrke, endringer i bindemiddelet mm. Det er derfor grunn til å anta at dagens betong skiller seg på flere punkter fra betong som ble benyttet på 1860-tallet, 1920-tallet og i dag.

Betong, som andre materialer, blir 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 dette fagområdet når det gjelder utbedringsmetoder.

### 1.1 Problemstilling

Mange av de tidligste betongbyggene har nå behov for rehabilitering. Denne masteroppgaven skal prøve å besvare noen av de spørsmål som dukker opp innen rehabilitering av eldre betongbygg fra perioden 1910-1950, hvor følgende emner står sentralt:

- Betongkvalitet
- Byggetoder og konstruksjonstyper
- Nedbrytning av armert betong
- Rehabiliteringsmetoder
- Reparasjonsmaterialer

### 1.2 Avgrensing

I denne oppgaven har jeg sett nærmere på reparasjon av skader som forårsakes av armeringskorrosjon som følge av karbonatisering eller kloridinfisering av betong i bygninger fra 1910-1950. Skader som ikke skyldes armeringskorrosjon er ikke behandlet (slik som setninger, fuktproblemer, etc).



## 2 Betongens og sementens historie

Betong som byggemateriale ble først tatt i bruk for svært lenge siden, blant annet sier forskere at dette byggematerialet ble brukt for ca. 9000 år siden. Det er bevist at det i Jugoslavia ble benyttet kalkstein som bindemiddel mellom grus, sand og stein i 5600 år f.kr. Egypterne og grekerne kjente også til kalkegenskapene.

Som byggemateriale brukte romerne vulkansk aske blandet med brent kalk. Blandingen som ble tilsatt vann og dannet et lignende produkt som dagens betong fremstilt av portlandsement. Dette bindemiddelet er kalt for Pozzolan sement etter navnet til en by som ligger i nærheten av Napoli.

Kunnskapen om sement forsvant i 1000 år med romerrikets undergang. På 1100 tallet begynte Tyskland og England igjen å bruke betong enkelte steder.

På 1700 tallet, etter forskjellige eksperimenter med forskjellige sementtyper, oppdaget briten John Smeaton et resultat fra blandingen av Pozzolan, kalk og leire. Dette materialet ble oppvarmet i ovn og senere malt til et fint pulver som ble kjent som naturlig sement, eller hydraulisk kalk.

Portlandsement er også et hydraulisk produkt. Etter blanding med vann, stivner sementen og den blir vannbestandig. Denne sementen lages av kalkstein og leire som brennes sammen og deretter pulveriseres. Kostnaden er mye lavere enn produksjon av naturlig sement. Navnet kommer fra en sementlignende steintype fra Portlandhalvøya i England. Aspdin utviklet dette produktet i 1824 og kalte det for Portlandsement. Produksjon av sement startet i Norge på Slemmestad på slutten av 1890-tallet. [1]

Betong fikk gjennomslag som byggemateriale etter at man fant ut at materialbruken kunne forbedres i kombinasjon med armeringsjern. Kombinasjonen av stål og betong forbedrer byggematerialets kapasitet, fordi betong tåler stort trykk, og armeringen tåler strekkrefter.

I ca. 1917 i Oslo ble armert betong brukt som etasjeskille i Oslo Havneler. Først på 1920-30 tallet ble betong brukt til bygging av boligblokker og til bygging av dekker og vegger i 30-tallets funkishus, som Ekebergrestauranten, Ingerstrand Bad og liknende kontorbygg. [2]

### 3 Betongkvalitet fra 1910 frem til i dag

#### 3.1 Betongfremstilling ca 1910 til 1960

I utgangspunktet er fersk betong en mer eller mindre flytende masse av vann (16-20%), sement (10-15 %), sand og stein (60-70 %). Sementen er bestanddelen i betongen som binder de øvrige bestanddeler sammen. Derfor kalles sementen et bindemiddel. Prosentandelene angir grovt de enkelte bestanddelenes andel av det totale volumet. Bestanddelene blandes til en plastisk masse som støpes i former. Tidlig på 1900-tallet begynte man å bruke motordrevne blandemaskiner i forbindelse med større arbeider, men håndblanding på byggeplassen var den mest benyttede metoden for fremstilling av betong. Blandingsforholdet ble angitt med forholdstall i volumdeler, for eksempel 1:2:3 for henholdsvis sement, grus og fin grus. Vann ble tilsatt inntil ønsket konsistens ble oppnådd.

Den første norske standarden for sementproduksjon, NS 425, kom først i 1934, men Portlandsement hadde en nesten ensartet kvalitet på hele 1900-tallet. De første norske standardene for produksjon av betong og armert betong, NS 427 og NS 428, ble vedtatt i 1939. Disse standardene innførte faste betegnelser på betongkvaliteter, A, B, C, D, med normerte fasthetskrav, angitte normalblandingsforhold og største tillatte vann/sementforhold. Før standardene ble vedtatt, fulgte man i stor utstrekning en rekke resepter og normer – NIF-normer – som ble gitt ut av Den Norske Ingeniørforening fra ca. 1926.

På 1920-tallet foregikk mesteparten av betongfremstillingen ved håndblanding. I tillegg var betongkvaliteten som ble oppnådd avhengig av tilslagstype, blandingsforhold, sementmengde, og tilsatt vannmengde. Nesten all betong ble blandet på byggeplass, trillet ut med trillebår, og utstøpning foregikk i små mengder av gangen. Betongfremstillingen ga opphav til store variasjoner i kvalitet på grunn av varierende vannsement-forhold og varierende sement-aggregatforhold. Kvalitetsvariasjonene ble ytterligere forsterket av at komprimering av betong ble utført for hånd ved staking med stenger eller hammerbanking på forskalingsformer. Betong fra 1920-tallet er derfor ofte porøs, og har ofte store kvalitetsvariasjoner i en og samme konstruksjonsdel.

Betongkonstruksjoner fra 1920-tallet er slakkarmert med glatte armeringsstenger av svartstål. Dette var før armeringsnett og kamstål ble introdusert. Regelverket ble i liten grad fulgt og kompetansen hos de prosjekterende og utførende var mangelfull. Man hadde slått seg til ro med forestillingen om at betong var et evigvarende materiale. Men frem til i dag er det avdekket skader i mange betongkonstruksjoner som ble bygd på tidlig på 1900-tallet. [3]

#### 3.2 Betongfremstilling ca 1960 til 1990

Utviklingen gikk så videre mot stadig bedre materialutnyttelse, mer kompliserte og spesialiserte betongsammensetninger, og mer effektive byggemetoder. Jon Dagestad var den personen som gjorde mest for utviklingen av betongfabrikker for fremstilling av ferdigbetong. Han jobbet for Norsk Tekniske Byggekontroll AS (Senere Noteby AS) og brukte mye tid på å utvikle fabrikker for fremstilling av ferdigbetong. Dagestad utførte mesteparten av sitt arbeid på slutten 1960 tallet og i begynnelsen av 1970 tallet. Før Dagestads tid eksisterte det veldig få fabrikker for fremstilling av ferdigbetong for levering av fersk betong til byggeplasser.

Produksjon av OPC (Ordinær Portland Sement) er en stor bidragsyter til utslipp av karbondioksid til atmosfæren. Karbondioksid frigjøres ved reduksjon av kalksteinsmelet som hovedsakelig består av kalsiumkarbonat. I tillegg forbrukes store energimengder til varmeproduksjon som behøves til reduksjonsprosessen. 5% av de totale CO<sub>2</sub> utslippene skyldes produksjon av sement. Under sementproduksjonen vil 60% av utslippet skyldes kalsinering når kalksteinsmel blir brent til kalsiumoksid (klinker) ved avgivelse av karbondioksid, og 40% av utslippet er fra energien som brukes til selve sementproduksjonen. [4]

Betong var et materiale i stadig utvikling, og man prøvde hele tiden å finne nye løsninger for å gjøre betongen mer anvendelig i et stadig mer utfordrende miljø og klima.

Betongfremstilling med redusert sementinnhold ble introdusert på slutten av 1960 tallet. P-stoffer (plastiserende) og SP-stoffer (superplastiserende) ble brukt som vannreducerende og plastiserende tilsetninger. Disse tilsetningsstoffene benyttes fortsatt for å redusere vanninnholdet i betongblandinger uten at konsistensen forringes, eller for å øke synkmålet uten at vanninnholdet økes.

Ved å benytte tilsetningsstoffer kan sementmengden reduseres. Magre betongblandinger som ellers ikke kan benyttes til utstøping kan tilsettes litt superplastiserende tilsetningsstoff for å gjøre blandingen egnet for støping. Introduksjonen av superplastiserende tilsetningsstoffer medførte at sementmengden i betongfremstilling ble sterkt redusert fra omkring 1960-årene og frem til i dag. Alkalie-mengden er derfor adskillig mindre i moderne betong enn i betong fremstilt frem til siste halvdel av 1960-tallet. [5]

### 3.3 Betongfremstilling ca 1990 til idag

Silika er et biprodukt fra produksjonen av silisium og ble tidligere sett på som et avfallsprodukt. De ørsmå partiklene, som er finere en sigarettøyk, ble sluppet rett ut av fabrikkpipene sammen med annen røyk og forurensning. Da man på 1970-tallet fikk strengere retningslinjer innenfor miljø, ble det iverksatt tiltak for å rense røyken på fabrikkene for å få ned forurensningen og utslippene. Da var det naturlig å finne egnede bruksområder for avfallet som ble skilt ut. I Norge og andre skandinaviske land ble det allerede på 1950-tallet gjort forsøk på å benytte mikrosilika til betongfremstilling. Man fant at mikrosilika i kombinasjon med Portlandsement hadde en positiv effekt på både styrken og tettheten til betong på slutten 1980 tallet.

Mens silika er et industrielt avfallsprodukt fra produksjonen av ferrosilisium, er flyveaske et mineralsk forbrenningsavfall fra kullindustrien. Flyveaske brukes hovedsakelig for å styre tettheten og varmeutviklingen i betong. Flyveaske øker betongens vannbehov under blanding. I tillegg øker flyveaske betongens tetthet i herdet tilstand og gir en lavere varmeutvikling under herding. [6]

Pozzolane tilsetningsstoffer (flyveaske, silika) ble brukt både i sement- og i betongproduksjon. Når pozzolaner tilsettes i sementen (mest flyveaske og slagg) endrer dette den kjemiske sammensetningen i sementen, og dermed også sementens egenskaper. Når pozzolaner tilsettes ved betongfremstilling (mest silika og flyveaske) endres ikke sementegenskapene, men kun betongens egenskaper. I dag fremstilles nesten all betong ved bruk av tilsetningsstoffer. [7]

## 4 Stilarter og byggemetoder (1910-1950)

Selv om Norge i begynnelsen av 1900 tallet var opptatt av sin identitet, hadde de også god kontakt med omverdenen, blant annet Europa som de fikk impulser fra. Disse holdningene ble gjenspeilet i arkitekturen, men med to forskjellige retninger. Den ene retningen var preget av det stedlige med naturtilpasninger og norsk tradisjon, og den andre retningen var preget av mer åpenhet mot de internasjonale og toneangivende stilarter.

På hele 1900 tallet hadde begge retningene overtaket vekselvis. Rundt første verdenskrigen ble denne splittelsen merkbar. Det to retningene som konkurrerte mest med hverandre var Nasjonalromantikken og Nyklassismen eller 20-talls klassisme.

Da funksjonalismen overtok mot slutten av 1920 tallet, opphørte konkurransen mellom Nasjonalromantikken og Nyklassismen. På begynnelsen av 1900 tallet fikk funksjonalismen utbredelse innen den europeiske arkitekturen. Den største grunnen til dette var at arkitektene var opptatt av å bruke nye byggeteknikker i tillegg til økt sosial bevissthet. Funksjonalismens første gjennombrudd her i Norge markeres i årene mellom 1925 - 1927 selv om stillen slo gjennom først etter Stockholmsutstillingen i 1930. Det var den tyske arkitektskolen og de franske arkitektene som først og fremst var kilde til denne inspirasjonen. [8]

Kanskje Le Corbusiers «Fem punkter for en ny arkitektur» fra 1926, sammen med hans egne arbeider hadde størst innflytelse på de nye modernistiske prosjektene. Funksjonalismens fem punkter: [9] ( figur 1 viser eksempel på et typisk funksisbygg)

- Skjelett av stålarmert betong
- Flatt tak med terrasse
- Fri innvendig planløsning
- Horisontale vindusbånd
- Den frie fasaden skulle komponeres



Figur 1: Villa Stenersen i Oslo (1938). [8]

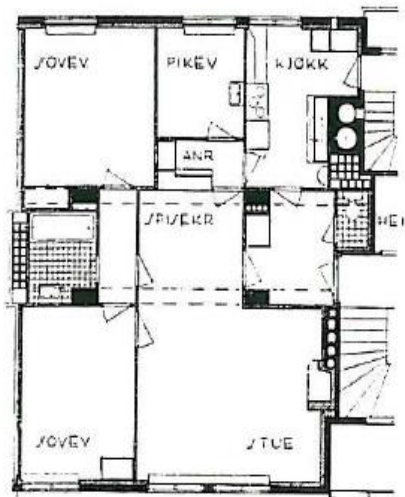
Eneboliger og boligblokker var blant de funksisbyggene som ble bygget på ca slutten av 1930 tallet.

**Eneboliger:** Etter at armert betong, tidligere ble kalt jernbetong, ble tatt i bruk som byggemateriale, var det ikke lenger behov for bruk av murvegger for understøttelse av lange etasjeskillere. Denne utviklingen innen bygg og anlegg førte til at eneboligene kunne ha bedre planløsninger med større åpninger som igjen ga muligheter til mer lys, bedre luft og utsikt. Samme prinsipper ble brukt for trebygninger kledd med panel. Det var ikke mange som kunne bygge hele huset sitt av armert betong på grunn av høye kostnader. Derfor finnes det ikke så mange av dem. Kjøpmannsboligene som var eid av de rike, ble bygget slik. De hadde sine forretninger i første etasje og bodde selv i andre etasje. Skjørt- og bluse – hus kaltes eneboliger som var bygd av betong, enten de hadde støpt sokkel (og) eller første etasje med andre etasjen bygget av trevirke og med pipen plassert på fasaden. [10]



Figur 2: Kormos-funkis. Eksempel på skjørt og blusehus. Foto: Christel Wigen. [10]

**Boligblokker:** Etter at armert betong ble tatt i bruk som byggemateriale, kunne boligblokkene bygges med flere etasjer. Selv om bruk av armert betong begynte fra rundt 1925, ble fortsatt trebjelkelag brukt som etasjeskille frem til andre verdenskrig. I perioden mellom 1929 og frem til 1940 ble det slutt med bruk av trebjelkelag og murvegger som bærende konstruksjon i boligblokkene. Bruk av armert betong som etasjeskille i blokkene førte til bedre lydisolasjon og brannskille, samt større åpninger i større rom og bedre lysforhold. Før bruk av armert betong som byggemateriale, var blokkene lavere og med to leiligheter av mindre størrelse i hver etasje, men etter at armert betong ble tatt i bruk, ble blokkene høyere, med flere og større leiligheter (3-4) i hver etasje. Denne løsningen tilfredstilte større families behov. [11]



Figur 3: Viser boligblokker. Kirkeveien, Oslo, 1934. 7-8 etg. Arkitekt Hans.Wang. [11]

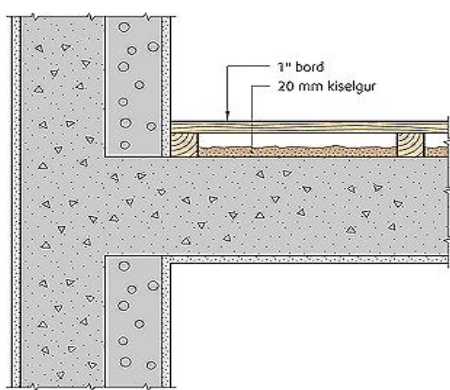


## 5 Byggetoder og konstruksjoner (1910-1950)

Fra begynnelsen var betongmaterialer basert på kalk som bindemiddel, men fra ca. 1920 ble sement brukt som bindemiddel. Betong fremstilt av sement er sterkere og stivere enn kalkbetong. Dette førte også til at betong fremstilt av sement ble tettere og mindre diffusjonsåpent enn kalkbetong.

### 5.1.1 Plane betongdekker

Etterhvert ble bruken av plane betongdekker, med puss og belegg av linoleum, enerådende til bygging av etasjeskillere i bygninger med flere etasjer i byene. Tilfarergulv med isolasjon av kiselgur ble ofte brukt over kjellere, portrom og opp mot loft. Tangmatten og matter av mineralull ble brukt utover på 1940-tallet. [12]

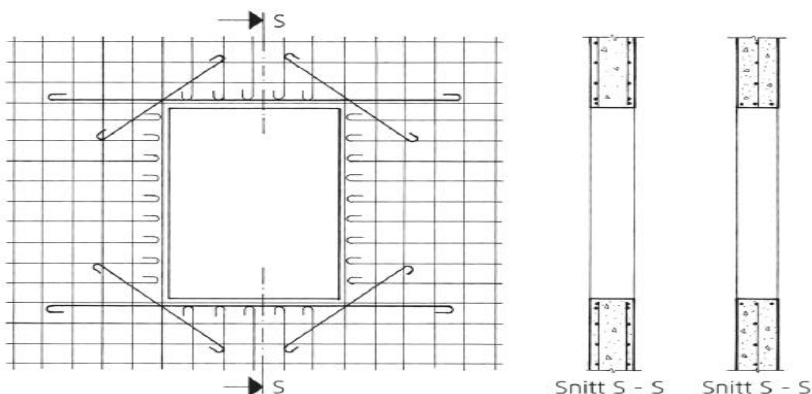


Figur 4: Eksempel på betongdekker med isolert tilfarergolv over kjeller. [12]

### 5.1.2 Betongvegger

Armert betong ble lansert i 1890-årene med en byggemåte som lå nær opp til dagens konstruksjonspraksis. Vegger av armert betong kunne lages svært tynne, men byggeforskriftene fra 1928 bestemte at yttervegg i bygninger for varig opphold skulle være minimum 150 mm tykke.

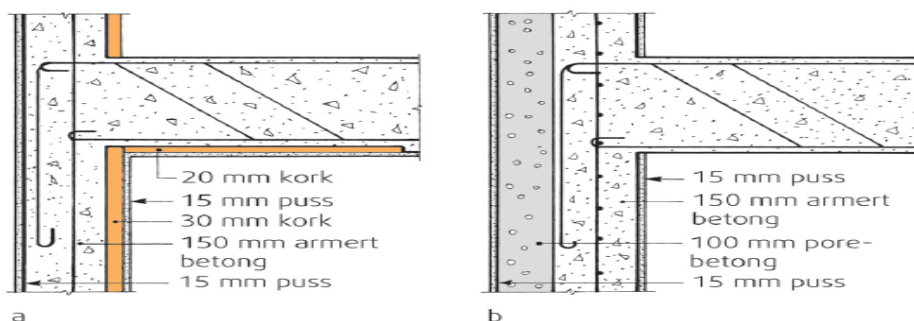
En kunne legge armeringen midt i veggen eller på begge sider av denne, se figur 5. Det ble brukt spesielle skråarmeringer i hjørner for å hindre riss.



Figur 5: Veggarming, Armering kunne plasseres på begge sider eller midt i veggen. [13]

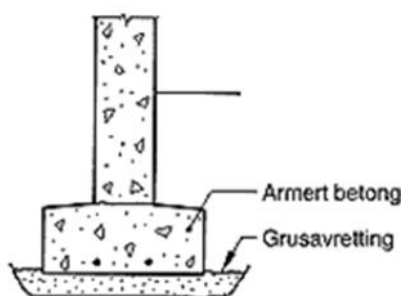
Bruk av betong i vegger gjorde det nødvendig med varmeisolasjon. I henhold til forskriftene, som kom ut i 1928, ble slike betongvegger isolert innvendig med en isolasjonstykkelse på 30 mm. Blant isolasjonsmaterialene ble plater av ekspandert kork brukt for å unngå de verste kuldebroene. Treullsement-plater var en annen type isolasjonsmateriale som ble brukt. Begge disse platene ble faststøpt og pusset innvendig. (Se figur 6a)

På midten av 1950-tallet ble lettbetong et dominerende isolasjonsmateriale. Først var det porebetong i blokk og stav og senere kom lettklinkerblokker. Disse produktene gjorde det vanlig på utvendige vegger med isolasjon og puss på isolasjonsmaterialet. Denne løsningen førte til at kuldebroene ble tatt hånd om på en mye bedre måte enn det som var mulig med innvendig isolasjon. (Se figur 6b) [13]



Figur 6: Snitt av betongvegger med faststøpt isolasjon  
a. Med innvendig isolasjon b. med utvendig isolasjon. [13]

Rundt 1930 tallet ble fundament er laget av armert betong og beregnet etter aktuelle belastninger [14]



Figur 7: Fundament av armert betong. [14]

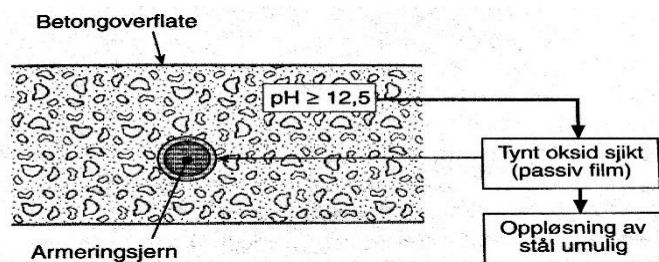


## 6 Nedbrytningsmekanismer

For å kunne foreta rehabilitering av vanlige skader i betong på best mulig måte, er det viktig å finne de typiske skadene og årsaken til disse. Akkurat på samme måte som alle andre byggematerialer, kan betong også bli utsatt for forskjellige nedbrytningsmekanismer i form av enten kjemisk, fysiske eller biologiske nedbrytninger. Ulike nedbrytningsmekanismer årsaker ulike typer skader i betongen, for eksempel rust i armeringen, avskallinger, riss, sprekker, kalkutfelling og oppløsning av sementpastaen. [15]

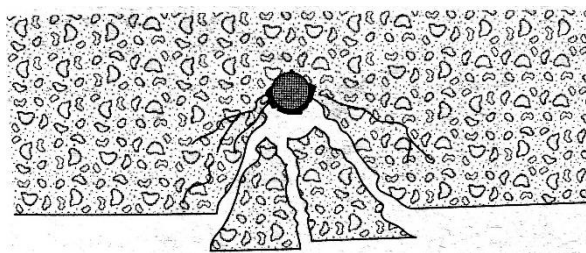
### 6.1 Armeringskorrosjon

Den vanligste og alvorligste skadetyper i armerte betongkonstruksjoner forårsakes av armeringskorrosjon. Armeringskorrosjon medfører forskjellige skader på betongen, som riss, sprekker, delaminering, avskalling og rustutslag. Vedlikehold og reparasjoner av disse skadene medfører høye kostnader og tidkrevende arbeid. Fersk betong har en PH-verdi i området 12,5-14 på grunn av høyt innhold av kalsiumhydroksid og andre alkaliske stoffer som er oppløst i betongens porevann. Den høye pH-en medfører at armeringen passiveres ved dannelse av en tett beskyttende oksidfilm på armeringsstålet som hindrer korrosjon. (Se figur 8)[15]

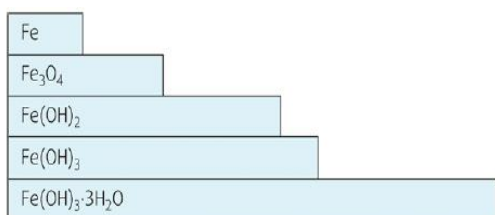


Figur 8: Korrosjonsbeskyttende oksidfilm rundt armeringen. [15]

Det er stor fare for armeringskorrosjon når oksidfilmen blir ødelagt, fordi armeringen mister beskyttelsen. Det er to måter som den beskyttende oksidfilmen kan bli ødelagt på. Enten ved karbonatisering eller ved høyt innhold av klorider. Armeringen korroderer når det er tilgang til fuktighet og oksygen. Volumet til rustproduktene som dannes, er mellom 8 og 12 ganger større enn det fortærede jernet. (Se figur 10). Denne volumøkningen medfører et svelletrykk som sprenger av betongoverdekningen. Riss og avskallinger oppstår når svelletrykket blir større enn betongens strekkfasthet. Dette kalles for rustsprengning. (Se figur 9) [15]

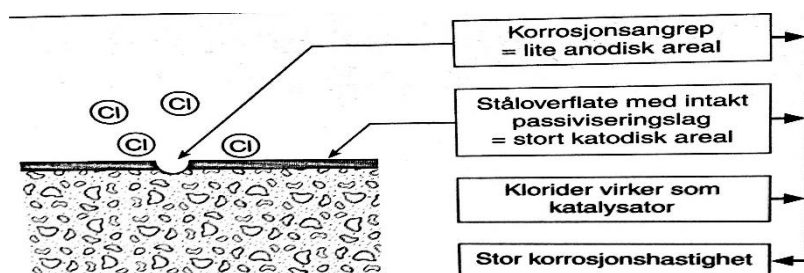


Figur 9: Rustsprengning. [15]



Figur 10: Viser korrosjonsprodukter har større volum enn metallet. [16]

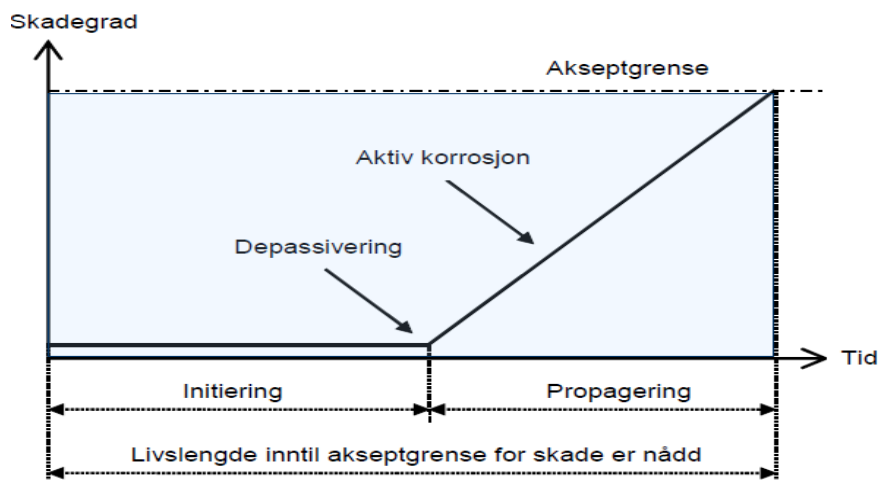
Faktorer som virker på korrosjonshastighet er temperatur, oksygentilgang, fuktighet og elektrisk ledningsevne. Høy temperatur og høyt fuktighetsnivå øker korrosjonshastigheten. Forskjellen mellom korrosjon dannet av karbonatisering og kloridinitiert er at korrosjon ved karbonatisering angriper overflaten jevnt, mens korrosjon årsaket av klorid angriper lokalt. Rent konstruksjonsmessig er kloridinitiert korrosjon farligst, fordi armeringstversnittet som er korrosjonsangrepet lokalt kan bli betydelig redusert uten at det er synlige tegn til skadene på betong overflaten. (Se figur 11)[15]



Figur 11: Groptæring. [15]

Forløpet av armeringskorrosjon kan deles i to faser (figur 12): a)- Initieringsperioden er den tiden det tar før karbonatiseringsfronten har nådd armeringen eller den tiden det tar før kloridinnholdet ved armeringsstålet er tilstrekkelig høyt til at armeringen kan begynne å korrodere.

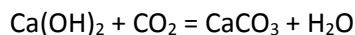
b)- Propageringsperioden er den tiden da korrosjon finner sted etter at oksidfilmen er ødelagt. [20]



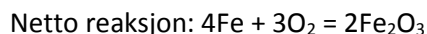
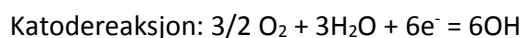
Figur 12: Forløpet av armeringskorrosjon er delt i to faser. [20]

### 6.1.1 Karbonatisering

Karbonatisering er en naturlig kjemisk prosess som oppstår når en betongoverflate er i kontakt med luft. Karbondioksidet i lufta og vann reagerer kjemisk med kalsiumhydroksidet i betongen. På denne måten dannes kalsiumkarbonat. Denne prosessen som kalles for karbonatisering fører til at betongens pH-verdi reduseres til 8-9.



Fersk betong er sterk alkalisert og har en PH-verdi på rundt 12,5 - 14. Dette på grunn av høyt innhold av kalsiumhydroksid og alkalier som er fritt oppløst i porevannet til betongen. Denne høye PH verdien danner en oksidfilm som beskytter armeringen mot korrosjon. Dannelsen av oksidfilmen kan sees som et spesialtilfelle av korrosjon hvor de produserte oksidene danner en tett ugjennomtrengelig film. Forenklet kan reaksjonene fremstilles som:



Denne beskyttelsen er viktig for at armeringen ikke skal korrodere. Når denne er ødelagt, er armeringen ikke lengere beskyttet, og ved tilgang til luft og fuktighet ( $\text{RF} > 65\%$ ) vil armeringen korrodere. Ved karbonatisering går PH-verdien ned til under 9,5 og den korrosjonsbeskyttende filmen blir brutt. Steder hvor filmen går istykker blir anodiske, mens steder som fremdeles har intakt film blir katodiske. Sammen gir disse anodiske og katodiske stedene opphav til korrosjon.

Proessen kalles ofte for mikrocellekorrosjon.

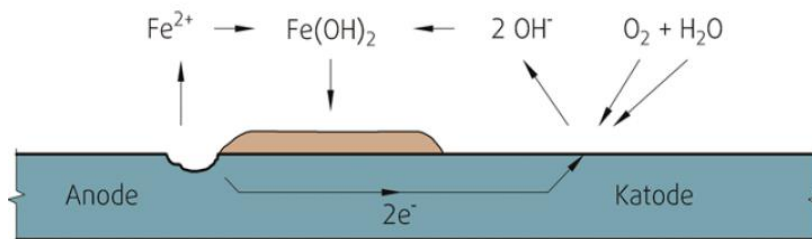
Følgende reaksjoner gjelder:

Ved anoder:  $\text{Fe} = \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$

Ved katoder:  $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^-$

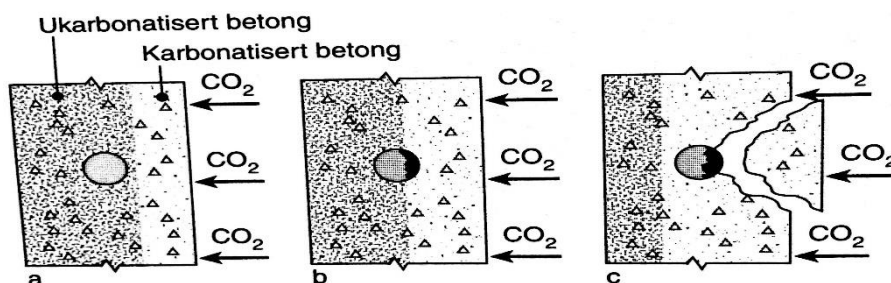
Netto reaksjon:  $\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2$

Ser slik ut som er vist i figuren 13.



Figur 13: Armeringskorrosjon. [19]

Fra begynnelsen er karboniseringshastigheten størst i yttersjiktet av betongen. Etterhvert går prosessen gradvis innover i betongen og tykkelsen på det karbonatiserte yttersjiktet øker. Karboniseringsfronten kalles det skillet som er mellom den karbonatiserte og ukarbonatiserte fronten. Korrosjonen i armeringen kan starte først når karboniseringsfronten når armeringen. De ulike stadiene i karboniseringsprosessen er vist på figur 14.



Figur 14: Karboniseringsprosessen. [15]

Karboniserings- og overdekningsmålinger benyttes til å estimere gjenværende tid til tykkelsen av den karbonatiserte delen av betongen blir lik overdekningen. Karboniseringshastigheten kan uttrykkes ved Ficks første diffusjonslov:

$X = X_0 + k \sqrt{t}$ , hvor

$X$  er målt karboniseringsdybde i millimeter

$X_0$  er den momentane karboniseringen

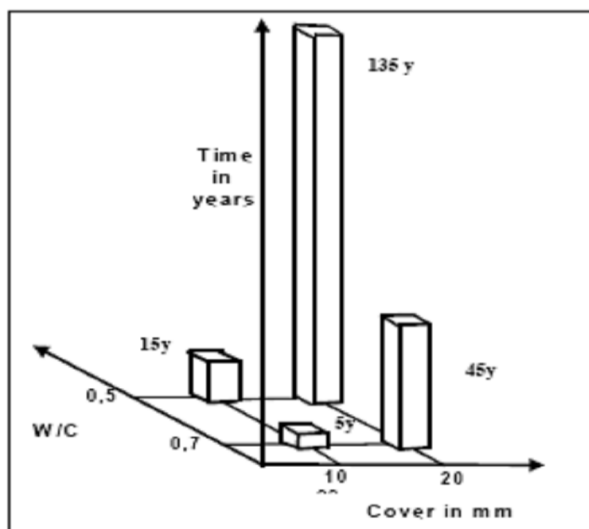
$k$  er karboniseringskonstanten

$t$  er tiden i år

Tykkelsen på armeringsoverdekning og betongens kvalitet er to viktige parametre som har mye å si for hvor raskt karbonatiseringsfronten når armeringen. God overdekning og god betongkvalitet (lavt v/c-tall) forlenger tiden før karbonatiseringsfronten når armeringen.

Figur 15 viser sammenhengen mellom initieringstid, v/c-tall og overdekning.

Karbonatisering er en fordel for uarmert betong. Dette gjør betong tettere og gir høyere trykkfasthet. [15,17,19]

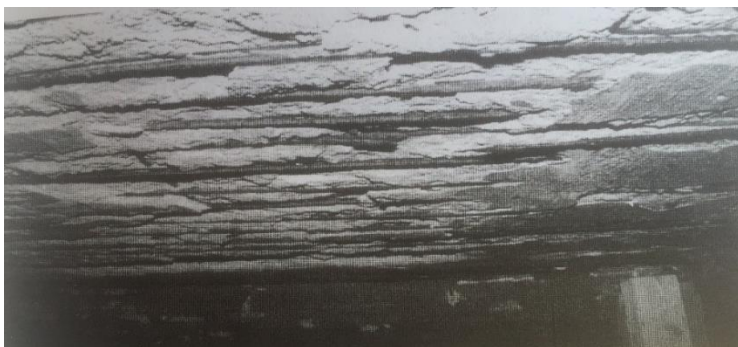


Figur 15: Karbonatiseringshastighet. [17]

## 6.1.2 Kloridinntrengning

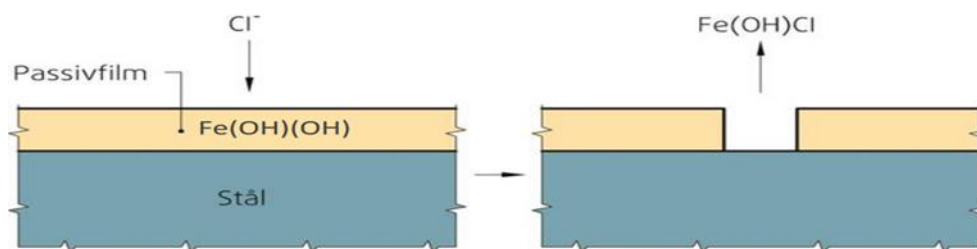
Når kloridinnholdet i betongen rundt armeringen blir tilstrekkelig høyt, ødelegges den korrosjonsbeskyttende oksidfilmen på armeringen, og korrosjon kan oppstå. Kritisk grenseverdi er når kloridkonsentrasjonen er tilstrekkelig stor til å starte korrosjon på armeringstålet. Kritisk grenseverdi er ikke et entydig tall, men den er spesifikk for den aktuelle konstruksjonen fordi den er en funksjon av betongens alkalieinnhold og pH-verdi. Grenseverdien er også avhengig av andre faktorer, blant annet betongkvalitet, fuktinnhold og tilgangen til oksygen. Grenseverdien er lavere i armering i karbonatisert betong enn i ukarbonisert betong, fordi alkalieinnholdet og pH-verdien er sterkt redusert. I ny betong hvor pH er rundt 13,5, setter nasjonale standarder det maksimalt tillatte kloridinnholdet til 0,3 - 0,4 % av sementvekten for slakkarmert betong. Et riktigere parameter for hvorvidt korrosjon kan starte er forholdet mellom klorid og hydroksylioner i betongen, Cl/OH – forholdet. Når det molare forholdet Cl- / OH- er høyere enn 0,6, er stålet ikke lenger beskyttet, fordi den beskyttende passivfilmen av jernoksid går i oppløsning.

Klorid kan innstøpes i betong ved bruk av kloridholdige materialer som sjøvann, sjøsand, tilsetning av saltholdig akselleratorer, salting av forskalingsformer, med mer. Klorid kan trenge inn i betong, og typiske eksempler er sjøvann, veisalt fra biler og salting av konstruksjoner for fjerning av is. Kloridinntrengning skjer først ved kappilærøpsug, og deretter ved diffusjon. (Se figur 16)



Figur 16: Kloridinitiert armeringskorrosjon. [15]

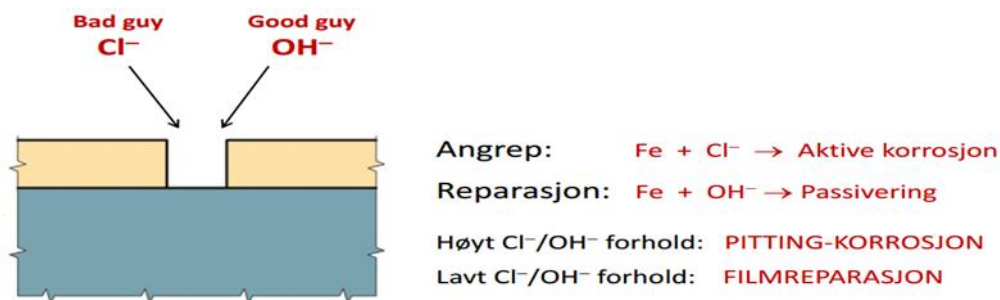
Kloridioner som er oppløst i porevannet kan binde seg til ståloverflaten ved strukturelle defekter på passivfilmen og reagerer deretter kjemisk med passivfilmen. Kloridene bytter plass med og fortrenger OH-ioner som behøves for å opprettholde passivfilmen. Klorider og jernhydroksid danner en kjemisk forbindelse som er løselig i vann, og danner den kjemiske forbindelsen  $\text{Fe}(\text{OH})\text{Cl}$  som medfører at oksidfilmen passiverende virkning reduseres, og at passivfilmen går deretter i oppløsning. (Figur 17)



Figur 17: Kloridioner punkterer passivfilmen. [19]

Høyt forhold mellom  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  i porevann som er i kontakt med armeringen, fører til økt kloridangrep. Nedbrytningsangrep fra kloridinitiert korrosjon vil føre til store og lokale skader. Denne skadetypen kalles pittingkorrosjon (groptæring). I gropen kan oppløste jernioner protolysere under reaksjonen med vann og kloridioner. Dermed dannes sure  $\text{H}^+$  ioner som kan samle seg opp i gropen. Fare for dannelse av saltsyre er høy når kloridioner er tilstede. Dette fører til at vannet blir surt og setter i gang jernopløsningen på grunn av at jern oksiderer lettere i sure miljøer.

Lavt forhold mellom  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  fører til selvreparasjon av den passive oksidfilmen som hindrer korrosjon i armeringen. (Se figur 18)

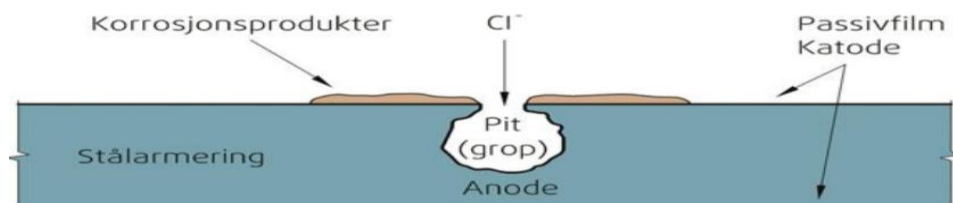


Figur 18: Forholdet mellom  $\text{Cl}^-$  og  $\text{OH}^-$ . [19]

Det er to anodereaksjoner som kan foregå, en reaksjon for når kloridioner bryter ned passivfilmen, og en reaksjon når hydroksidioner reparerer passivfilmen;



Ved pitting er den konstruktive faren stor, fordi denne type korrosjon er vanskelig å oppdage på betongoverflaten selv om det er store skader på armeringsjernet. Ved pitting kan korrosjonshastigheten gå veldig fort, noe som fører til stor lokal tverrsnittreduksjon av armeringen. Sammenlignet med når korrosjonen er jevnt fordelt, blir armeringen tært bort i løpet av kort tid. (Figur 19) [15,17,19]



Figur 19: Kloridinitiert pittingkorrosjon på stål i betong. [19]

## 6.2 Fysiske påkjenninger

### 6.2.1 Frostangrep

Betong har normalt et porevolum i størrelsesorden 120 – 180 liter pr kubikkmeter betong. Porestrukturen og størrelsen gjør at de lett kan fylles helt eller delvis med vann fra nedbør, snøsmelting eller omgivelsen for konstruksjoner i vann eller sjø. Når dette vannet fryser til is, vil volumet øker med 9%. Denne volumutvidelsen fører til strekkspenninger i betongen og hvis denne er større enn strekkfastheten i betongen, blir det riss og avskallinger, noe som kalles for frostsprengning. [15]



## 6.2.2 Fuktighetsvariasjoner

Vannet i kapillærporene forsvinner først når betongen tørker ut og fører til at betong trekker seg sammen. Sammentrekningen av betongen vil skape strekkrefter. Betongen sprekker og får uttørkingsriss når sammentrekningskreftene er større enn strekkfastheten. [15]

## 6.2.3 Temperaturvariasjoner

Betongvolumet vil endre seg avhengig av temperaturendringer. Volumet utvider seg ved oppvarming og trekker seg sammen ved avkjøling. Disse endringene påvirker betongenes strekkfasthet i herdet tilstand. Hydratisering kan øke temperaturen i store betongkonstruksjoner, fordi det blir temperaturforskjell mellom ytre og indre sjiktet i betongen. På overflaten blir det kjøligere enn i midten, noe som fører til større utvidelse i midten enn på overflaten. Denne temperaturforskjellen er årsaken til sprekker i overflaten på grunn av indre fastholding. [15]

## 6.3 Kjemisk nedbrytning

### 6.3.1 Alkalireaksjoner

Alkalireaksjon er en fysisk- kjemisk reaksjon som skjer i betong mellom tilslag og sementpasta. Reaktive tilslag og alkaliene i sementpastaen reagere sammen og danner hygroskopiske og svellende alkaligel. Reaksjonsproduktene(gelene) kan ta opp vann og fuktighet. Dette medfører at gelene utvide seg. Hvis gelene ikke er i store mengder, så kan de finne plass i porene. I dette tilfellet er det ikke noe fare for store skader bare kan noen små riss kan dannes. Med store mengder av gelene som sveller i porene, oppstår spenning som er større enn betongens strekkfasthet. Dette skaper volumutvidelse i betongens som indreforårsaker opprissing av betongen. Opprissing er et karakteristisk krakelermønster på betongoverflaten. Typisk er det også at disse rissene gir et mørkt og fuktig utseende selv etter uttørking. I Norge er den langsomtutviklende geldannelsen mest vanlig slik at store skader først oppstår etter 10-20 år. [15]

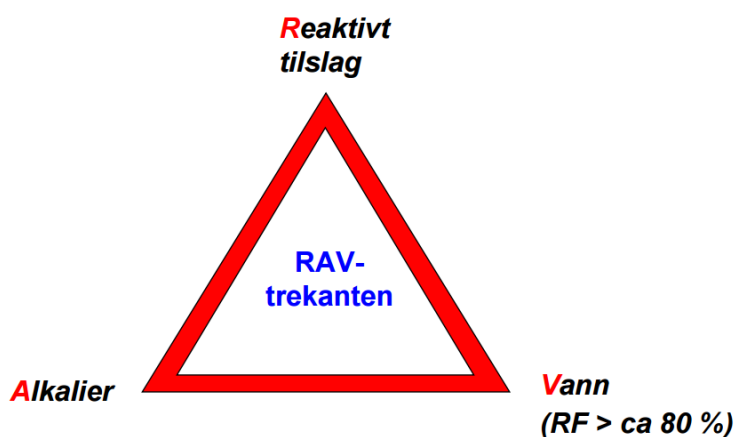


Figur 20: Typisk overflateriss fra alkalireaksjoner. [15]



For at alkalie-kieselreaksjoner skal foregå må tre forutsetninger være oppfylt: (Figur 21) [18]

- Tilstrekkelig fuktighet ( $RF > 80\%$ )
- Reaktivt tilslag
- Alkaliinnhold over kritisk verdi (varierer mellom 3 og 5 kg/m<sup>3</sup>)



Figur 21: Betingelser for alkalireaksjoner. [18]

### 6.3.2 Utlutning

Kalk eller hvitutslag kan noen ganger ses på betongoverflaten. Dette kan skje når vann og sement reagerer sammen og danner kalsiumhydroksid. De er lett løselige i vann. Når vann kommer i kontakt med kalsiumhydroksid, så oppløses hydroksidet i vannet og kan transporteres (bort) til betongoverflaten. Det hvite utslaget er karbonatisert kalsiumhydroksid, som er en lite vannløselig forbindelse som vanskelig lar seg vaske bort. Bløtt vann har lavt kalkinnhold, og derfor kan løse opp hydroksiden lettere enn hardt vann som inneholder mye kalk. Prosessen med oppløsning og fjerning av kalsiumhydroksid fra det indre av betongen til overflaten kalles utlutning. [15]



Figur 22: Utlutning. [15]

### 6.3.3 Biologisk nedbryting

Biologisk nedbryting er en kjemisk eller fysisk mekanisme. Levende organisme er nødvendig for at det skal skje nedbryting. Svovelsyreangrep og sulfatangrep dannes fra bestemte bakterier og kan bryte med betongkonstruksjoner. Kloakkrør eller avløpsrør er sårbare steder for slike angrep. Fra sulfater og proteiner i kloakkvann dannes hydrogensulfid, som omdannes til svovelsyre gjennom oksidasjon. Det er en sterk syre som lett angriper betong. En annen type biologisk nedbryting er fra mose, alger, gress eller annen begroing. De kan beholde nok fuktighet og kan senere skape frostskaider med fryse-tine prosessen. (Figur 23) [15]



Figur 23: Begroing av grøninalger på gesims og søyler i svalgang på Gand kirke. [24]

## 7 Betongrehabilitering

Under levetiden påvirkes betongen av ulike belastninger, som kan medføre og bidra til prosesser som bryter den ned. Disse belastningene er avhengig av miljøet betongen er i. Mangelfull kjennskap til nedbrytningsmekanismer er en av grunnene til dagens svekkelser og skader i betongkonstruksjoner. Flere har sett på betong som et materiale med ubegrenset levetid, noe som har bidratt til redusert vedlikeholdsplanlegging og mangelfulle utførelser. Dette medfører sårbare konstruksjoner som gir økte utgifter i forbindelse med vedlikehold og rehabilitering. For å minske faren nedbrytning behøves forebyggende tiltak, samt hyppig observasjon og vedlikehold. [15]

Istandsetting av konstruksjoner med betong som materiale kan gjennomføres på flere ulike måter. Disse fordeles ofte i følgende tre hovedkategorier:

- Beskyttelse: Et preventivt tiltak som i første rekke sikter mot å opprettholde konstruksjonens tilstand på det tidspunkt tiltaket iverksettes.
- Reparasjon: Et inngrep som gjenoppretter konstruksjonens egenskaper mht bestandighet, stivhet og bæreevne og som har som målsetning at konstruksjonens prosjekterte levetid skal oppnås.
- Forsterkning: Et tiltak som øker konstruksjonens stivhet og bæreevne. [28]

### 7.1 Tilstandsanalyse

Erfaring viser at nøyaktige tilstandsanalyser er nødvendige for å få tilstrekkelige mengder opplysninger om årsaken til skadeutvikling og omfanget av skadene. En tilstrekkelig grundig tilstandsanalyse gir grunnlag for riktige valg og korrekte utførelse av utbedringer. Analysen gir et godt bilde av hvilken tilstand konstruksjoner er i, basert på vurderinger i henhold til et valgt analysenivå. Poenget er at man får oversikt over den nåværende tilstanden, man avgjøre hvilke følger tilstanden kan få, man kan lage prognoser for skadeutviklingshastigheten, og samtidig gjennomføre en vurdering av nødvendige levetidsforlengende utbedringer.

NS3424 er standarden som er utviklet som en støtte til gjennomføringen av tilstandsanalyser. Den beskriver ulike metoder/faser for hvordan tilstandsanalysen kan utføres, inkludert alt fra definering til rapportering. Standarden er også en hjelp til å danne seg et klarere bilde av hvilke avvik som oppdages, samt støtte til på hvilken måte avvik kan forbedres. Vanligvis vil analysen inneholde følgende hovedfaser:

- Fase1: Definering av oppgaven
- Fase2: Planlegging
- Fase3: Undersøkelse
- Fase4: Vurdering
- Fase5: Rapportering

Hva man har som mål å oppnå med analysen viser på hvilket av tre nivåer man skal gjennomføre den. Det enkleste nivået setter en tilstandsgrad mellom 0-3, som en vurdering av symptomer, samtidig som grunner, konsekvensgraden og hva man kan iverksette. De to høyeste nivåene resulterer også i en risikovurdering. Nivåene kan deles opp på følgende måte: [15]

- Nivå 1: Enkel tilstandsanalyse
- Nivå 2: Utvidet tilstandsanalyse
- Nivå 3: Omfattende tilstandsanalyse

Normen, "Tilstandsundersøkelse av armerte betongkonstruksjoner" utgitt av Rådgivende ingeniørers Forening, Norsk Betongforening, og Norsk Forening for betongrehabilitering inneholder detaljerte beskrivelser for tilstandsundersøkelse av betongkonstruksjoner. Normen er bygget opp på samme måte som NS 3424, men er adskillig eldre.

### 7.1.1 Målingsmetoder

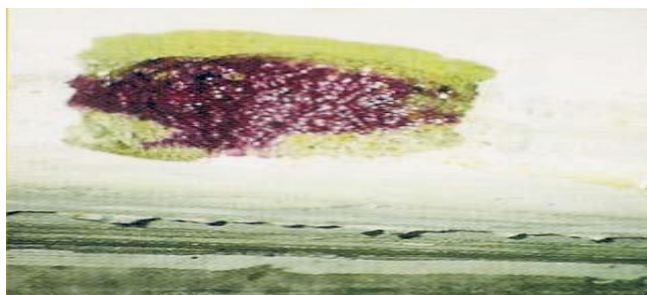
I konstruksjoner av betong, der prosesser som bryter ned betongen har vært eller er i gang, er det nødvendig å vurdere den før det settes i gang utbedringer. Denne vurderingen kan avdekke skadene, grunnen til at skadene har oppstått samt hvilken kvalitet betongen har. Vurdering kan gjøres på flere ulike måter, både ute på den aktuelle konstruksjonen og ved hjelp av analyser som utføres på laboratorium. Noen av måtene å vurdere betongen på er: [15,20]

- Karbonatiseringsdybde
- Overdekning
- Kloridinnhold/kloridprofil
- Rissvidder
- Bomsråder
- Porøsitet
- Spesifikk elektrisk motstand
- Diffusjonsegenskaper
- Heftfasthet
- Potensialmåling
- Trykkfasthet
- E- modul
- Relativ luftfuktighet
- Heft-og strekkstyrke
- Elektrisk armeringskontinuitet

Det vil herfra bli forklart hvordan noen av disse metodene utføres.

- **Måling av karbonatiseringsdybde**

En måte å vurdere betongens tilstand på er å kontrollere karbonatiseringsdybden. Basert på måling av karbonatiseringen og overdekningen i betongen, kan man avgjøre om armeringen er i nærheten av betong som er karbonatisert. For å måle karbonatiseringsdybden kan man blant annet benytte vandig fenolftaleinløsning, som er en pH-indikator. Løsningen påsprøytes betongoverflaten, og dersom den får en rødfiolett farge betyr det at betongen ikke er karbonatisert. Dersom den ikke skifter farge er betongen er karbonatisert. Løsningen påføres splittede betongkjerner, rengjorte borehull, eller rengjort oppmeislet betong. [15,20]



Figur 24: Påvisning av karboniseringsdybde-rødfiolett fargeutslag indikerer ukarbonisert. [23]

- **Måling av armerings betongoverdekning**

Overdekningen over armeringen kan måles ved hjelp av et instrument som kalles Covermeter, eller overdekningsmåler. Instrumentet bruker magnetisme for å bestemme hvor armeringen befinner seg, samt for å måle overdekningen. Man måler ulike steder på overflatene og angir overdekning med maksimum-, minimum- og middelvei. Verdier fra overdekningsmålinger kan for eksempel benyttes til å bestemme gjenværende tid til armeringen kommer i kontakt med karbonisert betong, eller til å regne ut hvor mye av armeringen som allerede er i kontakt med karbonisert betong. [15,20]



Figur 25: Overdekningsmålinger. [20]

- **Måling av kloridinnhold i betongen:**

Det er flere analysemetoder som kan benyttes til å analysere eller bestemme kloridinnhold i betong. De to vanligste metodene er Rapid Chloride Testing (RCT) og Quantab. Quantabmetoden utføres ved å ta ut betongstøv fra de deler av betongen som skal sjekkes. Diameteren av borhullet til prøven burde være minimum 18 mm. [15,20]

- Quantab er en metode som brukes i felten eller i laboratorium. Quantab utføres som følger: Syreekstrahering av knust betong skal gjøres i 1 molar salpetersyre, og løsningen skal nøytraliseres med natriumkarbonat. En Quantab strips føres deretter ned i løsningen. Stripsen inneholder en søyle av sølvnitrat. Når stripsen er klar for avlesning blir den øverste

delen blå. Avlesningen foretas på skalen øverst på stighøyden. Målingen leses av i en tabell som inneholder korresponderende kloridinnhold.



Figur 26: Quantabstrips med måleskala. [20]

- RCT er en metode som kan brukes i felt, men som også kan benyttes i laboratorium. Metoden benytter ioneselektiv elektrode kalibrert mot prefabrikerte kloridholdige løsninger, eller sertifisert referansestøv ekstrahert i syreampuller. Den ioneselektive elektroden kalibreres ved å føre membranen ned i løsninger med kjent kloridinnhold. Seks forskjellige konsentrasjoner mellom nær null til 0,500 % klorid benyttes. Verdiene som avleses i mV plottes mot konsentrasjonene. (Se figuren 27) [10]



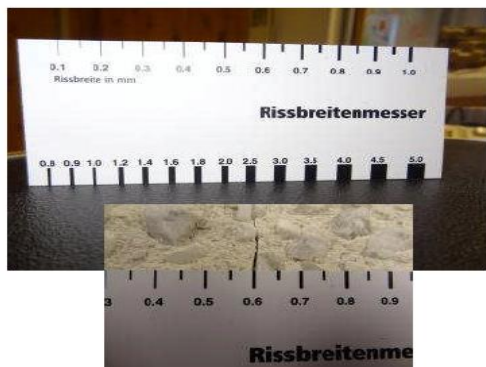
Figur 27: RCT utstyr. [20]

- **Måling av rissvidder og sprekkstørrelse**

En annen kontrolleringsmetode er en måling av størrelsen til sprekker og riss i betongoverflaten. Dette kan utføres ved hjelp av for eksempel en risslupe eller en risslinjal. Ved å bestemme sprekk- og rissvidder kan man fastslå faren for at armeringen vil utsettes for korrosjon. Verdiene kan også brukes i en årsaksvurdering, og ved gjentatte målinger kan man avdekke bevegelser i konstruksjonen og eventuelt om sprekker og riss utvides av disse. Ved ønske om flere målinger over tid, kan sprekke eller rissene dekket igjen med gipsmasse, og man kan ved en senere anledning måle de nye rissene som har oppstått. I tillegg til å måle



bredden må man også foreta en måling av hvor dypt i betongen rissene går. [15,20]



Figur 28: Rissmåler og bruken av den. [20]

- **Elektrokjemiske potensiemålinger (EKP-målinger)**

Ved korrosjon vil elektroner bevege seg gjennom betongen. Disse frie elektronene oppstår fordi jern løses der passiveringen er brutt ned (anoder). Elektronene vil bevege seg mot andre steder hvor passiveringen ikke er brutt ned (katoder). Denne elektronvandringen skaper en målbar elektrisk spenning som også kalles EKP; elektrokjemisk potensial. Målingene foregår mellom elektroden og armeringen, via betongporene. Slike elektroder har et fast potensial som det måles mot, og som er avhengig av elektrodens sammensetning. [15,20]



Figur 29: Potensiemålinger med kobber-kobbersulfat-halvcelle utført i laboratoriet. [20]

- **Måling av trykkfasthet**

Betongkvaliteten kan også måles i felt ved å kontrollere trykkfastheten. Innenfor måling av trykkfasthet finnes slaghammermåling og bruddprøving. Begge krever en kalibrering av de målte størrelsene opp mot en betongsammensetning som stemmer overens med den målte betongen.

-Slaghammermåling utføres ved å slå et stempel mot overflaten til betongen, med fastsatt styrke. Deretter tar man mål av rekylen. Størrelsen av rekylverdien kan, via en tabell for kalibrering, gi en verdi for trykkfasthet. (Se figur 30)

-Bruddprøving kan kalles en BO-test. Her foretar man en kontroll av hvilken kraft som må påføres betongen for å ødelegge en sylinder man har plassert i betongoverflaten. Dette utføres ved hjelp av boring med en borkrone som danner en spalte hvor man plasserer en lastcelle. På samme måte som ved slaghammermåling finner man trykkfastheten ved hjelp av en kalibreringstabell. [15,20]



Figur 30: Fasthetsmåling. [20]

- **Måling av elektrisk motstand**

Man kan få en oppfatning av betongens tetthet ved å måle gjennomgangen av strøm gjennom betongprøver eller konstruksjonsdeler. Elektrisk motstand måles på betongoverflater, mellom elektroder montert på, eller trykket mot overflatene. Slike målinger gir som regel ikke reproducerbare verdier. En bedre metode som gir reproducerbare verdier utføres ved hjelp av to elektroder som støpes fast eller monteres med strømledende masse på to motstående sider av en prøve eller en betongkonstruksjonsdel. Det skal benyttes vekselstrøm som bidrar til at elektrodene ikke blir polarisert slik at systemets indre motstand stiger og forstyrrer måleresultatet. Ved å måle elektrisk motstand bør man vite tykkelsen til prøven, slik at en spesifikk motstandsverdi kan utregnes med enhet i ohm/cm. Denne verdien kan brukes til motstandssammenligning i alle betong- og mørtelprodukter. Måling av elektrisk motstand bør helst utføres i laboratoriet. [20]



Figur 31: Måling av elektrisk motstand. [20]



- **Måling av betongens porøsitet**

Ved å volumbestemme og finne vektforskjellen mellom tørr og våt betong eller reparasjonsmørtel kan et mål på betongens porøsitet utregnes. Prøvene blir først veid i tørr tilstand, deretter settes den under vakuum slik at men får sugd ut luften, for så å legge den i vann. Dette vil gjøre betongen vannmettes, og dermed kan man veie den i våt tilstand. Volumbestemmelse utføres ved å volumfortengning eller ved dypet vekt. Målemetoden er relativt enkel og effektiv å gjennomføre, og kan samtidig gi et godt bilde av betongens porøsitet. [20]

## 7.2 Forbehandling av prøver og overflater

Nøye forbehandling av prøver er vesentlig for at resultatene fra målingene skal være troverdige. Dette går på nøye rengjøring, og at utstyret som brukes skal være korrekt tilpasset arbeidet som skal gjøres. En prøve som er forbehandlet før vedheftsprøving skal gi et godt utgangspunkt for målingene, slik at måling av heftstyrke mellom belegg og overflater blir korrekt.

For rengjøring av betongoverflater finnes det forskjellige metoder. Hvilken av metodene som bør velges avhenger av følgende faktorer: [15,16]

- Estetikk
- Miljøhensyn
- Krav til ruhet, poreåpenhet
- Underlagsfasthet
- Underlagets overflatestruktur
- Typemaling og belegg skal fjernes
- Type konstruksjon

### 7.2.1 Mekanisk forbehandling

Ulike typer mekanisk forbehandling er: [15,16]

- **Tørrsandblåsing:** Ved hjelp av trykkluft blåses tørr sand mot betongoverflaten med høy fart. Når denne sanden treffer betongen vil det porøse materialet i overflaten bli revet vekk. For å utføre tørrsandblåsing vil man vanligvis trenge en kompressor, en trykkutjevner og et sandblåserapparat med sandslange og ulike endestykker. En betongoverflate som har blitt tørrsandblåst må i etterkant spyles ren med høytrykksspyler eller støvsuges slik at man får bort resterende sand og støv.
- **Vakumsandblåsing:** Dette er en metode som bygger på samme prinsipp som tørrsandblåsing, hvor ulikheten er at man blander inn vann i sanden. Dette gjøres for å unngå noe av utfordringen med støv, men betongen vil til gjengjeld bli utsatt for en oppfukting.
- **Prikkhogging (nålehammer):** Dette er en metode som gir mye lyd og sprut. Den utføres ved hjelp av såkalte nålehammere, som er maskiner utstyrt med hoder av hardmetallnåler. Disse knuser betongoverflaten slik at materialet renses bort. Overflaten må i etterkant rengjøres.

- **Høytrykkspyling:** På samme måte som med sandblåsing benyttes det her trykk for å rense overflaten. Man bruker vann med varierende temperatur, trykk, mengde, bevegelseshastighet og –mønster til man når det ønskelige resultatet.

### 7.2.2 Termisk forbehandling

For betong som er betydelig påvirket av olje eller andre grove forurensninger vil det være aktuelt med termisk forbehandling. Den utføres ved at en flammebrenner settes mot overflaten og føres over med jevn hastighet. Den høye varmen gjør at den ytre delen av betongen til dels smelter, og på grunn av temperaturutvidelse vil overflaten brytes opp. Med denne metoden kan man oppnå over 3000 grader celsius. Ved utførelse er det viktig å gjøre preventive tiltak mot brannfare.

### 7.2.3 Kjemisk forbehandling

Med en malt betongoverflate kan det være hensiktsmessig med kjemisk forbehandling. Denne metoden tar sikte på å fjerne malingen, og prosessen kan utføres i både et åpent og et lukket system. Kjemikalier påføres konstruksjonen, og malingen løses opp. Omgivelsene bør være tildekket for oppsamling av malingen. Ved vertikale flater både påføres kjemikalier og maling fjernes nedenfra og oppover. Resten av malingen og liggende kjemikalier på overflaten fjernes ved hjelp av høytrykksspyler ovenfra og nedover. Det kan brukes varmt eller kaldt vann, men temperatur mellom 40-60 grader celsius viser seg gjerne å være mest effektivt.

## 7.3 Reparasjonsmetoder

Valg av reparasjonsmetode bør baseres på levetidsøkningen som ønskes. Det vil ofte vise seg at flere metoder kan gi tilfredsstillende resultat, noe som medfører en videre vurdering av pris, levetid og miljømessig påvirkning. [15]

Det finnes en rekke standarder som ivaretar tekniske krav til materialer, gjennomføring, toleranseverdier, testing og kontroller. For beskrivelse av betongrehabilitering gjelder NS 3420LY, "Veiledningen til NS 3420LY - tekniske bestemmelser" og NS 1504-serien.

De ulike reparasjonsmetodene som er i bruk i Norge kan deles inn i følgende kategorier:

- Forbehandling
- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk re-alkalisering
- Elektrokjemisk kloriduttrekk
- Katodisk beskyttelse
- Overflatebehandling
- Reparasjon av riss og sprekker

Skader i og på funksbygninger av betong sees ofte på som forårsaket av armeringskorrosjon. Dette uavhengig av om problemene i utgangspunktet stammer fra utfordringer med frostnedbrytning, alkalireaksjoner, setninger, fuktighet, eller annet.

Der armeringskorrosjonen skyldes karbonatisering kan følgende metoder for reparasjon være aktuelle: [15]

- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk realkalisering (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Katodisk beskyttelse (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Maling/belegning

Der armeringskorrosjonen skyldes kloridinntrengning kan følgende metoder for reparasjon være aktuelle:

- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk kloriduttrekk (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Katodisk beskyttelse (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Maling/belegning

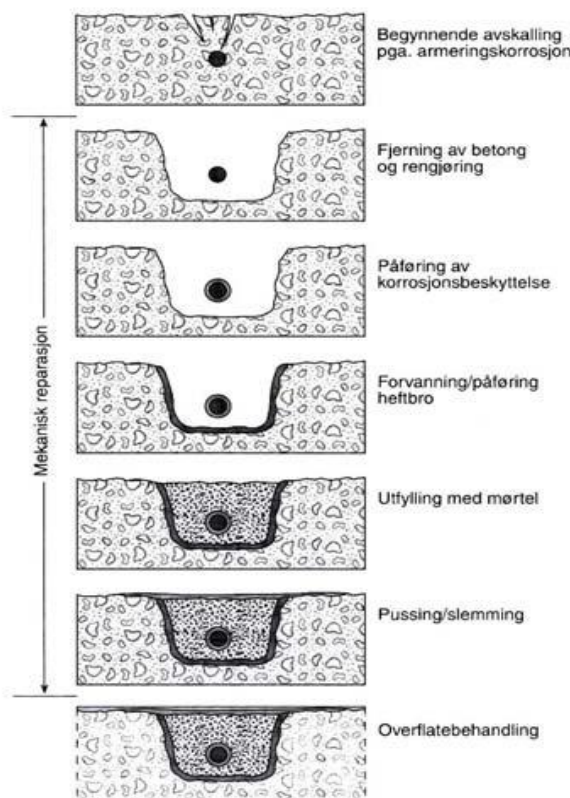
### 7.3.1 Mekanisk reparasjon

Den mest brukte metoden for utbedring av skader i betong er mekanisk reparasjon. Betongskader defineres som riss, sprekker, delaminering, og avskallinger som følge av armeringskorrosjon. Denne metoden benyttes også for å reparere steinreir og støpesår.

Metoden benevnt begrenset mekanisk reparasjon kan benyttes dersom deler av armeringen befinner seg i karbonisert betong. Mekanisk reparasjon brukes i et mindre omfang dersom betongen i etterkant skal gjennomgå katodisk beskyttelse eller kloriduttrekk, og benevnes da forenklet mekanisk reparasjon. Mekanisk reparasjon kan benytte som både en bærende og en ikke-bærende reparasjon. Forskjellen mellom de to er om rehabiliteringen medfører oppretting av helt eller delvis redusert bæreevne, eller om reparasjoner kun omfatter mindre skader som er ubetydelige for bæreevnen.

Mekaniske reparasjoner kan altså gjennomføres som både fullstendig, begrenset og forenklet. Valg av reparasjonsgrad baserer seg på skadeomfanget, skadeårsak og eventuelle etterfølgende behandlinger og teknikker. Følgende prosesser gjennomføres:

- Fjerning av betong for frilegging av korrodert armering
- Rengjøring av korrodert armering. (utføres ofte ved sandblåsing)
- Rengjøring av sårflatene
- 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 sprøytemørtel)
- Forskaling
- Forvanning/påføring av heftbro
- Utfylling med reparasjonsmørtel
- Pussing/slemming av reparasjonsområdet



Figur 32: Trinnsvis oppbygging ved mekanisk reparasjon. [15]

Dersom man kun benytter mekanisk reparasjon, især begrenset mekanisk reparasjon, vil man som oftest i etterkant påføre konstruksjonen en karbonatiseringsbremsende maling, slik at fremtidig skadeutvikling forebygges.

For tilfeller av korrosjon, som er initiert av karbonatisering har man to ulike måter å utføre mekanisk reparasjon på, fullstendig eller begrenset mekanisk reparasjon. Fullstendig mekanisk reparasjon er kun egnet dersom en veldig liten del av armeringen er innenfor området med karbonatisert betong, med god avstand til øvrig armering. Dette fordi all betongen som er karbonatisert må fjernes, noe som medfører meisling i stor skala.

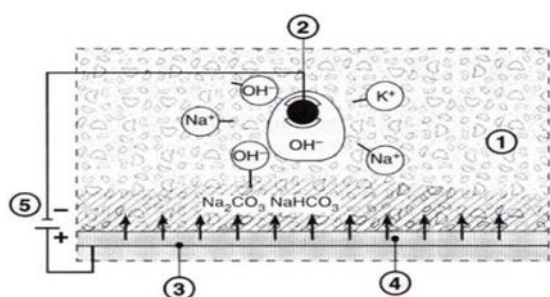
Når man utfører en begrenset mekanisk reparasjon vil man begrense betongfjerningen til å kun ta bort betongen som er synlig skadet. Man vil dermed blottlegge armeringen frem til man ser at den er frisk. Dette fører til at en del av armeringen i etterkant fortsatt kan befinne seg i karbonatisert betong, noe som igjen kan føre til at armering med korrosjon i liten skala blir værende igjen. Derfor må man være nøye med at overflaten til betongen blir malt med karbonatiseringsbremsende maling slik at man reduserer faren for at skaden utvikles mer.

Dersom det blir benyttet elektrokjemiske måter vil det først bli gjennomført en forenklet mekanisk reparasjon. Dette er på grunn av behovet for kun å ta bort løs betong og at armeringen ikke trenger blottlegging til frisk armering kommer til syne. Det er heller ikke behov for påføring av korrosjonsbeskyttelse på armeringen. [15,16,23]

### 7.3.2 Elektrokjemisk realkalisering

Dersom armeringen blir liggende i et lavt PH miljø er det fare for at korrosjon blir initiert. En måte å re-etablere den basiske omgivelsen er ved elektrokjemisk realkalisering. Dette gjennomføres ved at det opprettes et elektrisk felt mellom en midlertidig anode på betongoverflaten og armeringen. Det utføres ved å montere et elektrodenett, gjerne armeringsnett eller titannett, på overflaten ved hjelp av lekter av trevirke; for så å sprøyte nettet med en alkalisk elektrolytt av cellulosemasse og 1 molar løsning av natrium- eller kaliumkarbonat.

Nettet tilkobles elektrisitet, noe som medfører en elektro-osmose, elektrolyse og ionemigrering. Elektro-osmose bidrar til transportering av alkalier inn i betongkonstruksjonen, slik at pH blir liggende konstant mellom 10,5-10,8 (som er nok til at passiveringen omkring armeringsjernet opprettholdes). Elektrolyse bidrar til at det oppstår hydroksid-ioner på armeringen, noe som skaper en passiv korrosjonsbeskyttende hinne. Hydroksidionene, som skapes gjennom elektrolysen, vil ved hjelp av ionemigreringen bli værende omkring armeringen og på den måten sørge for at passiveringen opprettholdes. Prinsippet for elektrokjemisk realkalisering vises på figur 33 og 34



1. Betong
2. Armering
3. Elektrodenett
4. Ledene alkalisk løsning
5. Strømkilde



Figur 33: Prinsippet for elektrokjemisk realkalisering. [15]

Figur 34: Elektrokjemisk realkalisering i praksis. [23]

Værforhold er ingen hindring mot å utføre realkalisering, men det kan ikke være så kaldt at elektrolytten risikerer å utsettes for frost. Dersom det er varm og tørr luft, vil det være nødvendig med stadig vanning av den påførte elektrolytten. I tillegg er det vanskelig å påføre elektrolytten ved sterk vind, noe som kan medføre rust på overflaten til armeringsnettet og betongoverflaten som dermed må renses med sandblåsing. Hvis man velger titannett vil ikke dette være noen utfordring.

Elektrokjemisk realkalisering er en behandling som er varierende i tidsbehov, alt fra 3-10 dager. Varigheten avhenger av strømstyrke, mengde, betongkvalitet og hvor dypt karbonatiseringen har nådd. I tillegg til at man må fukte elektrolytten i behandlingstiden, må også strøm og spenning kontrolleres.

Ved fullført behandling skal fibermasse, elektrodenett og tilkoblinger fjernes, og man skal vaske overflaten på betongkonstruksjonen med vann.

Om betongkonstruksjonen er uvanlig tett eller satt inn med impregnering basert på silikon, kan alkalitransporten være utfordrende å oppnå. I disse tilfellene vil realkaliseringen bare fungere som en elektrolyse på overflaten til armeringen, noe som ikke er like effektivt på grunn av den følgende mangelen på opprettelse av et permanent alkalisk miljø. Dermed er det ikke lagt til rette for bevaring av passiveringen omkring armeringsjernet. Allikevel kan metoden medføre et tilstrekkelig alkalisk miljø, men bare dersom den foregår over lengre tid.

For at prosessen skal la seg gjennomføre er man avhengig av at alt armeringsjern har såkalt armeringskontinuitet, det vil si at det er i elektrisk innbyrdes kontakt. Graden av armeringskontinuitet må undersøkes på forhånd, fordi ved ufullstendig armeringskontinuitet må armeringen sammenkobles for å oppnå full kontinuitet. Sammenkobling kan skje ved for eksempel å sveise sammen kryssende armeringsjern.

I tillegg til å kontrollere armeringskontinuitet må det også foretas en tetting av alle åpne riss og sprekker, samt at steinreir, avskallinger og bom som når til armeringsjernet må repareres, slik at man under gjennomføring unngår kortslutning. Reparasjon av avskalling og bom utføres ved hjelp av forenklet mekanisk reparasjon, som medfører langt mindre meisling enn ved fullstendig eller begrenset mekanisk reparasjon. Man må passe på å ta bort løs eller tett puss slik at man er sikker på at realkaliseringen lar seg gjennomføre.

Vanligvis vil bruk av alkalieløsninger fungere som kjemisk malingsfjerner og gjøre at organiske overflatebehandlinger blir oppløst. Dersom betongen er påført tett maling som ikke blir oppløst, og som dermed hindrer realkaliseringen, må denne fjernes på forhånd.

Ved gjennomføring av elektrokjemisk realkalisering er det behov for konstant tilføring av strøm under prosessen, og av daglige avlesninger av strømstyrke og spenning. I tillegg må fibermassen fuktes jevnlig.

Etter at prosessen er gjennomført vil det være hensiktsmessig med overflatebehandling, men dette kan for de fleste malingsstyper først gjøres etter en periode med uttørking. Ved bruk av kaliumkarbonat vil det ikke dannes utfellinger på betongoverflaten som ellers kan medføre at maling svikter og flasser av. Malingssvikt som følge av utfelling var tidligere et stort problem da man benyttet natriumkarbonat som elektrolyttløsning. [15,16,23]

### 7.3.3 Katodisk beskyttelse

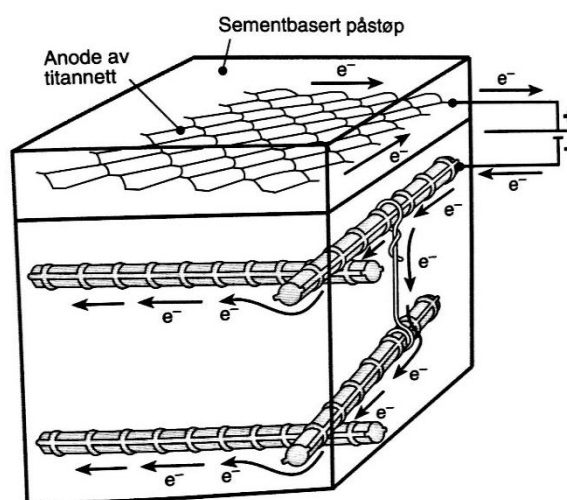
I betongkonstruksjoner som er utsatt for armeringskorrosjon som følge av karbonatisering, eller som følge av kloridinfisering, kan korrosjonen kontrolleres ved hjelp av katodisk beskyttelse. Denne metoden kan kombineres med overflatebehandling og forenklet mekanisk reparasjon.



Katodisk beskyttelse utføres ved bruk av elektroder som monteres på betongoverflaten eller i betongen. Elektrodene sender en likestrøm til armeringen gjennom hele installasjonens levetid. Korrosjonsbeskyttelsen skjer ved å senke overflatepotensialet på ståloverflaten til under korrosjonspotensialterskelen.

Tanken bak katodisk beskyttelse er at det føres inn elektroner utenfra, fra en anode, som medfører at elektronene er i flertall. Dette gir en negativt ladet armering som motstår korrodering, og dermed ikke løses opp. Dette medfører altså at all armering blir til katode, og derfor kalles prosessen katodisk beskyttelse. (Se i figuren 35)

For at metoden skal fungere er den avhengig av likestrøm, som fører med seg en del omfattende kabelarbeider, instrumenter og bruk av likerettenheter. En optimal kontakt mellom armeringsjernet og betongen er nødvendig for at prosessen skal være gjennomførbart. Ved manglende kontakt med bakgrunn i sprekker, laminering eller steinreir, vil ikke prosessen fungere fordi armeringsjernet ikke er beskyttet. Dette sikres ved kontroll av at armeringen er rensert og at eventuelle åpninger mellom betongen og armeringsjernet er tettet.



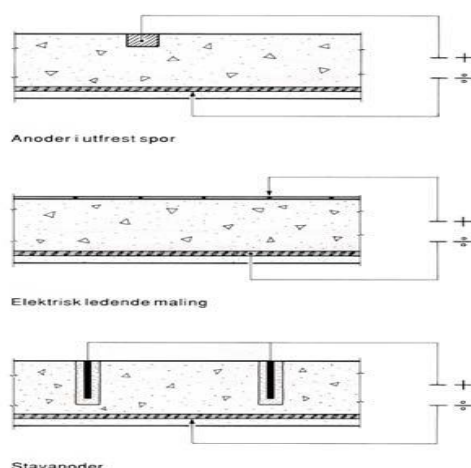
Figur 35: Prinsippkisse for katodisk beskyttelse. [15]

Ulike prosesser for katodisk beskyttelse:

- Galvaniske med offeranoder i ulike legeringer, for eksempel sink eller aluminium, som går i oppløsning (ofres)
- Elektrolytiske med påtrykt likestrøm (anoden går ikke i oppløsning)

Det finnes i dag flere ulike typer, materialer og utforminger av et anodesystem: [15,16,23]

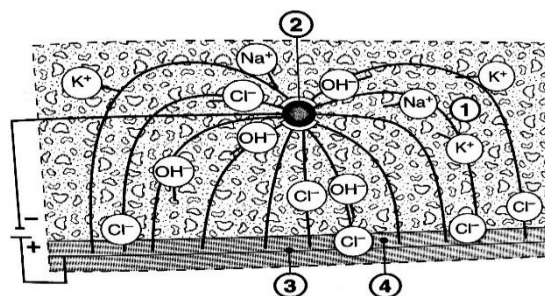
- Nettanoder
- Trådanoder
- Stavanoder
- Ledende mørtel/belegg



Figur 36: Viser forskjellige anodesystemer. [23]

### 7.3.4 Elektrokjemisk kloriduttrekk

Elektrokjemisk kloriduttrekk stopper og forebygger korrosjon i betongkonstruksjoner ved at kloridioner trekkes ut av betongen og ved at elektrolyse danner høye pH-soner rundt armeringen. Metoden gjennomføres ved at det opprettes et elektrisk felt mellom armeringsjernet og overflaten på betongen. Elektrisk felt oppnås ved bruk av et elektrodenett på overflaten som påføres elektrolytisk masse. Denne massen består av enten mettet Kalsiumhydroksidløsning eller drikkevann. Ved å koble minuspolen til armeringsjernet og plusspolen til en strømlike retter, for så å slå på strømmen, vil kloridionene som er negativt ladet strømme ut av betongkonstruksjonen fra armeringen (fordi denne er negativt ladet) og til nettet som er positivt ladet og ligger i ledende masse. Elektrolysen som foregår på armeringen danner hydroksylioner på stålet, som slår seg sammen med kationer av natrium, kalium og kalsium til å danne lut. Lutten er høyalkalisk og medfører gjenopprettelse av den passive filmen på armeringsstålet.



Figur 7.3 Prinsipp for kloriduttrekk  
1 Betong  
2 Armering  
3 Elektrodenett  
4 Ledende elektrolytisk masse

Før utføring av denne prosessen må betong som er sprukket opp og løsnet, tas bort, og det samme for områder med bom. Frisk betong kan bli igjen, og blottlagt armeringsjern sandblåses og dekkes med reparasjonsmørtel.

Figur 37: Prinsipp for kloriduttrekk. [15]

Dette gjøres slik det er beskrevet for mekanisk reparasjon, samt at man fjerner overflatebehandling slik at kloriduttrekket kan utføres mer effektivt. Kloridanalyser må gjennomføres på forhånd, undervegs og i etterkant. Hvor disse skal utføres må planlegges før igangsettelse av metoden.

Etter gjennomført elektrokjemisk kloriduttrekk, er det en fordel å påføre overflaten et belegg. Dette bidrar til å redusere risikoen for at klorider vil trenge inn.

I forbindelsen med intregnte klorider, bør betongoverflaten belegges for å hindre inntrenging. [15,16,23]

### 7.3.5 Preventiv og overflatebehandling

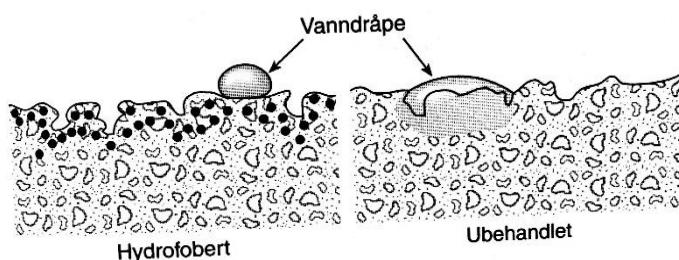
For å forebygge og unngå skader i den armerte betongen, er det viktig å behandle betongen slik at aggressive stoffer ikke for trengt inn i konstruksjonen. Forebygging gjennomføres ved å behandle den utvendige overflaten, fordi denne påføres kjemisk belastning fra blant annet CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>, klorider, UV fra sollys og mekanisk belastning fra rennende vann, vind, saltsprøyt, gangtrafikk og termisk fra kulde og sol. Betongkonstruksjonen må beskyttes mot disse belastningene, men overflatebehandlingen er også offer for flere ulike krav. Materialene deles inn i hovedkategoriene hydrofobering, tynnfilm- og tykkfilmbelegg. (Se tabell 1) [15]



Tabell 1: Undergrupper av filmdannende behandling[15]

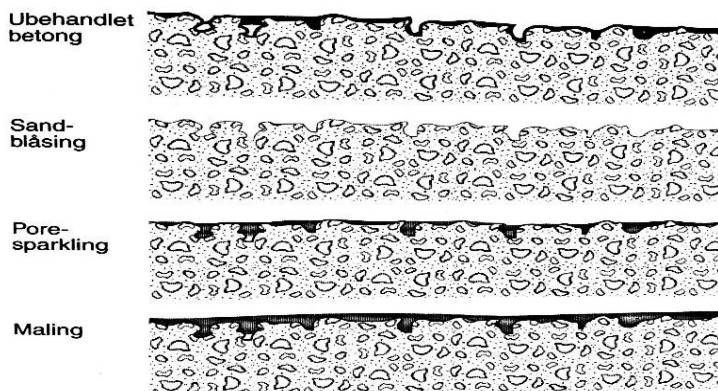
Gruppe		Tykkelse
Hydrofobering		1,0 mm
Tynnfilmsbelegg	Impregnering/maling Tykkfilmsmaling	< 0,5 mm 0,5-1,0 mm
Tykkfilmsbelegg		1,0-5,0 mm

**1. Hydrofobering:** Det er vanligvis silan/siloksan eller silikon som benyttes for hydrofobering. Prinsippet er at stoffet skal trekke inn i betongkonstruksjonen, og tette betongen, uten at det dannes noen film på overflaten. Ved hydrofobering vil man forhindre vann fra å trekke inn i betongen, noe som igjen reduserer faren for kloridinntrengning, og dermed hindrer kloridinitiert korrosjon. Hydrofoberingen er altså vannavvisende, samtidig som den skal være diffusjonsåpen, noe som bidrar til at fuktnivået i betongen blir lavere. Ved å undersøke hvor dypt hydrofoberingsmaterialet har trukket inn, får man en pekepinn på kvaliteten på materialet. Jo større dybde, jo lengre levetid.



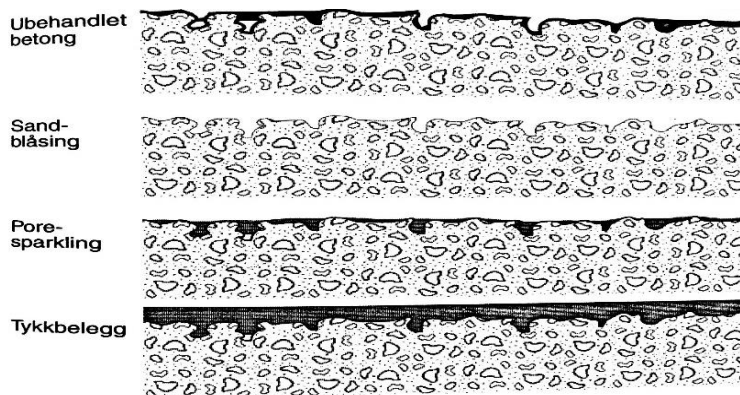
Figur 38: Effekt av hydrofobering på betong. [15]

**2. Tynnfilmsbelegg (Impregnering og maling):** Impregnering foregår ved å påføre betongen en fargeløs væske, som hovedsakelig danner en film på overflaten. Maling foregår etter det samme prinsippet, men malingen inneholder også fargepigmenter. Det er ingen begrensning i bruksområdet til maling og impregnering, men man må påse at man gjøre rett valg av materiale og utfører det korrekt. Ofte benyttes maling og impregnering kun på bakgrunn av estetikk, men det har også en effekt i motvirkningen av armeringskorrosjon. Noen av materialene som går under denne kategorien er lateks/akryl, epoksy, polyuretan og meta-krylat. Tynnfilmsbelegg skal ha full effekt, når porer og riss sparkles først. Figur 39 viser utførelsen.



Figur 39: Påføring av impregnering/maling med sprøyte. [15]

**3.Tykkfilmsbelegg:** Ved benyttelse av tykkfilmbelegg vil man gi betongkonstruksjonen et belegg med tykkelser mellom 0,1-5 mm. Dette er et materiale som består av to komponenter, og bindemiddelet kan blant annet være epoksysement, sementlateks eller polyuretan. Vanligvis blir tykkfilmbelegget påført ved hjelp av slemming, kosting eller sprøyting. De ulike materialene innehar ulike egenskaper, i form av at de kan være for eksempel enten elastiske eller stive. For at disse produktene skal få full effekt, må alltid porer og riss sparkles først. (Utførelsen er vist i figur40)[15]



Figur 40: Oppbygningen av tykkfilmsmaling. [15]

## 8 Metoder for utbedring av verneverdige bygninger med armeringskorrosjon

Det er generelt to lovverk som bestemmer vern av eksisterende bygninger: Kulturminneloven og plan- og bygningsloven. Det benyttes fargekoder som gjør det enklere å se hva vernestatusen for eksisterende bygg er. Rød betyr at bygget er fredet og vernet etter kulturminneloven, oransje betyr at bygget er vernet etter plan og bygningsloven og gult betyr at bygningen er vernet av kommunen. Det stilles veldig strenge krav for fredning av bygninger. Riksantikvaren bestemmer hvilke bygninger som skal bli fredet. For at et anlegg skal bli fredet må det ha svært høy kulturell eller arkitektonisk verdi. [21]

Prinsipper for bygningsvern er: [22]

- Mest mulig av alle deler av bygningen skal tas vare på. Inngrep ved vedlikehold og utbedring må være minimale.
- Det er bedre å holde ved like enn å reparere, og det er bedre å reparere enn å skifte ut.
- Det må brukes tradisjonelle materialer og metoder ved vedlikehold og reparasjon.
- Usynlige deler av bygningen er like viktige å ta vare på som synlige.
- Om en må forandre, er det bedre å tilføre noe enn å fjerne opprinnelige eller eldre deler.
- Eldre ombygginger og endringer av en bygning forteller bygningens historie, og er viktige å ta vare på.
- Reversible løsninger bør velges der det er mulig.
- Eventuelle nye elementer og tilføyelser skal holde høy kvalitet både når det gjelder utforming, materialbruk og håndverksmessig utførelse.

Det er flere bygninger i betongkonstruksjoner som er verneverdige. Byantikvarer stiller krav til at det originale uttrykket i fasader skal bevares ved rehabilitering av disse byggene. Det medfører at byggherrer som regel ikke kan foreta fasadeendringer som vil endre det originale uttrykket. Dermed oppstår behovet for reparasjonsmaterialer og håndverksteknikker for å tilpasse reparasjoner til den originale overflaten. [23]

Ved rehabilitering av disse byggene bør man ikke benytte NS3420LY og NS EN 1504-serien ukritisk. Standardenes beskrivelser og egnethet må vurderes spesielt for de aktuelle bygningene.

I dette kapitlet beskrives hvilke metoder som er godt egnet for gamle og antikvariske bygninger, og hvilke metoder som er mindre egnet, samt hvorfor de er mindre egnet (med hensyn til prinsippene for vernebygging).

### Mekanisk reparasjon

Fullstendig mekanisk reparasjon er stort sett ikke aktuelt ved rehabilitering av verneverdige bygninger, fordi all karbonatisert eller kloridinfiltrert betong må fjernes. Dette resulterer i store inngrep. Begrenset mekanisk reparasjon er bedre egnet. Her er det bare løs betong som skal fjernes. Metoden brukes i kombinasjon med en overflatebehandling som har karbonatiseringsbremsende eller kloridbremsende effekt. Overflatebehandlingen kan medføre

konflikter dersom den ikke har samme struktur som opprinnelig overflatestruktur. Bruk av overflatebehandling som ikke har karbonatiserende- eller kloridbremsene effekt, vil resultere i kortvarig levetid for reparasjonen. Type tilslag, farge- og strukturforskjell på reparert område, i forhold til opprinnelig overflate, vil gi varierende grad av utseende (lesbarhet). Ved fjerning av all opprinnelig puss som erstattes med annen type puss eller overflatebehandling kan man få store endringer. Dette bidrar både til endret karakter, form og uttrykk. (Se figur 42) [23]



Figur 41: Reparasjonsområdet er nærmest usynlig. [23]



Figur 42: Svært synlige og lesbare reparasjoner. [23]

### Elektrokjemisk realkalisering

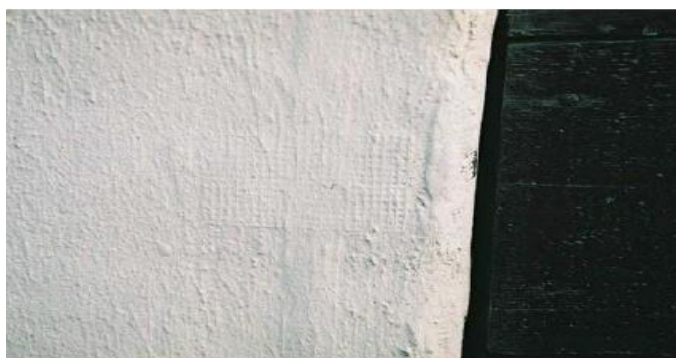
Metoden kan brukes i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon. Den er best egnet hvis skadeomfang er relativt lite, men etter at karbonisert betong har nådd helt eller delvis inntil armeringen. Behandlingen vil gi reparasjoner og konstruksjonen betydelig lengre levetid. Faren for utvikling av nye skader pga. armeringskorrosjon er liten. Inngrepet ved elektrokjemisk realkalisering er størst på betongoverflater som er malt eller pusset med svært tett puss. I slike tilfeller er det som oftest nødvendig å fjerne all eksisterende overflatemateriale for at alkaliene skal transporteres inn i konstruksjonen, og for å levere tilstrekkelig strømmengde til armeringen. Det er ikke alltid lett å skape en overflatestruktur som er lik den eksisterende. Det er svært viktig at konstruksjonen får tørke tilstrekkelig ut før flaten påføres ny overflatebehandling. Realkaliseringen er ikke-reversibel. Metoden gir ikke synlig effekt (lesbar). Figur 43 viser misfarging og tegn til malingsavflassing på realkalisert flate som er påført ny overflatebehandling for tidlig. [23]



Figur 43: Misfarging og tegn til malingsavflassing på realkalisert flate. [23]

## Katodisk beskyttelse

Katodisk beskyttelse benyttes der armeringskorrosjon skyldes kloridinfisering eller karbonatisering. Metoden er best egnet hvis skadeomfanget er relativt lite og kan brukes i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon. Metoden medfører store inngrep i konstruksjoner ved bruk av elektrisk ledende maling, anodebånd, stavanoder eller titannett i puss. Ved bruk av katodisk beskyttelse må all eksisterende maling fjernes for å sikre god vedheft mellom anoden og overflaten. I tillegg må det brukes et helt annet materiale (f. eks. ledende belegg) enn opprinnelige. Metoden er reversibel fordi alt som brukes under prosessen kan fjernes. Metoden er synlig på overflaten (lesbar). Nye materialer som belegg og mye kablinger og instrumenter vil være synlig på konstruksjonen. (Figur 44) [23]



Figur 44: Synlig strømfordelingsbånd. [23]

## Elektrokjemisk kloriduttrekk

Metoden kan brukes i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon. Den er best egnet hvis skadeomfang er relativt lite, men etter at betongen er kloridinfisert helt eller delvis inntil armeringen. Behandlingen vil gi reparasjoner og konstruksjonen betydelig lengre levetid. Faren for utvikling av nye skader pga. armeringskorrosjon er liten. Inngrepet ved elektrokjemisk kloriduttrekk er størst på betongoverflater som er malt eller pusset med svært tett puss. I slike tilfeller er det som oftest nødvendig å fjerne all eksisterende overflatemateriale for at kloridionene skal transporteres ut av betongen, og for å levere tilstrekkelig strømmengde til armeringen. Det er ikke alltid lett å skape en overflatestruktur som er lik den eksisterende. Det er svært viktig at konstruksjonen får tørke tilstrekkelig ut før flaten påføres ny overflatebehandling. Kloriduttrekk er ikke-reversibel. Metoden gir ikke synlig effekt (lesbar).

## Overflatebehandling

Preventiv overflatebehandling er best egnet når armeringen ikke ligger i karbonatisert eller kloridinfisert betong. Ved påføring av karbonatiserings eller kloridbremsende belegg/ maling, er det i mange tilfeller nødvendig å fjerne eksisterende overflatemateriale/ puss. Det er ikke alltid lett å skape samme struktur, form og farge som eksisterende overflate. Nødvendig forbehandling kan også medføre synlige inngrep (figur 45, 46) . I enkelte tilfeller må betongoverflaten pusses eller sparkles



etter utført forbehandling, fordi flatene blir for ru og ujevne. Metoden er reversibel ved bruk av filmdannende overflatebehandling, men ikke reversibel ved bruk av impregnering. [23]



Figur 45: Spor i overflaten etter malingsfjerning. [23]



Figur 46: Endre overflatestruktur på grunn av sandblåsing. [23]

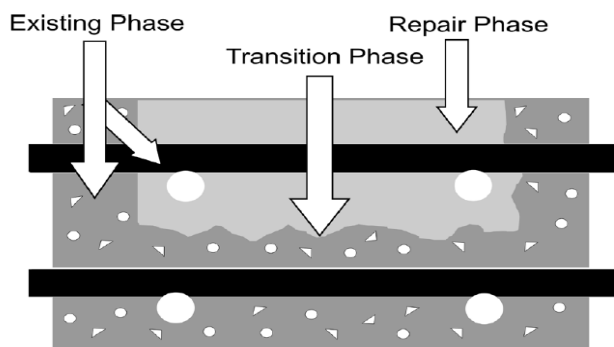
## 9 Mislykkede betongreparasjoner

Betong er et byggemateriale av kunstig fremstilt stein. Betongens egenskaper karakteriseres ved de forskjellige bestanddeler som benyttes til å fremstille dette komposittmaterialet, slik som sementtype, finstoff, fillere, sand- og aggregattyper, samt eventuell armering av stål og/eller fibere.

Betongreparasjoner kan avskalle eller sprekke opp nokså kort tid etter at reparasjonene er utført. Tiden fra reparasjonen er utført til avskalling oppstår kan være måneder eller år. Over store deler av verden utbedres betongskader ved å foreta lokale reparasjoner som svikter etter alt for kort tid. Årsaken til tidlig reparasjonssvikt skyldes forskjeller mellom betongens egenskaper og egenskapene til reparasjonsmørtelen. Årsakene til svikt er sammensatt, men en fellesnevner er at ordinært armeringsstål vil korrodere dersom stålet eksponeres for forskjellige kjemiske eller fysiske miljø. Slike kjemisk-fysiske miljøforskjeller skjer i overgangen mellom moderbetongen og reparasjonsmaterialet, ved at PH verdien er forskjellig mellom betongen og reparasjonsmørtelen, ved at moderbetongen inneholder klorider mens reparasjonsmørtelen er kloridfri, ved at den elektriske ledningsevnen i reparasjonsmørtelen er svært forskjellig fra betongens, eller ved at oksygendiffusjonshastigheten er forskjellig mellom betong og mørtel. I tillegg vil reparasjoner svikte dersom reparasjonsmørtelens elastisitetsmodul og trykkstyrke er større enn betongens, fordi spenninger utløst av termiske bevegelser vil dannes mellom betong og mørtel.

Uvitenhet og misforståelser omkring materialkompatibilitet er utbredt og leder til de skademekanismer som er beskrevet tidligere.

Vellykketheten til betongreparasjoner i et sammensatt system, avhenger av egenskapene til betongen og reparasjonsmaterialet i deres grensesnitt. En idealisert modell av en reparasjon er presentert som ett tre-fasesystem, hvor holdbarheten av en reparasjonen er styrt av egenskapene til reparasjonen, underlaget, og grensesnittet mellom dem (Se figur 47).



Figur 47: Kompatibilitet reparasjonssystem. [29]

En reparert betongkonstruksjon er et sammensatt system av komposittmaterialer som utsettes for både interne og ytre laster, og som kan utsettes for store temperaturforskjeller mellom årstidene. Samspillet mellom materialene er avgjørende for funksjonsdyktigheten til reparasjoner. Heftsonen i



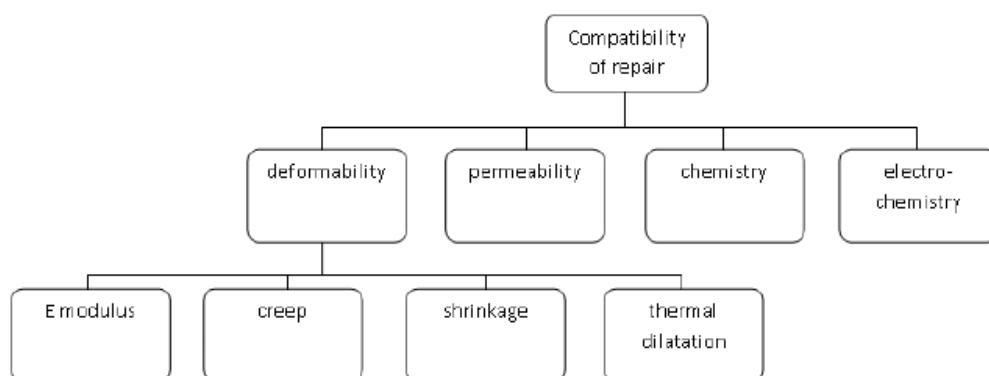
grensesnittet mellom materialene, vil sannsynligvis bli utsatt for betydelige påkjenninger fra krefter som avstedkommer fra interne laster, ytre lastpåføringer, volumendringer ved temperatur-svingninger, fryse-tine-sykluser, samt støt og vibrasjoner. De spenningsoppbygninger som kan oppstå mellom betongen og reparasjonsmaterialet avhenger av konstruksjonstypen, anvendelsen av konstruksjonen, og miljøet konstruksjonen befinner seg i.

For å kunne spesifisere et reparasjonssystem som vil oppnå langvarig holdbarhet, må man først kjenne betongens egenskaper, konstruksjonens funksjon, og miljøeksponeringene konstruksjonen utsettes for. Slike betongtekniske undersøkelser kan kun foretas som et ledd i en grundig tilstandsvurdering. På basis av betongens materialegenskaper og konstruksjonens funksjon og miljøbelastning, kan holdbarhetsplanlegging foretas ved utforming av materialspesifikasjoner, utførelseskrav og kvalitetskontroller. Målet med et reparasjonsprosjekt bør være å produsere en varig, og relativt sett, kostnadseffektiv reparasjon. Kostnadseffektivitet oppnås ved lang levetid og lave vedlikeholdskostnader. For å oppnå dette må det iverksettes forsknings- og utviklingsprosjekter i samarbeid med materialleverandører og konsulenter som forhåpentligvis vil lede til bedre reparasjonsmaterialer og -systemer, bredere produktvalg, effektive testmetoder for bestemmelse av betongens materialegenskaper, samt endringer i standarder og normer for materialproduksjon, tilstandskontroller og anvendelser. Det er en lang vei dit fra der vi står i dag. [29]

## 9.1 Kompatibilitetsfaktorer og materialegenskaper

Betong er et inhomogent materiale med svært mange variasjonsfaktorer. Slike variasjoner avstedkommer under betongfremstilling, betongtransport, utførelser og utstøping på byggeplassene.

Materialkompatibilitet bør derfor betraktes som et globalt problem hvor det foretas mange vurderinger av ytelsesfaktorer mellom materialene. Slike ytelsesfaktorer er basert på mekaniske-, kjemiske-, elektrokjemiske- og permeabilitetsegenskaper. (Se figur 48).

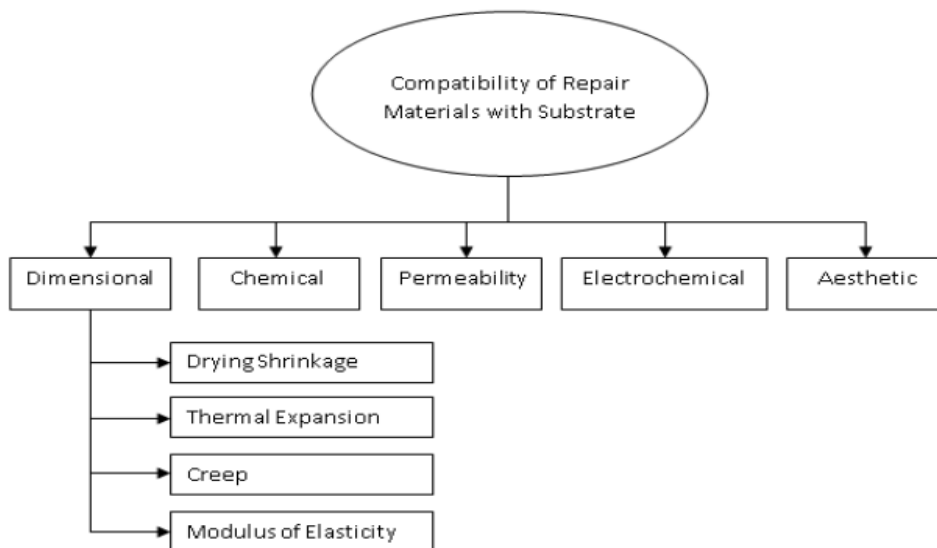


Figur 48: Prinsippene for kompatibilitet av reparasjonsmateriale og systemer. [29]

Kompatibilitet i reparasjonssystemer kan defineres som balansen mellom disse egenskapene til henholdsvis reparasjonsmaterialet og underlaget. Målet er å oppnå en balanse som medfører at

systemet tåler alle påkjenninger forårsaket av laster, kjemiske miljøpåkjenninger, termiske miljøpåkjenninger, samt diverse kjemisk-fysiske effekter i en bestemt periode som kan kalles levetid.

Figur 49 presenterer egenskaper og faktorer som skal behandles i kompatibilitetsanalyse. [29]



Figur 49: Betongreparasjon: Kompatibilitetsystem. [29]

### 9.1.1 Dimensjonert kompatibilitet


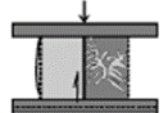
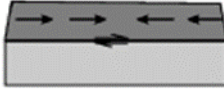
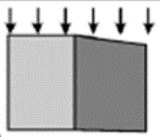
En av de viktigste kompatibilitetskravene er å dimensjonere reparasjonsmaterialer slik at kryp- og deformasjonsegenskapene tilpasses det eksisterende underlaget. Materialegenskaper må ivareta underlagets materialegenskaper som kjennetegnes ved termisk krymp og utvidelse, elastisitetsmodul, og kryp under ulike belastningsforhold. De dimensjoneringsparametre som bør betraktes er som følger:

- Volumendringer i reparasjonsmaterialet i forhold til substratet;
- Forskjeller i termisk utvidelse eller sammentrekning av reparasjonsmaterialet og underlagsmaterialet som kan medføre spenningsoppbygning mellom materialene;
- Forskjeller i elastisitetsmodul, som kan forårsake ujevn lastfordeling ved påføring av interne og eksterne laster, som kan medføre spenningsoppbygning mellom materialene;
- Forskjeller i kryp; (viskøs deformasjon under belastning)
- Relativ tetthet i ytelsen mellom fasene i det sammensatte systemet.

I løpet av en reparasjons levetid kan inkompatibilitet i form av forskjeller i styrke, elastisitetsmoduler og termisk utvidelse mellom reparasjoner og substratet skape spenninger og spenningskonsentrasjoner. Mange materialer endrer volum med fukt- og temperaturendringer.

Strekkspenninger kan induseres i ett materiale, mens trykkspenninger induseres i det andre, og som et resultat, vil skjærkrefter forekomme i grensesnittet mellom materialene. Liknende påkjenninger kan oppstå ved forskjeller i materialenes trykkstyrke, termiske bevegelseskoeffisienter og elastisitetsmoduler. [29]

De beskrevne forskjellene i materialegenskaper fører til dannelse av krefter mellom materialene som leder til avskalling av reparasjonsmaterialet, sprekkdannelser i reparasjonsmaterialet, eller til at underlaget skades ved avriving av underlaget. (Se figur 50).

<table border="1"> <tr> <td>New (n)</td> <td><math>\alpha_n</math></td> <td rowspan="2">Thermal Coefficient of Expansion (<math>\alpha</math>)</td> </tr> <tr> <td>Old (o)</td> <td><math>\alpha_o</math></td> </tr> </table> <p>Given a temperature change evenly distributed through the materials the following stresses will occur according to the relationship of the Thermal Coefficients of the new and old materials.</p>	New (n)	$\alpha_n$	Thermal Coefficient of Expansion ( $\alpha$ )	Old (o)	$\alpha_o$	<p><math>\alpha_n = \alpha_o</math></p> <p>If <math>\alpha_n &gt; \alpha_o</math> or <math>\alpha_n &lt; \alpha_o</math></p>  <p>Shear Bond Is Stressed</p>
New (n)	$\alpha_n$	Thermal Coefficient of Expansion ( $\alpha$ )				
Old (o)	$\alpha_o$					
<table border="1"> <tr> <td><math>E_n</math></td> <td><math>E_o</math></td> <td rowspan="2">Modulus of Elasticity (E)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Given an evenly distributed load, the following stresses will occur according to the relationship of the Modulus of Elasticity of the new and old materials.</p>	$E_n$	$E_o$	Modulus of Elasticity (E)			<p>If <math>E_n = E_o</math> No Stress Occurs</p> <p>If <math>E_n &gt; E_o</math> or <math>E_n &lt; E_o</math></p>  <p>Shear Bond Is Stressed</p>
$E_n$	$E_o$	Modulus of Elasticity (E)				
<table border="1"> <tr> <td><math>S_n</math></td> <td rowspan="2">Drying Shrinkage (<math>S_n</math>)</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table> <p>Assuming the old material has already developed a stable drying shrinkage volume, then the following stresses will occur according to the amount of drying shrinkage of the new material.</p>	$S_n$	Drying Shrinkage ( $S_n$ )		<p>If <math>S_n = 0</math> No Stress Occurs</p> <p>If <math>S_n &gt; 0</math></p>  <p>Shear Bond Is Stressed, Loads carried by repair are reduced, tension in repair material.</p>		
$S_n$	Drying Shrinkage ( $S_n$ )					
<table border="1"> <tr> <td><math>C_n</math></td> <td rowspan="2">Creep (<math>C_n</math>)</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table> <p>Assuming the old material has already developed a stable creep volume, then the following stresses will occur according to the amount of creep occurring in the new material.</p>	$C_n$	Creep ( $C_n$ )		<p>If <math>C_n = 0</math> No Stress Occurs</p> <p>If <math>C_n &gt; 0</math></p>  <p>Shear Bond Is Stressed, Loads carried by repair are reduced.</p>		
$C_n$	Creep ( $C_n$ )					

Figur 50: Volumendringseffekter på reparasjon. [29]

### 9.1.2 Permeabilitet og kompatibilitet

Tilpasning av permeabiliteten til reparasjonsmaterialer er en av de viktigste parametre for å oppnå materialkompatibilitet og lang holdbarhet. Hvis erfaringer fra bruken av betong med lav permeabilitet viser at lang levetid oppnås, vil lang levetid ikke nødvendigvis oppnås ved reparasjon av slik betong. Reparasjoner er ikke et komposittmateriale i seg selv, men konstruksjoner er et system

sammensatt av forskjellige materialer. For å oppnå lang levetid ved reparasjon av betong, må alle funksjoner analyseres nøyaktig slik at alle viktige parametre ivaretas.

Korrosjon på armering kan oppstå i grensesnittet mellom betongen (substratet) og reparasjonsmaterialet dersom de to materialene har forskjellig permeabilitet. Det er to forhold som i denne sammenheng bør betraktes:

- (1) Reparasjonsmaterialet har tilnærmet samme permeabilitet som substratet, og
- (2) Reparasjonsmaterialet har lavere eller større permeabilitet enn reparasjonsmaterialet.

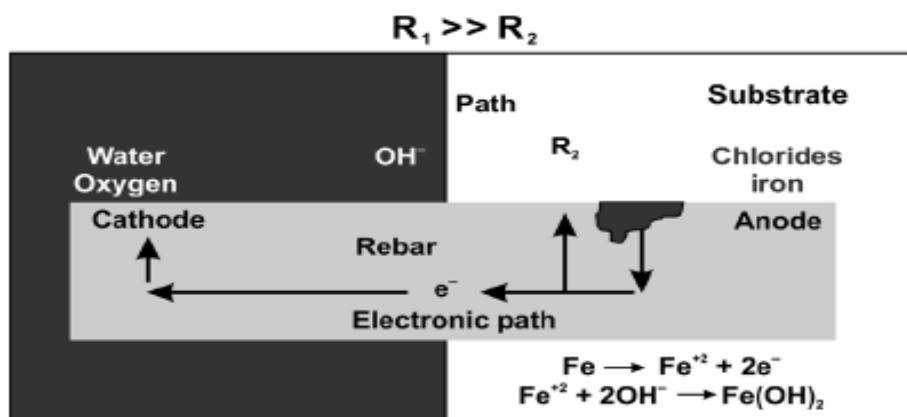
Det er den katodiske reaksjonen som bestemmer korrosjonshastigheten på armeringsstål (strømmengden i Ampere), mens den anodiske reaksjonen forårsaker potensialforskjeller på ståloverflaten (spenningsforskjeller i Volt). Ved å velge et reparasjonsmateriale med samme permeabilitet som substratet, vil potensialforskjellen reduseres mellom reparasjonen og substratet, og det kan da forventes at den katodiske reaksjonen på armeringen vil være liten. I praksis vil det alltid være permeabilitetsforskjeller mellom substratet og reparasjonsmaterialet, men ved å minimere forskjellene i permeabilitet, vil korrosjonshastigheten reduseres betraktelig, slik at levetiden økes.

Materialets permeabilitet er en funksjon av materialtetthet. Tettheten er avgjørende for materialets elektriske ledningsevne, og dets evne til å absorbere vann og atmosfæriske gasser, slik som oksygen og karbondioksid. Absorpsjon av oksygen vil tilføre armeringsstål oksygenet som behøves for at korrosjon skal forløpe. Absorpsjon av karbondioksid vil medføre at sementen i betong og reparasjonsmørtler karbonatiseres. Vannabsorpsjon vil senke den elektriske ledningsevnen, og kan tilføre kloridholdige salter. Dersom det er permeabilitetsforskjeller mellom substratet og reparasjonsmaterialet, kan det oppstå kjemisk-fysiske gradienter i grensesnittet mellom dem. Armeringsstål som utsettes for kjemisk-fysiske gradienter, altså forskjeller i pH, fuktighetsnivå, kloridinnhold og elektrisk ledningsevne, vil være mer tilbøyelig til å korrodere.

Korrosjon, eller mikrocellekorrosjon, er en kjemisk-fysisk prosess. Fysikken beskriver korrosjonspotensialer, mens kjemien og fysikken beskriver kinetikken. Termodynamikken benyttes til å beregne om en reaksjon kan forløpe, mens kinetikken benyttes til å beregne hastigheten reaksjonen vil forløpe med. Potensialet på ståloverflaten gir kun sannsynligheten for at korrosjon forløper. Fordi kinetikken beskriver korrosjonshastigheten, er det fornuftig å innlemme kinetisk teori i analysen av armeringskorrosjon i reparerte betongkonstruksjoner.

Mikrocellekorrosjon omfatter fire grunnleggende enheter: (1) en anode, (2) en katode, (3) en elektrisk forbindelse, og (4) en elektrolytisk løsning. Når reaksjonen har nådd en stabil tilstand, dannes en krets som transporterer strømmen av hydroksylioner gjennom elektrolytten i betongens poresystem. For at reaksjonen skal finne sted, må oksygen være tilstede, og det må tilføres oksygen til stålet ved diffusjon gjennom betongens poresystem.

Figur 51 viser en mikrocelle i grensesnittet mellom betong og reparasjonsmørtel. I dette tilfelle er reparasjonsmørtelen mye mindre permeabelt enn substratet (betongen). Hvis det benyttes et reparasjonsmateriale som reduserer diffusjon av oksygen til armeringsstålet, vil den katodiske reaksjonen være langsommere enn den ellers ville vært for en identisk korrosjonscelle med et mer permeabelt materiale som omgir det katodiske området.



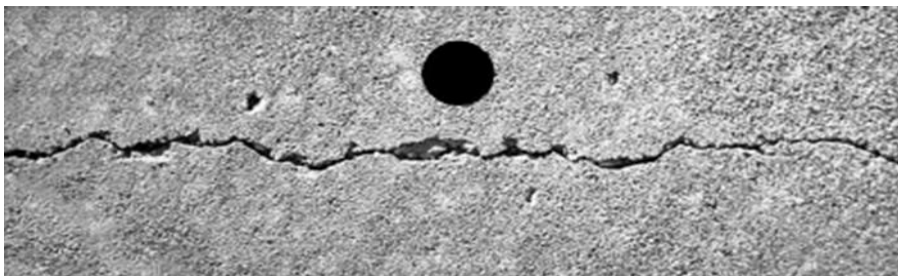
Figur 51: Reparete anode mikrocelle korrosjon (lav gjennomtrengelig lapp). [29]

Begrensning av oksygentilførsel, ved å benytte reparasjonsmaterialer med lav permeabilitet hemmer transporten av hydroksylioner, og dermed begrenses bidraget til å opprettholde den anodiske reaksjonen i kretsen. Desto mindre permeabelt materialet er, desto mindre blir strømmengden som leveres. Men bruken av reparasjonsmaterialer med lav permeabilitet til å utbedre skader i betong med høy permeabilitet vil ikke forhindre dannelse av anodiske reaksjoner på armeringsstål!!

Det er logisk å konkludere med at det ved anvendelse av et reparasjonsmateriale med høy elektrolytisk motstand (dvs. et mindre gjennomtrengelig og ledende materiale) vil redusere den katodiske effekten på armeringen som omsluttet av reparasjonsmaterialet, såfremt betongen har tilsvarende egenskaper. [29]

Teoretisk analyse av korrosjonsprosesser i reparerte betongkonstruksjoner har tradisjonelt fokusert på mulige forskjeller mellom reparasjonsområder og betongen. Denne analysen har ført til en reparasjonspraksis som foreslår å bruke reparasjonsmaterialer med samme permeabilitet som underlaget av betong. En annen analyse, som inkluderte både potensial teori og kinetisk teori, tyder på at reparasjonsmaterialer som er mindre gjennomtrengelig bør ha mindre innvirkning på omgivelsene, samt gi et høyere beskyttelsesnivå i lappet området. Dessverre er det få eksperimentelle data som støtter denne hypotesen, så den er fortsatt utilstrekkelig dokumentert.

I noen tilfeller kan valget av reparasjonsmaterialer med lav permeabilitet, og som ikke er kompatible med egenskapene til eksisterende betong, føre til svikt. Mikroriss forbundet med sprekkdannelser som stammer fra reparasjonsoverflaten spiller en mye større rolle i å redusere permeabiliteten og holdbarheten, enn permeabiliteten til selve reparasjonsmaterialet. (Se figur 52)



**Figur 52: Lav-permeabelt betong reparert med et høypermeabelt reparasjonsmateriale. Sprekkdannelsen som har oppstått vil likevel gi høy permeabilitet ved og i reparasjonsstedet. [29]**

Materialer med lav permeabilitet fungerer i praksis som vanndampspærre, og kan derfor akkumulere fuktighet bak reparasjonsmaterialet. Forhøyet fuktighet kan medføre akselerert korrosjon, initiere aklalie-kiselreaksjoner og medføre frostskafer. Når temperaturen synker, kondenserer vanndampen i betongporene til flytende vann som senere kan fryse og forårsake sprekkdannelser. Vannløselige stoffer i betongen, slik som saltforbindelser, kan medføre at vannet får multiple frysepunkt som medfører fryse-tineskafer. I tillegg kan osmotiske krefter ved fortykning av løsninger på tvers av poreveggene medføre at betongporer sprekker.

Disse eksemplene viser at bruken av materialer med høy tetthet og lav permeabilitet, uavhengig av situasjonen, ikke alltid fungerer. For de tilfellene som er beskrevet ovenfor er det likevel mulig at korrekte reparasjonsmaterialer, med kompatibel permeabilitet, er blitt spesifisert. I hvert enkelt tilfelle må konstruksjonenes funksjoner, materialenes virkemåter og klimaet analyseres for å kunne spesifisere korrekte reparasjonsmetoder og reparasjonsmaterialer. Virkningene av mange variabler, slik som miljøet konstruksjonen utsettes for, de ytre kreftene konstruksjonen utsettes for, interne lastendringer (sykliske laster), med mere, har stor betydning for utformingen av korrekte reparasjoner.

### 9.1.3 Elektrokjemisk kompatibilitet

Tidlig svikt i kostbare utbedringer skyldes hovedsakelig elektrokjemisk inkompatibilitet. Drivkraften for korrosjonsprosesser i reparasjonssystemer forklares ved elektrokjemisk inkompatibilitet mellom reparasjoner og underlaget. Elektrokjemisk inkompatibilitet er definert som ubalanse i elektrokjemiske potensialer (dannelse av spenningsforskjeller) på overflaten av armeringsstålet. Potensialforskjellene på ståloverflaten dannes når stålet utsettes for ulike miljøer. De ulike miljøer, kan dannes av forskjeller i fysisk-kjemiske egenskaper i materialene som omgir stålet.

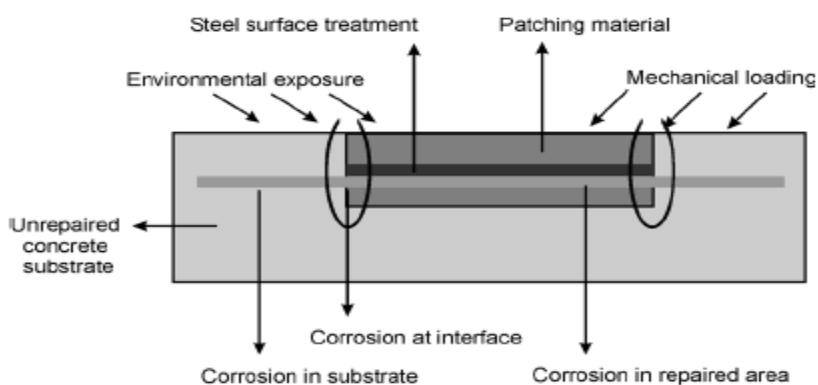
Når stål i reparasjonsområdet omsluttet delvis av kloridinfisert eller karbonatisert betong og delvis av kloridfri og høyalkalisk reparasjonsmateriale, kan sterke korrosjonsceller utvikles. Den delen av stålet som er i den eksisterende betongen blir anodisk, korroderer hurtig, mens resten av stålet som befinner seg i reparasjonsmaterialet, blir katodisk. I ekstreme tilfeller kan korrosjonshastigheten være så intens at armeringsstålets tverrsnitt forminkes ved groptæring, eller rett og slett kappes av korrosjon.

I mange tilfeller vil skadeutviklingen fortsette i konstruksjoner som er reparert, og i noen tilfeller kan skadeutviklingen akselerere. Når armert betong er reparert, kan kloridinfiserte rester av betong bli værende i kontakt med armeringen, og medføre korrosjon. Risikoen er spesielt stor i kombinasjon med reparasjonsmaterialer som har forskjellig evne til å absorbere fuktighet, til å transportere oksygen, fordi kloridinnholdet i reparasjonsmaterialet alltid vil være meget lavt. Sterke korrosjonsceller kan etableres, og resultere i avskalling av reparasjoner som også kan medføre at betongen i tilslutningene skades. Tilsvarende skademekanisme oppstår dersom armeringen er i kontakt med karbonatisert betong og høyalkalisk reparasjonsmørtel etter skadeutbedringer.

Av disse årsaker må reparasjon av korrosjonsinitierte skader oppnå ett eller flere av de følgende formål:

1. Anodedannelser må stoppes;
2. Katodedannelser må stoppes;
3. Den elektriske strømmen i og ved reparasjonen må stoppes eller reduseres.

I en reparasjon, kan korrosjon oppstå i tre områder: (1) i det reparerte området, (2) i substratet, eller (3) i grensesnittene. Korrosjon i et reparasjonssystem er komplisert fordi det involverer egenskapene til reparasjonsmaterialer, stålets egenskaper, eventuell overflatebehandling på stålet, egenskapene til den eksisterende betongen. Figur 53 illustrerer disse viktige faktorene.



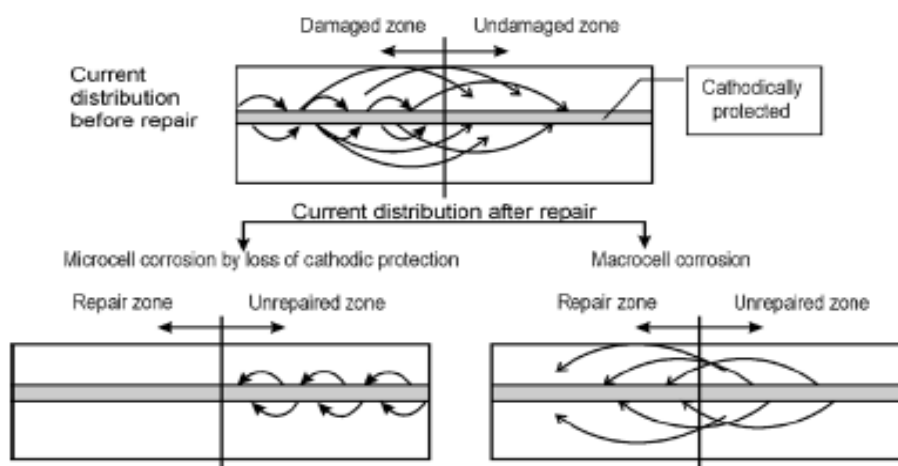
Figur 53: Viktige faktorer i et betongreparasjonssystem. [29]

Vår begrensede forståelse av kompleksiteten av korrosjonsprosesser i reparasjoner kjennetegnes ved at en korrekt utført reparasjon, med et velegnet materiale av lav permeabilitet og god heftstyrke til underlaget, ikke eliminerer risikoen for ny aktiv korrosjon. Initiering av aktiv korrosjon etter utførte reparasjoner har ofte blitt registrert i substratet, eller ved sårgrenseflaten. Dette er blitt beskrevet som makrocellekorrosjon dannet mellom stålet i det reparerte området (katode) og stålet i betongunderlaget (anode). Den rådende oppfatning er at den elektrokjemiske inkompatibiliteten mellom reparasjonsmaterialet og underlaget hovedsakelig er ansvarlig for denne typen korrosjon. [29]



## 1. Microcelle korrosjon av tap av katodisk beskyttelse

For å forklare korrosjonsaktiviteten før og etter reparasjon er det nødvendig å illustrere de endringer reparasjoner medfører. Før reparasjon var betongen som omsluttet stålet mer korrosivt overfor stålet enn betongen bakenfor, og til siden for skaden; Derfor det fungerte armeringen som en anode som induerte (aktiv) korrosjon, mens armeringen i de tilsluttende områdene ble katodisk beskyttet. Dette illustreres av strømveien fra det skadede, anodiske området til det katodiske, skadefrie området i den øvre delen av figur 54 (bare strømveien i betongen er illustrert, men retningen til elektronstrømmen er motsatt). Etter reparasjon er det korrosive miljøet i det skadede området fjernet, og følgelig er den katodiske beskyttelsen av stålet i de tilsluttende områdene tapt. Som et resultat av dette kan stålet i de tilsluttende områdene utvikle aktiv mikrocellekorrosjon, som senere leder til makrocellekorrosjon, som vist i den nedre venstre delen av figur 29. Det er viktig å merke seg at denne typen korrosjon ikke kan oppdages ved å benytte et amperemeter med tilnærmet null Ohm for å oppdage makrocellen.



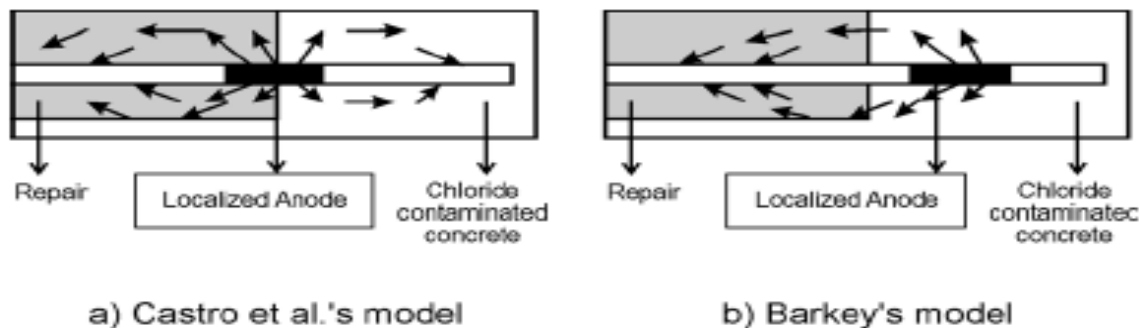
Figur 54: Illustrasjon av korrosjonsmekanismer før og etter betongreparasjon. [29]

## 2. Makrocellekorrosjon initiert av inkompatibilitet

Det er to tilfeller av makrocellekorrosjon hvor de anodiske områdene kan være i reparasjonen, eller i tilsluttende betong. For eksempel, ved reparasjon av kloridinfisert betong kan kloridkonsentrasjonen i gjenværende betong være større enn i reparasjonsmørtelen. I slike tilfeller er korrosjonspotensialet fra gjenværende betong lavere enn i reparasjonsmørtelen. Som et resultat vil den kjemiske miljøforskjellen mellom reparasjonsmørtelen og den gjenværende betongen forårsake at stålet i den gjenværende betongen blir anodisk, og gjennomgår aktiv korrosjon. (Figur 55-a)

Det andre tilfellet er hvor det benyttes reparasjonsmaterialer med høy densitet og permeabilitet til å reparere skader i porøs og høypermeabel betong. I slike tilfeller er oksygentransporten- og konsentrasjonen i betongen større enn i reparasjonsmaterialet, slik at dens korrosjonspotensiale vil være høyere, og medføre at stålet i reparasjonsmørtelen vil bli anodisk. Imidlertid har eksperimenter

vist at oksygengradient-korrosjon i reparasjonsstedet er lite sannsynlig i et tidlig stadium etter at reparasjonen er utført, fordi stålet i reparasjonsmørtelen sannsynligvis vil være passivert. (Figur 55-b)



Figur 55: Makrocellens strømfordeling i et reparasjonssystem i henhold til: (a) Castro et al 's og (b) Barkey modeller. [29]

## 9.2 Veikart for valg av reparasjonsmaterialer

### 9.2.1 Dimensionbar kompatibilitet

Kombinasjonen av egenskaper og forhold som er ønskelige for å unngå sprekkdannelser i et materiale kan beskrives ved uttrykket "utvidbarhet." Et materiale sies å ha en høy grad av utvidbarhet når det kan bli utsatt for deformasjoner uten å sprekke. Et materiale med tilstrekkelig knekkmotstand skal ikke bare utvise mindre svinn, men skal også utvise en relativt høy grad av utvidelsesmuligheter, som for sementmaterialer betegnes ved lav E-modul, lav termisk utvidelseskoeffisient, lav svinnfaktor, m.m. Generelt er sterke materialer, og spesielt materialer med tidlig styrkeutvikling, mer utsatt for sprekkdannelser på grunn av økt svinn og mindre spenningsutløsning. På den annen side har materialer med lav styrke mindre tendens til å sprekke på grunn av mindre svinn, lavere elastitetsmodul og større spenningsutløsning.

Materialeegenskapene som i størst grad påvirker utviklingen av sprekkdannelser, er i stor grad styrt av dimensjonerbare kriterier, slik som herdesvinn, sementinnhold, kryp, elastitetsmodul, krav til materialtemperatur under støp eller mørtling, varme generert av hydratisering, og vann-sementforhold. Også aggregattyper, fillere og mikrofillere, enkelte mineraltyper, ulike tilsetningsstoffer, og valg av sementtype påvirker materialet evne til å utvikle sprekker. De generelle anbefalingene for reduksjon av sprekkdannelser er som følger:

- Lav sementmengde
- God aggregatkvalitet med lavt kryp
- Luftinnhold
- Lavt herdesvinn
- Moderat herdetemperatur
- Tiltak for å redusere avdampning under herding
- Lavt vanninnhold (vann-sement-forhold mellom 0,41 og 0,45)
- Type II sement

### 9.2.2 Permeabilitet og kompatibilitet

Permeabiliteten i reparasjonsmaterialer er en av de viktigste materialegenskapene med hensyn på materialnedbrytning og armeringskorrosjon. Teknisk analyse er nødvendig for bestemmelse av typen reparasjonsmateriale som bør benyttes i ulike reparasjonssituasjoner. Det finnes ingen enkle anbefalinger som kan benyttes til å avgjøre om et spesifikt materiale vil fungere godt i kombinasjon med en eksisterende betong. Det skyldes de mange forskjellige transportmekanismene i et reparasjonssystem, og det skyldes forhold som kan medføre at materialer blir mer permeable enn tiltenkt. Transport av stoffer gjennom reparasjonssystemer er komplekse prosesser som består av væske- og gasstransport gjennom porer, riss og sprekker ved kapillærtransport, diffusjon, og osmotiske effekter. Det nøyaktige bidraget fra hver prosess må kvantifiseres i hver enkelt situasjon. Variablene som må analyseres er reparasjonens statiske funksjon, det kjemiske miljøet i reparasjonssystemet, det eksterne kjemiske miljøet reparasjonen utsettes for, reparasjonens volumoppbygning med konsekvens for utvikling av spekkdannelser i den plastiske fasen, reparasjonens volumoppbygning og med konsekvens sprekke-dannelser i herdefasen, og herdeforhold hvor temperatur, frost og fuktighet står sentralt. Alle disse parametre er bestemmende for hvor permeabelt er reparasjonsmateriale vil bli etter at herdeprosessen er fullført, og etter at dets underlag og ytre miljø har fått påvirke materialet over tid. [29]

### 9.2.3 Elektrokjemisk kompatibilitet

For å oppnå elektrokjemisk kompatibilitet i reparerte konstruksjoner er en meget vanskelig, om ikke umulig, oppgave. Flertallet av reparasjoner som involverer korrosjon av mørtlet armering kan forstyrre den elektrokjemiske likevekten på ståloverflaten. Det er som regel kun en liten del av konstruksjonen som skal repareres, fordi det er små områder som først skades. For å møte kravene til langvarig holdbarhet, må den iboende sårbarheten til armering av ordinært stål og egenskapene til den eksisterende betongen analyseres og vurderes.

Reparasjoner medfører at forskjellige miljøer introduseres på overflaten til elektrisk sammenhengende armering, og forskjellene er kritiske for levetiden til reparasjoner. I tillegg vil spenningsutløsende forskjeller medføre en betydelig kompleksitetsøkning. Reparasjoner vil påvirke den eksisterende tilstanden, medføre endringer i den kjemiske sammensetningen, og endre transporten av stoffer som oksygen, klorider, og vann som leder til økt nedbrytningshastighet. Fuktighet og endringer i betongens kjemiske miljø innvirker på de elektrokjemiske egenskapene til reparasjonssystemene. Alle disse parametre må vurderes. Per i dag finnes det ingen veiledning som kan benyttes til å dimensjonere og utføre reparasjoner for en varighet som overstiger 10 til 15 år. For å oppnå lengre varighet må elektrokjemiske metoder benyttes etter at reparasjonene er foretatt. [29]

### **9.2.4 Kjemisk kompatibilitet**

Skadeutvikling på grunn av kjemisk inkompatibilitet mellom reparasjonsmaterialet og betongen, eller mellom reparasjonsmaterialet og omgivelsene, er i for liten grad rapportert i litteraturen, og er ofte oversett av ingeniører og forskere. Kjemisk inkompatibilitet oppstår sannsynligvis oftere enn rapportert, og det er vanligvis en medvirkende faktor til reparasjonsfeil. Reparasjonsmaterialer som er spesifisert benyttet til reparasjoner bør være kjemisk kompatible med den eksisterende betongen for å unngå tidlig svikt. De kjemiske egenskapene som bør vurderes kan innbefatte alkalie-innhold, sementtype, (trikalsiumaluminat innhold, for eksempel), kloridinnhold, sulfatinnhold, etc. Alle deler av kjemisk forenlighet må tas i betraktning ved valg av reparasjonsmaterialer. For eksempel, kan betongreparasjoner inneholde potensielt reaktive tilslag, eller det kan utsettes for omgivelser som bryter ned reparasjonsmaterialet. Et eksempel er reparasjonsmaterialer som inneholder aggregater av kalkstein som benyttes til reparasjoner i vannbehandlingsanlegg hvor vannet tilsettes sulfater som danner svovelsyre. [29]

### **9.2.5 Estetisk kompatibilitet**

Noen reparasjons- og restaureringsprosjekter krever farge- og aspekttilspasninger uten bruk av maling og belegg for å skjule reparasjoner. Reparasjon av historiske bygninger, momenter og arkitektonisk viktige konstruksjoner krever vanligvis denne typen kompatibilitet.

Slik kompatibilitet kan oppnås ved å bruke pigmenterte reparasjonsmaterialer, polerte reparasjoner, og reparasjoner med eksponerte aggregater. En ny teknologi - automatisk dispensering av flytende pigment til betong, kan være en interessant og attraktiv løsning. [29]

## 10 Resultater og diskusjon

### 10.1 Betong og skader i funksisbygg

Først på 1920-30 tallet ble armert betong brukt i funksisbygg som villaer, bad, restauranter og kontorbygg. Boligblokker og eneboliger er blant byggene hvor armert betong ble brukt i konstruksjoner som grunnmur, vegger, etasjeskiller og balkonger.

Mange av disse betongbyggene har nå behov for rehabilitering. Skadene er i hovedsak armeringskorrosjon som følge av karbonatisering i vegger, dekker, balkonger, bjelker i vindusoverdekninger og grunnmurer.

I parkeringskjellere er det også tilførte klorider som er hovedårsaken til armeringskorrosjon, men det er også funnet innstøpte klorider i dekker og vegger i (bygget generelt) som kommer av at det ble benyttet salt i betongen ved vinterstøp eller brukt tilslag som f.eks fjæresand som inneholder salt.

Typiske skader kan skyldes at betongen ikke er godt komprimert, har dårlig fasthet, eller er dårlig pga dårlig blanding. Det ble brukt mye lokalt tilslag og det var nok ikke stort fokus på korngradering i tilslaget. Overdekningen på armering var heller ikke alltid tilstrekkelig. Boligkjellerne var ofte fuktige på grunn av manglende eller svært enkel drenering.

Armeringskorrosjon er hovedproblem i disse betongkonstruksjonene, men årsaken til skader kan også være setninger, overbelastning, krymping, realkalisering eller frostskafer.

Ovennevnte parametere har ført til at betongen har mistet motstanden mot inntrenging av fukt, luft og aggressive stoffer. Betong er blitt karbonatisert eller kloridinitiert og armeringen har begynt å ruste og dannet skader i form av riss, sprekker som etterhvert sprenger bort biter av betongen.

Typiske skader i funksisbygg er vist i bildene nedenfor.



Figur 56: Ingierstrand bad, bygget i 1933/34. [20]



Figur 57: Korrodert armering på fasade. [26]



Figur 58: Korrodert armering over vindu. [25]



Figur 59: Kraftig korrosjon av armering i karbonatisert betong langs platekanten av balkong. [27]



Figur 60: Synlig armeringskorrosjon på søyler utvendig og underkant dekke i kjeller (Stamsund kirke, bygd i 1937). [20]



Figur 61: Avskalling på grunn av armering korrosjon i undersiden av dekke. [20]

## **10.2 Hvordan betong i perioden 1910-1950 har oppført seg med hensyn til armeringskorrosjon og hvordan den skiller seg fra nyere og dagens betong**

Løsninger som ble brukt på 1910 tallet, med den betongkvaliteten de hadde den gang, hadde lang holdbarhet. Tilsvarende løsninger på 1960 –tallet, og (særlig) kanskje enda senere, har hatt kortere levetid.

Frem til slutten av 1960-tallet hadde betong et sement-aggregatforhold på mellom 1 til 3 og 1 til 5. I løpet av 1960-tallet og frem til i dag har det vært vanlig med sement-aggregatinnhold på 1 til 8. Bruk av tilsetningsstoffer som plastiserende, superplastiserende og diverse finstoffer medførte at sementmengden ble sterkt redusert. Den betongen inneholder derfor lite alkalier sammenlignet med den betongen som ble brukt før 1960 tallet.

Når betongen fra 1960-1990 med tilsetningsstoffer som plastiserende eller superplastiserende reagerer med CO<sub>2</sub> i luften, går karbonatiseringsprosessen raskere fordi det er mindre alkalier. Betongen som ble laget før 1960 tallet inneholder dobbelt så mye alkalier og tåler derfor dobbel så mye CO<sub>2</sub> før den blir karbonatisert. Det er det samme med kloridentifisering fordi stålet er mindre mottakelig mot korrosjon hvis det er mye alkali tilstede. Korrosjonsmotstanden i den gamle betongen før 1960 tallet er høyere. Den karbonatiseres langsommere og den har bedre resistens. Derfor har mange funksisbygg lite problemer med betongen før bruken av tilsetningsstoffer tiltok.

Alkaliemengden i betongen er like viktig for å motstå karbonatisering som for å motstå kloridinfisering. Ved å fremstille en betong med tett porestruktur, slik at man får ved å tilsette mikrosilika og andre mikrostoff er blitt gjort for at karbonatiseringen skal ta lengre tid. I moderne betong (1990-i dag), med mikrosilikatilisning og en del mikrofillere, får man en veldig tett porestruktur, men alkalimengden i betongen ikke økes. Man greide å bremse karbonatiseringen, men ikke kloridinfisering i samme grad. Kloridinntrengningen går mye forttere enn man tror selv om man har tett porestruktur. Kloridionene er så små at de trenger seg inn ved diffusjon i konstruksjonene. Når de først trenger inn, og alkalimengden er liten, starter korrosjonen lettere enn i gammel betong med høyere alkalimengde.

## **10.3 Kartlegging av utbedringsmetoder**

Behovet for rehabilitering kartlegges ved å gjennomføre en tilstandskontroll. NS 3424 og RIFs norm for tilstandsundersøkelser gir detaljerte føringer for hvordan en tilstandskontroll skal gjennomføres. Standarden og normen angir 3 registreringsnivåer, grov (nivå 1), generell (nivå 2) og omfattende (nivå 3). Basert på hensikten med kontrollen velges korrekt nivå. Det er heller ikke helt uvanlig å starte med en nivå 1-undersøkelse, for deretter å supplere med en grundigere undersøkelse senere.

Ut fra undersøkelsen kan man finne ut hvilke skader som har oppstått og hva som er årsaken til skaden. Det brukes forskjellige metoder for å finne skader, skadeårsaken og betongkvaliteten og kan



gjøres enten i felt eller i laboratorium. Beskrivelsen av disse (nødvendige) undersøkelsene er beskrevet i (kap 7.1.1)

Det er to årsaker til at armeringskorrosjon oppstår, enten ved karbonatisering eller ved høyt innhold av klorider.

Følgene tiltak og metoder som brukes under reparasjons av armeringskorrosjonsskader på grunn av karbonatisering, kan være aktuelle :

- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk realkalisering (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Katodisk beskyttelse (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Maling/belegning

Tiltak mot armeringskorrosjon på grunn av kloridinntrengning, kan være:

- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk kloriduttrekk (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Katodisk beskyttelse (i kombinasjon med forenklet mekanisk reparasjon)
- Maling/belegning

Detaljert metodebeskrivelsene finnes i (kap 7.3)

Det er flere byggverk med betongkonstruksjoner som blir verneverdige. Antikvariske problemstillinger kan være avgjørende for valg av utbedringsmetode. Antikvarisk rehabilitering skal tilfredsstille loven og det skal uansett gjøres minst mulig inngrep. I tillegg må man sørge for å benytte reparasjonsmaterialer som har mest like egenskaper som eksisterende betongkonstruksjoner, og gir lang levetid. Fullstendig mekanisk reparasjonsmetode er helt uaktuell. Antikvariske myndighetene er mer interessert å bruke (tradisjonelle reparasjonsmateriale) riktig mørtel enn å bruke standardiserte materialer. Man må alltid snakke med antikvarisk myndighetene før man starter jobben i forbindelse med vernede og fredede bygninger. Det kan ofte prosjektere vernede bygninger med bruk av NS 1504 serien og standard 3420, men man ikke kan gjøre noen ting med fredede bygninger før man har snakket med de antikvariske myndighetene.

## 10.4 Reparasjonsmaterialer

De samme prinsippene for reparasjonsmetoder gjelder for alle betongkonstruksjoner. Uansett hvilke betongkvaliteter man står ovenfor i betongrehabiliteringsprosjekter, er det nødvendig å utbedre skader ved bruk av reparasjonsmaterialer der mekaniske, kjemiske og fysiske egenskaper er så nær betongens egenskaper som mulig, enten man bruker sprøytemørtel, tørrsprøytemørtel eller håndmørtler.

Betongreparasjoner utføres ved å mørtle eller støpe ut sår i betongen. Det benyttes ofte reparasjonssystemer som er utviklet av materialprodusenter for å ivareta standardiserte krav. Det eksisterer mange ulike produkter: Enkle, rent sementbaserte tørrmørtler som kun skal tilsettes vann (CC-mørtler), én- eller to komponentmørtler som inneholder polymerer (PCC-mørtler), og ikke-sementbaserte mørtler med resiner av epoxy eller polyuretan som bindemiddel. Til tørrsprøyting av betongskader benyttes det spesialformulerte mørtler som kun blandes med vann i et munnstykke under utblåsning. Våtsprøyting av ferdigbetong under tilsetning av herdeakselerator er en annen metode. Produktene og mørtlingsmetodene adskilles ved benevnelsene håndmørtling, tørrsprøyting og våtsprøyting. Ved håndmørtling er det vanlig å påføre en sementpasta på såroverflaten som et slags lim (heftbro) mellom mørtelen og betongen, Det er vanlig at reparasjonssystemer inneholder anvisninger og produkter for påføring av en sementrik pasta på rengjort armeringsstål for å korrosjonsbeskytte armeringen. Verken korrosjonsbeskyttende pasta eller heftbro benyttes ved våt- og tørrsprøyting, men kun ved håndmørtling.

NS EN 1504-serien, især del 3 og del 9, samt veiledningen til NS3420 - tekniske bestemmelser, klassifiserer reparasjonsmørtler i 4 klasser R1, R2, R3, og R4. Styrken til R4 er større enn 45 MPa, R3 større enn 25 MPa, R2 større enn 15 MPa og R1 større enn 10 MPa. Det er forskjellige krav til forskjellige klasser. Det stiller krav til trykkstyrke, kloridinnhold, heftstyrke, kryp, levetid termisk kapabilitet, karbonatiseringsmotstand, elastisitet og evnen til absorbere vann. R1-mørtler har lav fasthet, og er ikke ment benyttet til konstruktive, bærende formål. Mørtler i klassene R2 til R4 er mørtler som kan benyttes som konstruksjonsmørtler. Det er viktig å merke seg at en R1-mørtel ofte kan benyttes til konstruktive reparasjoner dersom betongens trykkstyrke er tilsvarende trykkstyrken til R1-mørtler. Slik sett er NS EN 1504-standardverket ikke logisk, og vil fremtvinge bruken av reparasjonsmaterialer som er inkompatible til reparasjoner i svak betong.

## 11 Konklusjon

Det er vanlig at betongreparasjoner svikter kort tid (fra noen måneder til noen år) etter utførelse. Hovedårsaken er at standardverket ( NS 3420LY, Veiledningen til NS3420LY, NS EN 1504-serien) retter seg mot produksjon av reparasjonsmaterialer som er lite egnet for spesialrehabilitering, og fordi materialene i liten grad er tilpasset og kompatible med ulike betongtyper og spesielt svake betongtyper eller svært sementholdige betongtyper. I tillegg er materialene som regel basert på moderne sementtyper, med tilsetningstoffer og fillere, og ikke på ren, standard portlandsement. Av forskjellige årsaker medfører at nye skader oppstår etter kort tid. Årsakene er sammensatte, og skyldes dannelse av spenninger mellom betong og reparasjoner som medfører sprekkdannelser, rissdannelser og overflatespenninger i puss, armeringskorrosjon på grunn av forskjeller i elektrisk motstand og diffusjonsegenskaper mellom betong og reparasjonsmaterialer, vannakkumulering i betong bak reparasjonsmaterialer og sementpuss med frostskafer i underlaget.

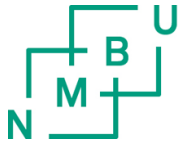
Det er opplagt at de forskjellige reparasjonssystemene er utformet for å ivareta kravene til mekaniske belastninger mellom reparasjonene og betongen, og spesielt dersom reparasjonene har konstruktiv virkning. I midlertid ivaretar ikke reparasjonssystemene de kjemisk-fysiske krav som burde vært stilt til reparasjonsmaterialer. Ved tilstandsundersøkelse er det mange tester og undersøkelser som ikke gjøres. Problemet er at verken 'veiledningen til NS3420LY' eller 'NS EN 1504-serien' inneholder tilstrekkelige krav til bruk av korrekt reparasjonsmørtel og overflatebehandlinger. I tillegg er noe av årsaken til dette er mangel på forståelse og nødvendigheten av kostbar og tidkrevende materialtesting av betongen for å kunne spesifisere korrekt reparasjonsmateriale. I tillegg er det kostbart å fremstille små mengder med spesialtilpassede reparasjonsmaterialer.

Hvis det skal utføres enkle reparasjoner, uten bruk av realkalisering, kloriduttrekk eller katodisk beskyttelse, savner bransjen metoder for å finne de beste reparasjonsmaterialene. Utførelse av elektrokjemiske metoder i kombinasjon med begrenset mekanisk reparasjon, er i dag de eneste metodene som tilbyr lang levetid. Realkalisering, katodisk og kloriduttrekk gjenoppretter homogene elektrokjemiske forhold, men hvis reparasjonsmaterialet ikke er fysisk kompatibel med underlaget, vil det likevel svikte.

Millab consult utfører målinger av porøsitet og spesifikk elektrisk motstand (målingsbeskrivelsen finnes kap 7.1.1) som sier mye om egenskapene til betong, puss og mørtel. Disse prøvene, i tillegg til trykkstyrke, kan gi gode indikasjoner på hvilke reparasjonsmaterialer som behøves til ulike betongtyper. Dette er ganske enkle og raske målinger som ikke er dyre, og som kan utføres på kort tid.

I EU systemet finnes det ikke standarder for å utføre måling av spesifikk elektrisk motstand, men målemetoden finnes i den amerikanske standarden, ASTM, men EU-landene benytter ikke ASTM-standardene.

For å oppnå en vellykket reparasjon med langt levetid, må bransjen legge mye mer arbeid i reparasjonsmaterialer og tilstandsundersøkelser. Både eiere, konsulenter, entreprenører,



materialprodusenter og leverandører må samarbeide for å løse dette problemet gjennom iverksettelse av FoU-prosjekter. Det er en lang vei dit fra der vi står i dag.

## 12 Figurliste

Figur 1: Villa Stenersen i Oslo (1938). [8] .....	13
Figur 2: Kormos-funkis. Eksempel på skjørt og blusehus. Foto: Christel Wigen [10].....	13
Figur 3: Viser boligblokker. Kirkeveien, Oslo, 1934. 7-8 etg. Arkitekt Hans.Wang [11] .....	14
Figur 4: Eksempel på betongdekker med isolert tilfarergolv over kjeller. [12].....	15
Figur 5: Veggarmoring, Armering kunne plasseres på begge sider eller midt i veggen. [13] .....	15
Figur 6: Snitt av betongvegger med faststøpt isolasjon	
a. Med innvendig isolasjon b. med utvendig isolasjon. [13] .....	16
Figur 7: Fundament av armert betong. [14].....	16
Figur 8: Korrosjonsbeskyttende oksidfilm rundt armeringen. [15] .....	17
Figur 9: Rustsprengning. [15].....	17
Figur 10: Viser korrosjonsprodukter har større volum enn metallet. [16].....	18
Figur 11: Groptæring.[15].....	18
Figur 12: Forløpet av armeringskorrosjon er delt i to faser. [20].....	19
Figur 13: Armeringskorrosjon. [19] .....	20
Figur 14: Karbonatiseringsprosessen. [15] .....	20
Figur 15: Karbonatiseringshastighe.t [17] .....	21
Figur 16: Kloridinitert armeringskorrosjon. [15].....	22
Figur 17: Kloridioner punkterer passivfilmen. [19] .....	22
Figur 18: Forholdet mellom $Cl^-$ og $OH^-$ [19] .....	23
Figur 19: Kloridinitert pittingkorrosjon på stål i betong. [19] .....	23
Figur 20 Typisk overflateriss fra alkalireaksjoner. [15].....	24
Figur 21: Betingelser for alkalireaksjoner. [18] .....	25
Figur 22: Utluting. [15].....	25
Figur 23: Begroing av grønnsalger på gesims og søyler i svalgang på Gand kirke. [24].....	26
Figur 24: Påvisning av karbonatiseringsdybde-rødfiolett fargeutslag indikerer ukarbonatisert. [23]...29	29
Figur 25: Overdekningsmålinger. [20] .....	29
Figur 26: Quantabstrips med måleskala. [20] .....	30
Figur 27: RCT utstyr. [20].....	30
Figur 28: Rissmåler og bruken av den. [20].....	31
Figur 29: Potensialmålinger med kobber-kobbersulfat-halvcelle utført i laboratoriet. [20] .....	31
Figur 30: Fasthetsmåling. [20] .....	32
Figur 31: Måling av elektriskmotstand. [20].....	32
Figur 32: Trinnvis oppbygging ved mekanisk reparasjon. [15].....	36
Figur 33: Prinsippet for elektrokjemisk realkalisering. [15].....	37
Figur 34: Elektrokjemisk realkalisering i praksis. [23].....	37
Figur 35: Prinsippskisse for katodisk beskyttelse.[15].....	39
Figur 36: Viser forskjellige anodesystemer. [23].....	39
Figur 37: Prinsipp for kloriduttrekk. [15] .....	40
Figur 38: Effekt av hydrofobering på betong. [15].....	41

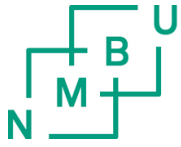
Figur 39: Påføring av impregnering/maling med sprøyte. [15].....	42
Figur 40: Oppbygningen av tykkfilmsmaling. [15].....	42
Figur 41: Reparasjonsområdet er nærmest usynlig. [23].....	44
Figur 42: Svært synlige og lesbare reparasjoner. [23].....	44
Figur 43: Misfarging og tegn til malingsavflassing på realkalisert flate. [23].....	44
Figur 44: Synlig strømfordelingsbånd. [23] .....	45
Figur 45: Spor i overflaten etter malingsfjerning. [23].....	46
Figur 46: Endre overflatestruktur på grunn av sandblåsing. [23].....	46
Figur 47: Kompatibilitet reparasjonssystem. [29] .....	47
Figur 48: Prinsippene for kompatibilitet av reparasjonsmateriale og systemer. [29] .....	48
Figur 49: Betongreparasjon: Kompatibilitetsystem. [29] .....	49
Figur 50: Volumendringseffekter på reparasjon. [29].....	50
Figur 51: Reparete anode mikrocelle korrosjon (lav gjennomtrengelig lapp). [29].....	52
Figur 52: Figur 52: Lav-permeabelt betong reparert med et høypermeabelt reparasjonsmateriale. Sprekkdannelsen som har oppstått vil likevel gi høy permeabilitet ved og i reparasjonsstedet. [29]..	53
Figur 53: Viktige faktorer i et betongreparasjonssystem. [29].....	54
Figur 54: Illustrasjon av korrosjonsmekanismer før og etter betongreparasjon. [29].....	55
Figur 55: Makrocellens strømfordeling i et reparasjonssystem i henhold til: (a) Castro et al 's og (b) Barkey modeller. [29] .....	56
Figur 56: Ingierstrand bad, bygget i 1933/34. [20].....	60
Figur 57: Korrodert armring på fasade. [26] .....	60
Figur 58: Korrodert armering over vindu. [25] .....	60
Figur 59: Kraftig korrosjon av armering i karbonatisert betong langs platekanten av balkong. [27] ....	60
Figur 60: Synlig armeringskorrosjon på søyler utvendig og underkant dekke i kjeller (Stamsund kirke, bygd i 1937). [20].....	60
Figur 61: Avskalling på grunn av armering korrosjon i undersiden av dekke. [20] .....	60

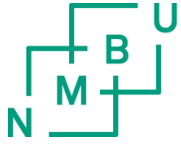
## 13 Referanser

- [1] Sement i Norge 100 år, Frithgof Gartmann, Nocem A.S, Brevik 1990.  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/fa897b8a0b2a0d2fe1f30b1f26a9c71c?lang=no#7>
- [2] Betong- armert og uarmertbetong, Techn. Inge Lyse og Instituttengenjør N. J. WHG, 1957.  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/ce9e4b163fd19f576ba51f331926500c?lang=no#5>
- [3] Grunnleggende betong teknologi, Pål Gerp og Morten Opshal, bygg og anlegg media As, Forlag 1998.  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/0b97331abebfa7d41803802042c2bf6d?lang=no#0>
- [4] HeidelbergCement, SUSTAINABILITY REPORT 2009, In Our responsibility – To build for the future, H.N. Europe, Editor. 2009, HeidelbergCement Northern Europe.
- [5] Cemente- fremstilling og egenskaper- Hjelpestoffer for betong arbeider, Johus Rutle, Betokem A.S 1981.  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/960e14e73498e45ff312132d541f609c?lang=no#12>
- [6] Holland, Terence C. Silca fume User's manual. Lovettsville, VA, USA : Silca fume association, 2005.
- [7] Pål Gjerp, M.O., Sverre Smepllass, Grunnleggende Betongteknologi. Vol. 2. 2004. 191.
- [8] BKS, Byggdetaljblad – 612.010 – Del II - Stilarter i arkitekturen fram til etterkrigstiden – hovedtrekk og eksempler, Desember 2011.
- [9] FUNKISHUS, URBANHUS – MODERNE FUNKISHUS  
<http://urbanhus.no/funkishus/>
- [10] Glad i gamle hus, Bygg og Bevar, Oslo-2015.  
<http://www.byggogbevar.no/artikkelarkiv/hvilken-stil-har-din-villa.aspx>
- [11] Bærekraftig oppgradering av boligblokker, SINTEF Byggforsk, Wibeke Knudsen, Trondheim, 2009. [www.sintef.no/globalassets/upload/rebo/31.03.09-bakgrunnsrapport.pdf](http://www.sintef.no/globalassets/upload/rebo/31.03.09-bakgrunnsrapport.pdf)
- [12] BKS, Byggdetaljblad -722.311-Golv på grunnen og etasjeskillere av stål og betong i eldre, boligbygninger/ Metoder og materialer- Februar 2015.
- [13] BKS, Byggdetaljblad-723.308- Eldre yttervegger av mur og betong/Metoder og materialer – august 2013.
- [14] BKS, Byggdetaljblad-721.111 Eldre bygningsfundamenter og grunnmurer /Metoder og materialer-Vår 2006.
- [15] Betongrehabilitering – Metoder og utførelse, Bernt Kristiansen, Jan Lindland og Trond Østmoen, bygg og anlegg media As, Forlag 1998.  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/ed3ec324f4cd6484a409b02e4b2abc9a?lang=no#19>
- [16] Betongrehabilitering, Veiledning til kapittel LY i NS 3420-tekniske bestemmelser, Norsk betongforening pubilkasjon nr 1, 2012.
- [17] Vedlikehold og rehabilitering av armerte betongkonstruksjoner, Sivilingeniør Iain H. B. Miller, Millab Consult a.s.2012.
- [18] Nedbrytningsmekanismer, reparasjon og vedlikehold av betongkonstruksjoner, Jan-Magnus Østvik, Staten Vegvesen 2011.  
[http://www.vegvesen.no/\\_attachment/275075/binary/485341](http://www.vegvesen.no/_attachment/275075/binary/485341)



- [19] Korrosjon av stålarmering i betong, av Roar Myrdal.  
[http://www.vegvesen.no/attachment/390434/binary/669564?fast\\_title=Crash-kurs+i+korrosjon.pdf](http://www.vegvesen.no/attachment/390434/binary/669564?fast_title=Crash-kurs+i+korrosjon.pdf).
- [20] Undersøkellesmetoder i felten og laboratoriet. Sivilingeniør Iain H. B. Miller Millab Consult a.s. Kursdagene, Scandic Hotel Lerkendal, januar 2015.  
[http://nvtf.org/ikbViewer/Content/916471/Kompendium\\_oppdatert.pdf](http://nvtf.org/ikbViewer/Content/916471/Kompendium_oppdatert.pdf)
- [21] Fredet - vernet – verneverdig, Riksantikvaren-Oslo  
<http://www.riksantikvaren.no/Fredning/Fredet-vernet-verneverdig>
- [22] Byggeskikk og byggeteknikk fra ulike perioder, Scandic Vulkan, Oslo 30. mai 2013.  
[http://www.nbef.no/fileadmin/Kursprogrammer/2013/1350108\\_Oppgradering\\_av\\_bygninge\\_r/Moerk-Byggeskikk\\_og\\_byggeteknikk\\_fra\\_ulike\\_perioder\\_Oslo\\_2013.pdf](http://www.nbef.no/fileadmin/Kursprogrammer/2013/1350108_Oppgradering_av_bygninge_r/Moerk-Byggeskikk_og_byggeteknikk_fra_ulike_perioder_Oslo_2013.pdf)
- [23] Veiledning i metoder for utbedring av karbonatisert betong i verneverdige bygninger, Jan Lindland, Stærk & co- Januar 2004.
- [24] Reparasjon av betong med ubehandlede overflater, Sivilingeniør Iain H. B. Miller, Millab Consult a.s. Betongrehabiliteringsdagene 2013.
- [25] Betongrehabilitering av «skikkelig gamle bygninger», Weber, Betongrehabiliteringsdagen, Drammen-2015.
- [26] Weber Betongrehabilitering, November 2015  
[http://www.weber-norge.no/fileadmin/user\\_upload/Brosjyrer/brosjyrer\\_2015/Weber\\_Betongrehabilitering\\_2015.pdf](http://www.weber-norge.no/fileadmin/user_upload/Brosjyrer/brosjyrer_2015/Weber_Betongrehabilitering_2015.pdf)
- [27] BKS, Byggetalblad-720.112- Skader på betongkonstruksjoner, Skadesymptomer, tilstandsgrader og utbedringsmåter, Sending 2-1998.
- [28] <http://www.bygg.no/article/2165>
- [29] Compatibility Issues in Design and Implementation of Concrete Repairs and Overlays, Technical Service Center, Denver, Colorado, Report No. MERL-2014-87, December 2014







Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

67 2 Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)